UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA – PPGFIL

ENTRE A MATÉRIA E A FORMA: O PROBLEMA DA OBJETIVIDADE DOS FENÔMENOS QUÂNTICOS EM WERNER HEISENBERG

Autor: João Edson Gonçalves Cabral

Orientador: Daniel Durante

Natal – RN

2019

João Edson Gonçalves Cabral

ENTRE A MATÉRIA E A FORMA: O PROBLEMA DA OBJETIVIDADE DOS FENÔMENOS QUÂNTICOS EM WERNER HEISENBERG

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Filosofia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Filosofia

Área de concentração: Metafísica

Orientador: Daniel Durante

Banca examinadora:

_____

Dr. Daniel Durante (orientador)

_____

Dra. Cinara Maria Leite Nahra (membro interno)

_____

Dr. Stanley Medeiros (membro externo)

_____

Dra. Gisele Amaral (membro interno)

_____

Dr. Osvaldo Pessoa Jr. (membro externo)

Natal – RN

2019

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Cabral, João Edson Gonçalves.
Entre a matéria e a forma: o problema da objetividade dos fenômenos quânticos em Werner Heisenberg / João Edson Gonçalves Cabral. - 2019.
208 f.: il.

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Programa de Pós-Graduação em Filosofia, Natal, RN, 2019.
Orientador: Prof. Dr. Daniel Durante Pereira Alves.

1. Heisenberg - Tese. 2. Objetividade - Tese. 3. Matéria - Forma - Tese. I. Alves, Daniel Durante Pereira. II. Título.

RN/UF/BCZM CDU 530.145

Elaborado por Ana Cristina Cavalcanti Tinoco - CRB-15/262

À minha esposa *Dalila*,

Pela sofisticação de seu brilho, e pela altivez de seu caráter.

Pelo amor conduzido pela paixão, e pela cumplicidade.

Pelo inestimável prazer em compartilhar sua presença inteligente e elegante.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Dalila, por todo amor e dedicação durante os anos que estamos juntos, incluso aí o período de nosso doutorado em Natal (que cursamos juntos, como colegas de turma), desde o incentivo inicial para o ingresso, bem como o suporte logístico cuidando de todos os detalhes, sem mencionar o carinho e o amor, fundamentais para a tranquilidade das vivências cotidianas.

Ao meu pai, José Edilson Ferreira Cabral que me ensinou o gosto pelas palavras e pelos dicionários, e à minha mãe, Maria Íris Gonçalves Cabral, pela ampla liberdade em me permitir experimentações intelectivas e existenciais, sem o peso das valorações inibidoras.

Ao meu irmão Edilson Cabral Júnior (o velho "Nuna"), à minha cunhada Patrícia Cardoso Cabral e aos meus sobrinhos e Mateus Cardoso Cabral e Lucas Cardoso Cabral, pela amizade, retidão de caráter e o companheirismo ao longo da vida.

Ao meu amigo Bellini Filho por demonstrar que a amizade, associada ao elevado caráter, independe da idade, e se constitui em um dos pilares mais nobres da vida.

Ao meu primo e amigo João Evangelista de Oliveira Neto (o velho "Meia-Luz") pelas inúmeras demonstrações de amizade, de hombridade e de nobreza, e pelas incursões e volteios, através dos anos, em torno da física, da matemática, da filosofia, da política, da música e da vida, que tanto nutriram nosso convívio e curiosidade.

Ao meu amigo de juventude José Gusmão Bastos Jr. (o velho "Jota Gúsmão") por nossas longas caminhadas e conversas desde os tempos de Colégio Cearense, depois no Parque Cocó em Fortaleza, e nossas demoradas discussões em torno da política, da física e da vida. Onde estará o velho Jota Gúsmão?

Ao professor Nélson, e ao grupo de conversas em torno da física e da política onde participávamos o professor Nélson, eu, e Jota Gúsmão, no início de nossa vida adulta, aos sábados à tarde, onde éramos bem recebidos para conversar e nos deliciar com as investidas livres nos mais variados assuntos, e onde pela primeira vez me deparei com a física moderna.

Ao meu orientador Daniel Durante pela mais absoluta postura cavalheiresca, permitindo, de forma educada e atenciosa, a mais ampla liberdade para desenvolvimento e maturação de

minhas incursões metafísicas, bem como por suas preciosas sugestões presentes ao longo de todo o processo de elaboração desta pesquisa, desde seus inícios até sua versão final.

À professora Gisele Amaral, pela forma amiga, atenciosa, polida e respeitosa no tratamento para com os alunos, e pela oportunidade de investigar com mais propriedade os problemas em torno da *teoria das formas* de Platão, e dos problemas em torno das *Categorias* e da *Metafísica* em Aristóteles em quatro diferentes disciplinas ofertadas para o curso de doutorado da UFRN, algumas das quais atendendo gentilmente às nossas demandas de pesquisa.

Á professora Cinara Maria Leite Nahra por suas colocações argutas e decisivas, tecidas no processo de qualificação e defesa, o que me permitiu perceber importantes questões implícitas em minhas argumentações.

Ao professor Stanley Medeiros pelas inúmeras sugestões colocadas durante o processo de qualificação e defesa, o que me permitiu procurar reelaborar e refinar vários aspectos intrínsecos desta pesquisa.

Ao professor Osvaldo Pessoa Jr. por suas colocações fundamentais no início da pesquisa, sugerindo diretivas que balizaram escolhas metodológicas e delimitações temáticas decisivas, bem como suas sugestões precisas e acuradas no momento da defesa desta Tese.

Aos professores do departamento de Filosofia da Universidade Estadual Vale do Acaraú, onde leciono, e à Priscila que ali trabalha, pelo apoio e pronto atendimento às minhas requisições durante todo o processo de afastamento para o desenvolvimento desta pesquisa.

Faz tempo que abandonei a ideia de que nos é possível atingir a realidade na objetividade plena. Estou cada vez mais convencido de que conhecer é um ato de desenhar, ou de pintar, ou de poetar. E poetar, segundo a etimologia, é fazer, é criar, ou inventar. Por isso não tenho a pretensão de dar, com meu livro, a única interpretação da história da filosofia grega. Tenho a intenção, isso sim, de tecer um texto, ou pintar um quadro, que seja significativo, que ajude a entender e a saborear o filosofar dos gregos. Não desprezei o trabalho de pesquisa, de crítica, de leitura atenta, de perguntas até angustiantes. Meu desenho não pode ser caprichoso, pois trata-se de um desenho que intenta lançar luz sobre o ato pelo qual os gregos criaram sua cultura, e, em especial, sua filosofia. Não jogo fora a preocupação com a objetividade, mas não a absolutizo.

(Tiago Adão Lara, *Caminhos da razão no ocidente*)

Acho fascinante a física de Bohr, mesmo com as suas dificuldades. Com certeza, Bohr deve saber que está partindo de pressupostos que contém contradições, e, por isso, não podem corresponder à realidade. Mas ele tem um instinto infalível e usa esses mesmos pressupostos para construir modelos bastante convincentes dos processos atômicos. Bohr usa a mecânica clássica e a teoria quântica como um pintor usa os pincéis e as cores. Os pincéis não determinam o quadro, e a cor nunca é a realidade completa; mas, se conservar o quadro na mente, o artista pode usar o pincel para transmitir aos outros, não importa o quão inadequado forma sua imagem mental.

(Werner Heisenberg, *A parte e o todo*)

RESUMO

Esta pesquisa procura *problematizar* a interpretação conceitual de Werner Karl Heisenberg (1901-1976) em torno do problema da *objetividade* dos fenômenos quânticos, ou seja, em torno do antigo problema metafísico que remonta à filosofia grega, de investigar os últimos constituintes da natureza, o que, no caso de Heisenberg, significa indagar o estatuto filosófico-ontológico das vinte e cinco partículas elementares conhecidas em seu tempo. Heisenberg defende a ideia segundo a qual as partículas elementares são, em última instância, formas matemáticas que a energia deve assumir a fim de tornar-se matéria, o que aproxima sua interpretação ao modo como Platão concebia as *formas* puras, ou *eidos*. Nossa pesquisa procura *problematizar a interpretação idealista de Heisenberg*, e discutir as variadas facetas que estão envolvidas e implicadas neste seu posicionamento filosófico idealista. Por fim, defendemos a ideia da existência de uma *tensão* interna entre as posturas do *filósofo* Heisenberg que defende uma aproximação com as *formas* de Platão, para o problema da objetividade dos fenômenos quânticos, e do *físico* Heisenberg que aceita indiretamente um fundo objetivo *material* inerente aos fenômenos quânticos. Defendemos ainda que a estratégia de superação dessa tensão interna entre a *física* e *filosofia*, ou entre *matéria* e *forma*, em Heisenberg, constitui-se no que denominamos de *atitude pragmática de Heisenberg*, que consiste em preservar, *simultaneamente*, uma posição *epistemológica-positivista* no âmbito da física quântica, o que significa manter-se nos estreitos limites do que é possível conhecer pela observação, e uma posição *ontológico-metafísica*, no âmbito da filosofia, isto é, a posição de buscar as respostas últimas em relação a tudo o que existe.

Palavras-chave: (Heisenberg – Objetividade – Matéria – Forma)

ABSTRACT

This research seeks *to problematize* Werner Karl Heisenberg's (1901-1976) conceptual interpretation around the problem of *objectivity* of quantum phenomena, that is, around the ancient metaphysical problem, which goes back to Greek philosophy, of investigating the last constituents of nature, the which, in Heisenberg's case, means to inquire into the philosophical-ontological meaning of the twenty-five elementary particles known in his time. Heisenberg defends the idea that elementary particles are ultimately mathematical forms that energy must take in order to become matter, which approximates his interpretation to the way Plato conceived pure or *eido forms*. Our research seeks to *problematize Heisenberg's idealistic interpretation,* and to discuss the various facets that are involved and implicated in his idealistic philosophical position. Finally, we defend the idea of the existence of an internal *tension* between the postures of the *philosopher* Heisenberg that defends an approximation with Plato's *forms*, to the problem of the objectivity of quantum phenomena, and the *physicist* Heisenberg who indirectly accepts a *material* objective background inherent in the quantum phenomena. We also argue that the strategy to overcome this internal *tension* between *physics* and *philosophy*, or between *matter* and *form*, in Heisenberg, constitutes what we call *Heisenberg's pragmatic attitude*, which consists in, *simultaneously*, preserving an *epistemological-positivist* position in the quantum physics, which means staying within the narrow limits of what is possible to know through observation, and an *ontological-metaphysical* position, within philosophy, that is, the position of seeking the ultimate answers in relation to everything that exist.

Keywords: (Heisenberg – Objectivity – Matter – Form)

SUMÁRIO

Introdução.....12

Parte I: Pressupostos conceituais, histórico-filosóficos, e aspectos conceituais do contexto histórico-científico para a reflexão acerca da objetividade da natureza

Capítulo1: Os pressupostos conceituais para a reflexão acerca da objetividade da natureza: *natureza*, *objetividade* e *realidade*.....43

1.1 Considerações preliminares em torno da noção de *natureza*.....43
1.2 Considerações preliminares em torno da noção de *objetividade*.....47
1.3 Considerações preliminares em torno da noção de *realidade*.....52

Capítulo 2: Os pressupostos histórico-filosóficos antigos: as diferentes matrizes gregas para a construção da noção de objetividade.....60

2.1 A matriz materialista da noção de objetividade a partir da ideia de *arché* nos milesiano.....61
2.2 A matriz materialista da noção de objetividade a partir da ideia de *átomo* em Leucipo e Demócrito.....65
2.3 A matriz idealista platônica da noção de objetividade a partir da ideia do *intermediário matemático*.....73
2.4 A matriz materialista aristotélica da noção de objetividade a partir da ideia de *substância* nas *Categorias*.....85

Capítulo 3: Aspectos conceituais inerentes ao contexto histórico-científico do surgimento da física quântica.....98

3.1 O surgimento da física quântica a partir da hipótese de quantização da energia por Planck: a primazia *ontológica* da concepção *corpuscular* 99

3.2 A proposta *dualista* para a matéria formulada por de Broglie: a matéria como expressão *ontológica* da dualidade *onda-partícula*..... 104

3.3 A proposta *ondulatória* para a matéria formulada por Schrödinger: a matéria como expressão *matemática* do aspecto *ondulatório*.....109

Parte II: O problema da objetividade dos fenômenos quânticos em Heisenberg: as tensões entre a objetividade material e a objetividade ideal

Capítulo 4: Os problemas inter-relacionados ao problema da objetividade dos fenômenos quântico: a perda da referência material e a ênfase no formalismo matemático s em Heisenberg.....118

4.1 A *proposição* do problema da objetividade em Heisenberg: objetividade como "início de tudo o que existe na natureza"..... 119

4.2 Os problemas inerentes à *compreensão* dos fenômenos quânticos em Heisenberg: a distinção entre capacidade de previsão e compreensão.....122

4.3 O problema dos *limites da linguagem da física clássica* para expressar as especificidades dos fenômenos quânticos.....128

Capítulo 5: Os aspectos *materiais* da objetividade dos fenômenos quânticos em Heisenberg presentes nas suas *relações de indeterminação*.....135

5.1 Aspectos histórico-conceituais relacionados à compreensão do problema da medição dos fenômenos quânticos.....135

5.2 Aspectos ontológicos da objetividade presente nas *relações de Heisenberg* a partir da interpretação *epistemológica*.....142

5.3 Aspectos ontológicos da objetividade presente nas *relações de Heisenberg* a partir da interpretação *ontológica*.....151

Capítulo 6: Os aspectos *ideais* da objetividade dos fenômenos quânticos em Heisenberg presentes em sua interlocução com o legado grego antigo.....157

6.1 *Materialismo* e *idealismo* grego: as duas matrizes antigas de reflexão filosófica para Heisenberg pensar a objetividade da natureza.....158

6.2 Heisenberg e o *estatuto das leis matemáticas* como recurso para a compreensão da objetividade dos fenômenos quânticos.....163

Conclusão.....179

Bibliografia.....204

Introdução

Na edição do dia 18 de julho de 2018, a revista americana *Science* divulgou, com a pompa exigida pela ocasião, aquilo que representa uma nova era de pesquisas inovadoras em física e astronomia, o que demandou uma concomitante coletiva com a imprensa internacional na sede da *National Science Foundation*, em Virgínia, nos Estados Unidos. O motivo para tal empolgação é proporcional aos esforços humanos necessários para sua conquista, bem como à dificuldade enfrentada pela complexidade tecnológica envolvida: cerca de trezentos pesquisadores distribuídos por quarenta e nove institutos de pesquisa, os quais estão localizados em diferentes posições do globo terrestre, conseguiram, após oito anos de esforço conjunto, detectar *a fonte emissora de um neutrino*, uma das partículas elementares mais misteriosas do universo.

A engenharia envolvida na realização do esforço conjunto para tal detecção nos dá uma dimensão aproximada do significado impactante deste feito para a comunidade científica internacional: o neutrino foi detectado a partir de um telescópio chamado *IceCube*, formado por cinco mil sensores de luz com altíssima sensibilidade, e instalado no polo sul desde 2010. O *Ice Cube* é considerado o maior telescópio em atividade, instalado ao redor de uma plataforma cúbica de gelo enterrada a dezenas de metros da superfície. Todo esse esforço se justifica, posto que os neutrinos, partículas atômicas sem qualquer indício de que possam ser divididas, são considerados como uma das estruturas mais fundamentais do cosmos, os últimos "tijolos" constituidores da natureza, as chamadas partículas elementares.[1] Os

[1] Eis algumas informações complementares, publicadas no Portal de notícias G1, em 12.07.2018, a partir do conteúdo presente no portal *on line* da BBC do dia 12.07. 2018, sobre este evento: "Desde a concepção do projeto, os cientistas tinham a intenção de monitorar tais partículas justamente para descobrir sua origem. A ideia é que *isso dê pistas sobre a origem do próprio Universo*. E é justamente isso que eles acabam de conseguir. Os pesquisadores já sabem que a origem de neutrinos observados na Antártica são um *blazar*, ou seja, um corpo celeste altamente energético associado a um buraco negro no centro de uma galáxia. Este corpo celeste está localizado a 3,7 bilhões de anos-luz da Terra, na Constelação de Órion." "Eis a descoberta-chave", explica Grant, um dos mais dos 300 pesquisadores das 49 instituições que integram o grupo *IceCube Collaboration*. "Trata-se, continua Grant, das primeiras observações multimídia de neutrinos de alta energia coincidentes com uma fonte astrofísica, no caso, um blazar. Esta é a primeira evidência de uma fonte de neutrinos de alta energia. E fornece também a primeira evidência convincente de uma fonte identificada de raios cósmicos." Conforme afirma o físico, a novidade é a introdução, no campo da astronomia, de uma nova habilidade para "ver" o universo. "Este é o primeiro passo real para sermos capazes de *utilizar os neutrinos como uma ferramenta para visualizar os processos astrofísicos mais extremos do universo*", completa Grant. "À medida que esse campo de pesquisa continua se desenvolvendo, também deveremos aprender sobre os mecanismos que impulsionam essas partículas. E, um dia, começaremos a estudar essa partícula fundamental da natureza em algumas das energias mais extremas imagináveis, muito além daquilo que podemos produzir na Terra." Conforme afirma o físico, a novidade é a introdução, no campo da astronomia, de uma nova habilidade para "visualizar" o universo. "Esta identificação lança um novo campo da astronomia de neutrinos de alta energia, e esperamos que traga avanços

neutrinos são partículas elementares de difícil detecção,[2] e o que está em jogo na localização da fonte que os emitiram remete a encontrar as estruturas mais antigas na formação do universo: localizar a fonte emissora dos neutrinos equivale a coletar provas que podem contribuir para a compreensão da origem do universo. Mas, afinal de contas, é possível indicar *filosoficamente* de que são feitos os neutrinos? Que tipo de *objetividade* constitui os neutrinos e as demais partículas elementares? São um determinado tipo desconhecido de matéria ou são apenas *estruturas matemáticas*?

A temática de fundo que *motiva* nossa pesquisa poderia ser anunciada de forma prévia e não definitiva nos seguintes termos: "de que é feito tudo o que existe?" Mas qual o problema que *constitui* nossa pesquisa? Qual o *objeto* de nossa pesquisa? É amplamente reconhecida, na seara da literatura especializada, e nas publicações de divulgação científica, a confessa posição idealista de Heisenberg em relação ao problema da objetividade dos

---

emocionantes em nossa compreensão do Universo e da física, incluindo como e onde essas partículas de energia ultra alta são produzidas", afirma o astrofísico Doug Cowen, da Universidade Penn State. "Por 20 anos, um dos nossos sonhos era identificar as fontes de neutrinos cósmicos de alta energia. Parece que finalmente conseguimos." *In*: Edição eletrônica da BBC, dia 12.07.2018, veiculado no Portal de notícias G1. [grifos nossos]

[2] Vejamos algumas anotações que podem nos ajudar a compreender um pouco mais sobre os neutrinos e sobre as dificuldades em sua detecção, a partir das considerações de Elton Wade: "Um neutrino é uma partícula subatômica que é muito semelhante a um elétron, mas não tem carga elétrica e uma massa muito pequena, próxima de zero. Os neutrinos são uma das partículas mais abundantes do universo. Porque eles têm muito pouca interação com a matéria, no entanto, eles são incrivelmente difíceis de detectar. Forças nucleares tratam elétrons e neutrinos de forma idêntica; nem participam da força nuclear forte, mas ambos participam igualmente da força nuclear fraca. Partículas com essa propriedade são denominadas léptons. Além do elétron (e é antipartícula, o pósitron), os *léptons* carregados incluem o *múon* (com uma massa 200 vezes maior que a do elétron), o *tau* (com massa 3.500 vezes maior que a do elétron) e suas antipartícula. Tanto o *múon* como o *tau*, como o elétron, têm neutrinos acompanhantes, que são chamados de neutrino-*múon* e neutrino-*tau*. Os três tipos de neutrinos parecem ser distintos: por exemplo, quando os neutrinos do *múon* interagem com um alvo, eles sempre produzem *múons*, e nunca taus ou elétrons. Nas interações de partículas, embora elétrons e neutrinos de elétrons possam ser criados e destruídos, a soma do número de elétrons e neutrinos de elétrons é conservada. Esse fato leva a dividir os léptons em três famílias, cada uma com um *lépton* carregado e o neutrino que a acompanha. Para detectar neutrinos, são necessários detectores muito grandes e muito sensíveis. Normalmente, um neutrino de baixa energia viajará por muitos anos-luz de matéria normal antes de interagir com qualquer coisa. Consequentemente, todos os experimentos de neutrinos terrestres se baseiam na medição da pequena fração de neutrinos que interagem em detectores de tamanho razoável. Por exemplo, no Observatório de Neutrinos de Sudbury, um detector de neutrinos solares de 1000 toneladas de água pesada capta cerca de 10^{12} neutrinos por segundo. Cerca de 30 neutrinos por dia são detectados." Na sequência Wade complementa: "Wolfgang Pauli postulou pela primeira vez a existência do neutrino em 1930. Naquela época, surgiu um problema porque parecia que tanto a energia quanto o momento angular não eram conservados em decaimento-beta. Mas Pauli apontou que, se uma partícula neutra e não interagente — um neutrino — fosse emitida, seria possível recuperar as leis de conservação. A primeira detecção de neutrinos só ocorreu em 1955, quando Clyde Cowan e Frederick Reines registraram anti-neutrinos emitidos por um reator nuclear. Fontes naturais de neutrinos incluem o decaimento radioativo de elementos primordiais dentro da Terra, que geram um grande fluxo de elétrons-neutrinos de baixa energia. Cálculos mostram que cerca de 2% da energia do sol é levada pelos neutrinos produzidos em reações de fusão. Supernovas também são predominantemente um fenômeno de neutrinos, porque os neutrinos são as únicas partículas que podem penetrar no material muito denso produzido em uma estrela em colapso: apenas uma pequena fração da energia disponível é convertida em luz. É possível que uma grande fração da matéria escura do universo consista em neutrinos primordiais do Big Bang." Cf. WADE, Elton. *A Interpretação quântica e relativística da natureza: as Ciências Naturais e a Matemática no Mundo Atual.*

fenômenos quânticos, ou ao problema "de que é feito tudo o que existe?", posição que consiste, como veremos oportunamente, em vários momentos ao longo desta pesquisa, em conceber os últimos "tijolos" constituidores da natureza – as vinte e cinco partículas elementares conhecidas ao tempo de Heisenberg – como *formas* matemáticas que a energia assume para se transformar em matéria. Esta resposta de Heisenberg o aproxima – isto não quer dizer que a torna igual – da posição filosófica de Platão, fato assumido em vários contextos, pelo próprio Heisenberg, conforme também veremos mais adiante.

Nossa pesquisa pretende *problematizar esta solução idealista de Heisenberg*, procurando respostas para as seguintes questões: esse confesso idealismo é igual ao de Platão? Para Heisenberg essas *formas* matemáticas existem mesmo (possuem estatuto ontológico), ou essas *formas* matemáticas são apenas um recurso lógico para responder ao problema? Se tais *formas* forem apenas um recurso lógico, porque Heisenberg assume tal variação da posição idealista de Platão? Como conciliar a posição filosófica-idealista do *filósofo* Heisenberg com a posição do *físico* Heisenberg que reconhece indiretamente, em alguns contextos, a ocorrência do choque entre essas partículas elementares no interior dos aceleradores de partícula? Como solucionar esta *tensão* entre o *físico* Heisenberg e o *filósofo* Heisenberg? Para a solução desta problematização do idealismo de Heisenberg – e eis aqui o cerne de nossa Tese – propomos que Heisenberg assume uma posição *pragmática* que consiste em ser coerente com suas convicções positivistas, provenientes de sua atuação como físico, sem negar seu impulso idealista, proveniente de suas intervenções conceituais como filósofo.[3]

Portanto, como veremos ao longo da exposição de nossos argumentos, nos interessa *problematizar a resposta idealista de Heisenberg* para a questão "o que são os neutrinos e as

[3] Quando indicamos acima que Heisenberg é positivista significa estarmos a afirmar que Heisenberg reconhece o papel determinante da observação dos fenômenos, e que, como tal, se recusa a conjecturar para além do que a observação permite fazê-lo, como o fazem normalmente filósofos da tradição metafísica, como, por exemplo, Platão. O positivismo de Heisenberg inaugura a segunda fase do seu pensamento, representada pela publicação do seu famoso *Princípio da Incerteza*, em 1927, também conhecido de modo mais técnico como as *relações de indeterminação de Heisenberg*, ou, simplesmente, como, *as relações de Heisenberg*. Apesar de as *relações de Heisenberg* se tratar de um trabalho teórico no âmbito da física quântica, portanto, de um trabalho eminentemente físico-matemático, discussões em torno de questões interpretativas serão apresentadas no interior do capítulo cinco desta pesquisa, onde iremos perceber, de modo mais contundente, o caráter positivista inerente ao pensamento do físico Heisenberg, que ali estabelece uma relação matemática que limita nosso grau de certeza em mensurar simultaneamente duas grandezas físicas – no caso em questão, a posição e o *momento* de uma dada partícula elementar, como o elétron. O resultado interpretativo dessas famosas *relações de indeterminação* aponta para o reconhecimento de certos limites em nosso conhecimento dos fenômenos quânticos, portanto, um alcance restritivo em nossa tentativa de descrever o mundo tal como ele é, como o fez a metafísica grega, por exemplo, Platão e Aristóteles. A grande questão de nossa pesquisa é procurar uma chave hermenêutica que nos permita compreender o fato de que o *físico* Heisenberg é *positivista*, enquanto o *filósofo* Heisenberg (*filósofo* no sentido de se servir da filosofia para interpretar conceitualmente o mundo quântico), é *idealista*, portanto, *metafísico*.

demais partículas elementares?”, isto é, nos interessa *problematizar a perspectiva filosófica idealista* do físico alemão Werner Heisenberg (1901-1976) em relação a sua resposta ao problema “de que tudo é feito?”.

Em que consiste, em termos mais específicos, essa *problematização da perspectiva filosófica de Heisenberg* ? Como veremos amplamente ao longo desta *Introdução* e em várias passagens desta pesquisa, nossa *problematização da resposta de Heisenberg* para a pergunta “de que tudo é feito?” consistirá de três apontamentos e suas respectivas explicitações: 1) apontar a existência de uma *tensão* na resposta *filosófica* de Heisenberg frente ao problema da objetividade, tensão que, em nossa perspectiva se apresenta entre as posições do *físico* Heisenberg, e do *filósofo* Heisenberg; 2) explicar os aspectos internos envolvidos nesta tensão; e 3) propor uma saída para essa tensão, saída que denominaremos de *pragmatismo de Heisenberg*. Deste modo, nossa Tese consiste em, ao longo de nosso percurso argumentativo, propor um problema (a tensão contida na resposta idealista de Heisenberg sobre o problema da objetividade dos fenômenos quânticos), explicar as razões da ocorrência desse problema (as razões que explicam essa alegada tensão), e propor uma saída para esse problema (propor uma explicação que nos permita compreender o que está em jogo com essa tensão). Consideramos nossa Tese como o conjunto dos três apontamentos acima referidos, e o terceiro apontamento acima citado, aquele que propõe o *pragmatismo* de Heisenberg como recurso conceitual para compreender a tensão entre seu idealismo e seu positivismo, representa o cerne ou questão central de nossa pesquisa.

Apesar de nossa pesquisa se articular em torno da problematização da resposta de Heisenberg à pergunta “de que tudo é feito?”, precisaremos, evidentemente, enfrentar primeiramente a questão conceitual “de que é feito tudo o que existe na natureza, segundo a compreensão filosófica de Heisenberg?”. Isto significa que a questão “de que tudo é feito, para Heisenberg?” estará, ora direta, ora indiretamente envolvida ao longo dos esforços investigativos aqui desenvolvidos. Por sua importância para a condução de nossa reflexão, daremos a esta problemática uma nomenclatura específica, porém pouco difundida, tanto nos domínios do vocabulário científico, quanto para o público menos afeito às questões filosóficas de natureza ontológica: problema da *objetividade da natureza*, ou simplesmente de problema da *objetividade*.

O que queremos significar quando anunciamos o conceito *objetividade* é simplesmente remeter ao aspecto de referência última para tudo que existe, ou seja, o referente último,

segundo cada tradição distinta da historiografia filosófica, para delimitar o algo que se acredita constituir tudo o que existe; o termo *objetividade*, portanto, remete ao caráter de *objeto*, de coisa, ou do algo do qual, acredita-se, que tudo é feito. A pergunta "do que tudo é feito?", ou a pergunta pela objetividade, permanece válida, independente da perspectiva filosófica da resposta, como, por exemplo, forma, matéria, *arché*, Absoluto, Deus ou qualquer outra indicação proposta pelo legado de cada matriz filosófica. A questão que procuramos investigar diz respeito, portanto, em *problematizar a solução de Heisenberg para este o problema da objetividade dos fenômenos quânticos*. Sua resposta, conforme veremos com mais cuidado no capítulo sexto desta pesquisa, se aproxima das *formas* ou *eidos* de Platão, o que no caso de Heisenberg significa considerar, conforme apontamos a pouco, os últimos constituintes dos fenômenos quânticos – as vinte e cinco partículas elementares conhecidas em seu tempo – como estruturas matemáticas, soluções de uma equação matemática que pudesse descrever os principais problemas da física atômica.[4]

A escolha terminológica pelo conceito de *objetividade* deve ser encarada com o devido cuidado de não turvar a clareza do problema que a reveste, posto que, embora não seja uma terminologia usual, acreditamos no rigor metodológico dessa escolha por razões que apresentaremos tanto no início da exposição de nossa pesquisa, (quando desenvolveremos um tratamento mais apropriado para uma melhor compreensão do significado do problema da objetividade, tarefa que constará no segundo item do primeiro capítulo), quanto ao longo do desenvolvimento das linhas argumentativas desta pesquisa. O termo *objetividade* poderia ter outra denominação mais direta e familiar, como por exemplo, *o problema em torno da questão de que é feito tudo*, porém reivindicamos facetas conceituais bastante convincentes para a sua escolha, além de sua elegância estilística, como, por exemplo, a direta referência etimológica que o termo *objetividade* resguarda com *objeto*, direcionando prontamente seu

[4] Como anunciamos acima, a reposta filosófica de Heisenberg para o problema do tipo de objetividade que constitui os fenômenos quânticos consiste em considerar, segundo nos diz o próprio Heisenberg, que "as partículas elementares constituem, de fato, as unidades últimas da matéria, ou seja, aquelas unidades em que a matéria se rompe quando são utilizadas forças máximas." Mas que tipo de objetividade constitui essas partículas elementares? Elas são constituídas de objetividade *material* ou *ideal*? Mais adiante, na sequência das argumentações deste mesmo trecho recém-transcrito, Heisenberg complementa e procura responder estas duas últimas perguntas: "todas as partículas elementares são compostas da mesma substância, isto é, *energia*. Constituem as várias formas que a energia deve assumir a fim de tornar-se matéria. No caso aparece o par *conteúdo* e *forma*, ou *substância* e *forma*, da filosofia aristotélica. (...) A *matéria* origina-se quando a substância energia é convertida na *forma* de uma partícula elementar." Na sequência, Heisenberg arremata: "Segundo os nossos conhecimentos atuais, há muitas formas desse tipo. Conhecemos 25 tipos de partículas elementares e temos boas razões para crer que todas essas formas são manifestações de certas estruturas fundamentais, isto é, consequências de uma lei fundamental matematicamente exprimível da qual as partículas elementares são a solução assim como os vários estados energéticos do átomo de hidrogênio representam a solução da equação diferencial de Schrödinger." Cf. HEISENBERG, Werner. *Problemas da física moderna*. São Paulo: Editora Perspectiva, 2011, p. 23.

significado para o problema filosófico de indagar *o tipo de objeto* (matéria, *eidos*, substância, etc.) que cada tradição filosófica assume para talhar a sua específica resposta.

Esboçados os contornos iniciais da escolha terminológica de nosso problema, outra questão reivindica plena legitimidade: por que escolhemos problematizar a resposta de Heisenberg frente ao problema da *objetividade*? Para responder a esta pergunta e reforçar nosso vínculo histórico-pessoal com o problema da *objetividade*, precisaremos situar geneticamente uma antiga questão que nos acompanhou desde nossos estudos de graduação em filosofia e de nossas incursões no curso de física. Esta breve retrospectiva irá contextualizar tanto nosso envolvimento com o tema, quanto a alguns dos aspectos histórico-filosóficos presentes na questão da objetividade.

Ao iniciarmos os estudos de graduação em filosofia, nos deparamos com a questão que havia nos motivado a ingressar na graduação em física, exatamente a questão inaugural da filosofia grega antiga, "de que é feito tudo o que existe?". A abordagem conceitual filosófica para essa questão encontrou ressonância em nossos interesses, e aos poucos fomos desenvolvendo um respeito ao estatuto especulativo dos filósofos naturalistas pré-socráticos, que empreendiam, no tratamento dessa questão, uma reflexão cheia de desdobramentos e possibilidades, muito embora não possuíssem recursos técnicos além da observação cotidiana dos fenômenos naturais.

O grande problema se deu quando passamos a conhecer a solução de Platão (427 a.C. - 347 a.C.) para este problema, posto que, entre idas e vindas interpretativas que se sucederam ao longo do curso de graduação, colhemos, de início, uma versão idealista empobrecida do pensamento de Platão, graças a preconceitos materialistas próprios, que não nos permitiram encarar com seriedade as teses centrais do velho mestre grego. A grande dúvida que nos acometia durante os anos iniciais de formação filosófica emergiram em relação ao seguinte questionamento: como é possível para alguém da envergadura reflexiva de Platão supor a existência de formas puras, portanto destituídas de qualquer conteúdo material, como fundamento para explicar tudo o que existe, incluindo aí a própria natureza? Que percurso ou motivação explica tal escolha? Aos nossos olhos, se a natureza é profusão incessante de matéria em transformação, como é possível pleitear a pura forma como explicação última de tudo o que existe?

Mais tarde, ao nos depararmos com o pensamento de Györky Lukács (1885-1971), principalmente a crítica que o autor húngaro direciona ao idealismo de Georg W. Friedrich

Hegel (1770-1831), e posteriormente às chamadas tendências neopositivistas do pensamento contemporâneo (críticas que podem incluir certas tendências presentes em algumas interpretações da física contemporânea)[5], refinamos algumas antigas convicções materialistas juvenis e, de forma quase definitiva, por muitos anos consideramos resolvida a questão sobre a origem de tudo: tudo o que existe no universo seria matéria (entenda-se aqui os átomos e seus constituintes), e, deste modo, as partículas elementares seriam as últimas configurações da matéria, algo como os "tijolos" materiais a partir dos quais a natureza modela sua arquitetônica peculiar.

A fundamentação teórica subjacente às nossas posições materialistas desta época juvenil, e que perdurou por vários anos, orbitava, como afirmamos a pouco, em torno das ideias de Marx (1818-1883) e Lukács, para os quais a tese diretriz da reflexão sobre as questões humanas e naturais, portanto, a tese fundamental sobre a constituição da própria natureza, é o *primado ontológico da objetividade material* no sentido de que não é possível considerar qualquer problema social – e podemos incluir a própria natureza – sem considerar materialmente a objetividade, ou seja, sem levar em conta o caráter de objeto material, de coisa material, como ponto de partida e condição ineliminável de tudo o que constitui a vida social e natural.[6]

---

[5] O cerne da crítica de Lukács ao idealismo de Hegel permite compor uma referência filosófica mais ampla que comporta tanto a crítica a alguns aspectos presentes na compreensão do que o autor húngaro denomina de tendências neopositivistas na filosofia contemporânea, quanto a crítica que certamente poderia ser estendida à interpretação dos fenômenos quânticos de Heisenberg, no sentido de uma fundamentação idealista-objetiva. Vejamos uma nota explicativa que visa esclarecer o sentido da crítica de Lukács à Hegel: "A crítica a Hegel feita por Lukács encontra-se no capítulo de *Para uma ontologia do ser social*, intitulado 'A falsa e a verdadeira ontologia de Hegel', em que, a despeito de a consideração problemática que aqui encontramos, isto é, a possibilidade de uma *ontologia verdadeira em Hegel*, não encontrar respaldo no próprio Marx, Lukács estabelece que o principal problema de Hegel, vale dizer, seu *dualismo*, [a partir daqui a citação é do próprio Lukács] 'deriva de sua *fundamentação idealista-objetiva*, da [sua] *concepção* [de] *sujeito-objeto idênticos*, que não apenas *impede uma clara separação entre categoria e métodos ontológico e categoria e método lógico-metodológico*, não apenas mistura ininterruptamente um com o outro, mas *subordina continuamente as verificações ontológicas aos pontos de vista lógico-hierárquicos, violentando-as e deformando-as*.' " LUCKÁCS, György. *Para uma ontologia do ser social*. São Paulo: Ed. Boitempo, p.39. (Os grifos e as inserções em colchetes são nossos).

[6] A inclinação de Marx à concepção materialista da natureza remete aos escritos juvenis, e já se encontra presente em sua tese doutoral, cujo título é *Diferença entre a filosofia da natureza de Demócrito e Epicuro*, escrita entre agosto de 1840 até março de 1841, com o intuito de estabelecer as diferenças entre a filosofia de Demócrito e Epicuro. Parte da tradição marxiana entende essa tese juvenil como uma viragem do seu pensamento na busca por um afastamento da influência de Hegel, "um esforço de reconciliação com as implicações da dialética materialista do antigo filósofo grego Epicuro, tanto do ponto de vista do sistema filosófico hegeliano quanto, até certo ponto, transcendendo esse último. Mais do que isso foi uma tentativa indireta de haver-se com o problema que a tradição materialista dos iluminismos inglês e francês – com forte inspiração em Epicuro – suscitou para a filosofia hegeliana." Cf. FOSTER, John Bellamy. *A ecologia de Marx: materialismo e natureza*. Rio de Janeiro: Civilização brasileira, 2005, p. 56.

Deste modo, para Marx, e posteriormente para Lukács, o homem é um *ser objetivo* por extensão de sua condição corpórea de se dirigir à natureza para suprir suas carências metabólicas, estando inserido em incessante e ineliminável intercâmbio com a natureza, o que faz do *trabalho* a categoria ontológica que funda a maioria os atos da vida social. Deste modo, nesta fase de nossa maturação, parte da tradição idealista parecia recair em uma compreensão problemática tanto da natureza, quanto das questões sociais, o que colocaria autores como Platão e Hegel, cada um a sua maneira, em situação paradoxal ante nossa perspectiva, e principalmente Heisenberg ao defender a tese de que as estruturas matemáticas são a resposta para a pergunta "de que tudo é feito?".

Algo, no entanto, não nos parecia ter sido resolvido de forma convincente, de modo que esta questão alternava momentos em que se mostrava recorrente, às vezes esquecida, assumindo, em cada etapa de nossa maturação uma formulação distinta, mas quase sempre resguardando certo desconforto e desconfiança: como autores como Platão e Hegel, por exemplo, poderiam sustentar posições filosóficas tão inconsistentes e problemáticas aos olhos de nossa perspectiva materialista? Posteriormente estas dúvidas alcançaram Heisenberg: como é possível para um físico que vivenciou todos os avanços da física experimental do século XX, e participou diretamente de grande parte do debate em torno da interpretação conceitual dos fenômenos quânticos, aceitar abertamente e se alinhar filosoficamente próximo das *formas* metafísicas de Platão para compreender as profundezas do mundo atômico?[7]

O retorno ocasional deste tipo de dúvida nos evidenciou que esta questão não havia sido resolvida de forma definitiva, e, por conta disto deveríamos modificar a abordagem que até então havíamos desenvolvido. A conclusão, lentamente construída, a que chegamos foi a que deveríamos nos concentrar no modo como compreendíamos ambos os autores, tanto

---

[7] Este fato nos chamou atenção, justamente porque Heisenberg é um dos articuladores privilegiados que participou ativamente das discussões teóricas e filosóficas em torno do mundo atômico, e assumiu, em diversos escritos, como resposta em torno da questão "de que tudo é feito?", a matriz idealista de Platão. Foi aí que nos empenhamos em compreender mais o fato de que Heisenberg procurava na interlocução com Platão, e com alguns filósofos da Grécia antiga, a inspiração para compor seu próprio modo de conceber as estruturas elementares que compõem a natureza. Foi neste momento que as antigas questões que nos acompanharam caoticamente, em transcursos de idas e vindas, tomaram um significado mais vivaz e duradouro. De forma ilustrativa, vejamos duas passagens, de autoria de Heisenberg que constarão do *capítulo seis* desta pesquisa: "Não obstante, é inegável que as partículas elementares da física de hoje se ligam mais intimamente aos corpos platônicos do que aos átomos de Demócrito." Em outro momento de nosso texto iremos apresentar a seguinte passagem, também escrita por Heisenberg: "Tal como os corpos regulares de Platão, as partículas elementares da física moderna são definidas por condições matemáticas de simetria; não são eternas e invariáveis, e, portanto, dificilmente podem ser chamadas de "reais" na verdadeira acepção da palavra. São antes simples representações daquelas estruturas matemáticas fundamentais a que se chega nas tentativas de continuar subdividindo a matéria; representam o conteúdo das leis fundamentais da natureza." Cf. HEISENBERG, Werner. *Problemas da física moderna*. São Paulo: Ed. Perspectiva, 2011, p.26.

Platão como Heisenberg, e eis o que procuramos fazer, inicialmente sem saber exatamente como estabelecer tal percurso. O ponto de inflexão que nos motivou reconsiderar o modo como compreendíamos a natureza a partir de nossas convicções materialistas, se deu quando, anos mais tarde retornamos ao curso de física, e nos deparamos com algumas discussões informais sobre as partículas elementares (lembremos que, entre elas, se encontra o neutrino) que nos motivaram a reconsiderar nossos antigos interesses juvenis.[8]

Algumas alusões históricas serão agora referidas apenas para nos situarmos melhor frente às questões expostas no último parágrafo.[9] A física quântica, conforme sabemos, surgiu ao final de 1900, a partir da publicação de um artigo de Max Planck, procurando, nas suas origens, dar conta de aspectos empíricos de um fenômeno conhecido como "radiação do corpo negro", fenômeno não explicado pelas teorias da física clássica, cujas principais formulações remetem a Isaac Newton (1642-1724) e a James Maxwell (1831-1879).

O fenômeno conhecido como "radiação do corpo negro" consistia na característica específica que a luz apresentava quando determinados corpos eram submetidos a altas temperaturas, fenômeno também conhecido como "espectro do corpo negro", o qual despertava pouco interesse da comunidade científica no final do século XIX. Para a física clássica que presidia as referências teóricas desta época, existiam dois tipos de grandezas físicas: de um lado existiam as grandezas descontínuas ou discretas, grandezas que se apresentam em quantidades finitas e que, portanto, não podem ser divididas infinitamente,

---

[8] Neste sentido, diante de antigas crenças que marcavam com viés materialista nossa concepção de objetividade, como poderíamos explicar que algumas partículas elementares viajam a velocidades próximas a velocidade da luz, percorrendo distâncias astronômicas sem praticamente perder energia? Como o neutrino, que possui massa próxima de zero consegue atravessar quase todo universo com velocidade próxima a da luz, praticamente sem interagir com nada no universo? Em que medida e por quais razões o neutrino e as demais partículas elementares podem ser considerados apenas como expressões de uma formatação matemática? Afinal, como explicar o que é o neutrino e as demais partículas elementares em termos ontológicos? O que significa que algo tem massa próxima de zero? Como algo ontologicamente constituído pode atravessar quase todo universo com velocidade inimaginável sem praticamente perder energia? De qual tipo de objetividade estamos tratando, afinal, quando consideramos o estranho comportamento do mundo quântico? Estas questões vez ou outra emergiam e submergiam evocando a atenção dos nossos interesses, quando, por fim, resvalaram em uma busca por um tratamento filosófico mais específico, o que ocorreu quando nos deparamos com as posições conceituais idealistas de Heisenberg, conforme vimos anteriormente. Evidentemente que estas questões acima apresentadas não serão tratadas nesta pesquisa, e, neste sentido, foram aqui mencionadas somente para ilustrar as fontes de nossas inquietações, e para reconhecer que tais questões contribuíram, de algum modo, para forjar nosso interesse pela temática central de nossa empreitada em curso.

[9] As alusões contextuais histórico-científicas que apresentaremos a seguir, no curso desta *Introdução*, serão retomadas principalmente nas discussões desenvolvidas no interior dos capítulos três e seguintes desta pesquisa, e ali encontrarão a referência bibliográfica específica para sua ancoragem. Evitamos antecipar o apontamento bibliográfico neste momento do texto para deixa-lo mais fluido e não sobrecarregá-lo em demasia, posto que nosso propósito agora é apenas apresentar uma ideia do conjunto contextual histórico-científico, para situar de antemão o interlocutor no fluxo das ideias que apresentaremos. Mesmo assim, quando julgamos oportuno, fizemos alguns apontamentos bibliográficos nesta *Introdução*, apenas com caráter ilustrativo de nossas fontes.

como, por exemplo, a carga elétrica, e a massa; por outro lado, existiam as chamadas grandezas contínuas, tais como a energia, a luz, o tempo e o espaço, isto é, grandezas que podiam ser infinitamente divididas, e que se espraiam no espaço sem limites espaciais.

A questão de maior interesse que delimitava o campo da incompreensão da radiação do corpo negro residia nos seguidos insucessos no tratamento matemático destes fenômenos, exatamente porque as diversas tentativas antes de Planck, portanto, antes de 1900, procuraram descrever a energia da radiação térmica – ou o que chamamos de calor emitido pelo corpo submetido a altas temperaturas – considerando a energia térmica como uma grandeza contínua.

A hipótese de Planck, segundo ele mesmo confessara anos mais tarde, produzida quase em situação de desespero, depois de várias tentativas infrutíferas, foi considerar a energia térmica – ou calor – não como uma grandeza contínua, isto é, infinitamente divisível, como se supunha ser o espaço e o tempo, mas como uma grandeza descontínua, como se o calor emanado pelo corpo superaquecido fosse o resultado de um conjunto de pequenos pacotes discretos de energia, pequenas quantidades de energia, de onde provém a expressão *quantum* de energia.[10]

Esta hipótese formulada por Planck considera a energia como um somatório de *quantum* de energia, como a expressão de muitos pequenos pacotes de energia, o que correspondeu formidavelmente aos dados empíricos, descrevendo matematicamente o fenômeno da radiação do copo negro, e dando início a uma nova era da física, a chamada física moderna, que reúne ainda, sob esta designação, os trabalhos de Einstein publicados 1905 e 1917 sobre a teoria da relatividade.

À medida que se desenvolvia, no entanto, *a física quântica não conseguiu compreender com clareza o significado ontológico e o alcance filosófico dos comportamentos*

[10] O vocábulo *quantum* designa quantidade em grego, cujo plural, também em língua grega, é *quanta*. O termo se refere a uma quantidade pequena, e a partir do uso de Planck em seu artigo de 1900, passou a designar quantidades microfísicas, como referência mais ampla às estruturas que pertencem ao âmbito das partículas atômicas e subatômicas, tais como elétrons, prótons, etc. Sua primeira utilização como referência a uma característica da natureza – tal como ocorre na expressão "*quantum* de energia" – remete, portanto, ao trabalho de Planck que delimitou os primórdios da teoria quântica, no início do século XX, momento em que, como vimos acima no corpo do texto, se procurou resolver o problema da radiação do corpo negro. Anos depois, em 1905, na tentativa de explicação teórica do fenômeno conhecido como efeito fotoelétrico, Einstein se refere à luz como compostas de partículas ou *quantum* de luz, o que consolidou a utilização do termo *quantum* e seu plural *quanta* para referência ampla ao mundo das estruturas microfísicas. Posteriormente o termo passou a representar as teorias que se apresentaram ao longo do século XX em torno do universo microfísico, denominadas "teorias quânticas", como, por exemplo, se verifica no vocábulo "Mecânica Quântica".

contraditórios advindas do universo quântico, entre eles o chamado dualismo onda-partícula, fenômeno que remete ao fato de a luz – depois a própria matéria – ora se comportar como partícula, ora como onda.

Neste contexto, Heisenberg assumiu, a partir de 1925, a condição de um dos interlocutores centrais que buscou enfrentar os desafios de interpretar o significado ontológico da nova física quântica, que, até aquele momento, ainda ensaiava seus primeiros passos. Neste sentido, os trabalhos teóricos, juntamente com os esforços filosófico-conceituais de Heisenberg, constituem uma das contribuições mais significativas e obstinadas para tentar encontrar uma interpretação capaz de considerar os desafios da física atômica.

Restava-nos considerar, a partir da decisão de ir ao encontro das concepções de Heisenberg, a necessidade de revisitação de nossas antigas convicções materialistas, no sentido de uma consideração mais atenta do *significado do idealismo de Heisenberg*. Já não era mais suficiente talhar a atitude de Heisenberg como uma nova modalidade do idealismo de Platão. A questão agora era buscar investigar as *razões* pelas quais um físico da estatura de Heisenberg, leitor atento não só dos gregos, mas também dos filósofos modernos, e figura participativa determinante na construção e nos debates conceituais em torno da física quântica, se aproxima em alguns aspectos de Platão para compor suas convicções filosóficas sobre o problema da objetividade dos fenômenos quânticos.

As questões que resultaram desta nova fase de nossos interesses podiam ser assim formuladas: 1) Por que Heisenberg se aproximou do idealismo de Platão e escolheu a matemática como o último traço determinativo das partículas elementares, portanto, nos termos que escolhemos, como resposta para o problema da objetividade dos fenômenos quânticos? 2) O idealismo de Heisenberg nega a existência de um fundo objetivo material para os fenômenos quânticos? 3) Qual o significado do idealismo de Heisenberg?

Estas três questões se constituem metodologicamente nos fios condutores de nossa pesquisa, no sentido de que perpassam os argumentos presentes nas várias frentes reflexivas que empreendemos. A tese que norteou nossa pesquisa, logo adiante anunciada, procura delinear uma resposta capaz de enfrentá-las simultaneamente, e conferir sentido e coerência às posições filosóficas relativas ao idealismo confesso de Heisenberg. Antes, porém, faremos duas observações que finalizarão nossa reconstrução genético-pessoal em torno do problema da objetividade dos fenômenos quânticos e nos estimulou a investigar o pensamento de Heisenberg em torno desta temática.

Em primeiro lugar, percebemos que o próprio Heisenberg salientava que a questão da objetividade não podia ser enfrentada a partir de um viés meramente materialista, nem no materialismo de modelagem grega – com Leucipo e Demócrito – nem naquele materialismo moderno que reveste a compreensão mecanicista de natureza construída pela física clássica a partir de Galileu, principalmente presente nos trabalhos de Isaac Newton e tardiamente de James Maxwell. Isto significa que uma compreensão consistente da natureza dos fenômenos quânticos, para Heisenberg, exige um tratamento cuja amplitude considere os aspectos específicos trazidos à tona por esses novos fenômenos, fenômenos antes pouco conhecidos, como é o caso da radiação do corpo negro que, conforme vimos a pouco, foi objeto de reviravolta na física.

Em segundo lugar, tornou-se necessário desenvolver uma reflexão mais atenta sobre os problemas conceituais e filosóficos que envolvem a compreensão da objetividade dos fenômenos quânticos em Heisenberg, e, neste sentido, fomos nos convencendo da necessidade em investigar as razões das escolhas das balizas filosóficas que davam sustentação ao pensamento de Heisenberg. O resultado deste movimento, como vimos, foi *a problematização dos aspectos filosóficos presentes no idealismo de Heisenberg*, o que traz o exame do problema da objetividade em Heisenberg para o interior de um ponto de vista *ontológico* e *conceitual*, portanto, dentro de uma *perspectiva metafísica*. A questão por fim maturada apresenta-se do seguinte modo: *quais problemas conceituais inter-relacionados à questão da objetividade permitem compreender mais amplamente o significado do idealismo de Heisenberg?* Vejamos a tese que defendemos para buscar uma possível solução para este problema.

A tese que defendemos ao longo de nossa exposição e que conduzirá os esforços argumentativos e analíticos de nossa pesquisa pode se anunciada de forma sucinta e simplificada nos seguintes termos: a resposta idealista para o *problema da objetividade dos fenômenos quânticos*, em Werner Heisenberg, somente pode ser corretamente compreendia, segundo nosso viés interpretativo, a partir do reconhecimento de uma tensão entre a *matéria* e a *forma*.[11]

---

[11] É importante tecer uma observação prévia que visa compor mais clareza à utilização dos termos *matéria* e *forma*, acima referidos. Quando alegamos que a posição de Heisenberg sobre a questão da objetividade dos fenômenos quânticos se situa entre a *matéria* e a *forma*, não estamos com isso defendendo que a posição de Heisenberg se apropria da palavra ou categoria "matéria", com o mesmo sentido imputado pela tradição filosófica grega antiga, sentido postulado, por exemplo, com Demócrito e Epicuro, nem mesmo estamos defendendo o sentido de "matéria" tal qual conotado pelo moderno materialismo presente na chamada física

Aqui é preciso esclarecer que o termo *matéria* faz alusão aos esforços investigativos do *físico* Heisenberg, que procura se debruçar teoricamente em torno de uma nova compreensão para os fenômenos quânticos. O físico Heisenberg aparecerá, sobretudo, no interior do capítulo quinto desta pesquisa, quando analisaremos conceitualmente aquilo que ficou conhecido como *princípio da incerteza* de Heisenberg, ou as chamadas *relações de Heisenberg*. Já o termo *forma* é uma referência ao esforço de Heisenberg em pensar filosoficamente uma resposta para a questão "de que tudo é feito?", resposta que, segundo apontamos, se *aproximará* – sem se confundir – das formas puras de Platão, como reiteradas vezes admitiu Heisenberg.

Também é interessante esclarecermos que o termo *entre*, que aparece como mediação linguística na expressão "*entre* a matéria e a forma", não possui conotação ontológica, ou seja, não diz respeito ao tipo de objetividade que seria ontologicamente constituída parte de matéria e parte de forma, como ocorre, por exemplo, na *substância* de Aristóteles, mas a expressão *entre* assume um estatuto *lógico-semântico*, ou seja, quer chamar a atenção para a própria *tensão* acima aludida, localizada na consideração mais ampla do esforço físico-teórico e do esforço conceitual-filosófico, traço marcante do pensamento de Heisenberg.[12]

---

clássica, ou seja, a física de Galileu e de Isaac Newton. Do mesmo modo também não estamos defendendo que a palavra ou categoria "forma", acima citada, se encontra em Heisenberg com a mesma acepção dada por Platão. Como veremos é exatamente por conta da especificidade da proposta de Heisenberg em torno da questão da objetividade dos fenômenos quânticos, que situamos a posição de Heisenberg em algum lugar entre a matéria e a forma. O que pretendemos ao situar a posição acerca da objetividade em Heisenberg entre a matéria e a forma é apontar o caráter próprio da posição filosófica de Heisenberg, no sentido de uma posição específica que se localiza entre a posição "matéria" e a posição "forma", cujas matrizes são gregas, mas uma posição específica que, no nosso entendimento, não se confunde com ambas, e só pode ser compreendida a partir da tensão entre os aspectos ontológicos e epistemológicos presentes em Heisenberg.

[12] O título desta Tese – "Entre a matéria e a forma: o problema da objetividade dos fenômenos quânticos em Werner Heisenberg" – faz referência ao problema e à solução do problema, anunciando-os, no entanto, de forma invertida: primeiro anuncia a resposta, procurando sugerir implicitamente uma tensão que acompanha os termos da resposta, e depois anuncia o problema. Neste sentido o problema é a compreensão do tipo de objetividade inerente aos fenômenos quânticos em Heisenberg, e a resposta procura sugerir para o leitor o reconhecimento de um lugar não definido para essa resposta, uma posição imprecisa assumida pelo termo *entre* colocado como elemento de ligação dos vocábulos matéria e forma. Qual o significado do vocábulo *entre*, presente no título desta pesquisa? Que queremos dizer ao anunciar que o problema da objetividade dos fenômenos quânticos, ou o problema "de que tudo é feito", está posicionado *entre* a matéria e a forma? O que queremos indicar com a expressão *entre* é que a própria solução de Heisenberg para o problema de determinar qual objetividade constitui as vinte e cinco partículas elementares conhecidas no seu tempo (os últimos "tijolos da matéria", para Heisenberg, conforme vimos na nota 3, presente na página 14 desta pesquisa), somente poderá ser corretamente compreendida, segundo defendemos, se levarmos em conta aspectos do pensamento do *físico* Heisenberg, que acredita, **simultaneamente, porém em contextos diversos**, **na matéria**, quer seja, na existência de um "fundo objetivo material" (objeto de apreciação do capítulo 5 desta pesquisa), ainda que de modo não explícito, e do filósofo Heisenberg, ou melhor, quando Heisenberg procura pensar filosoficamente no que constitui as partículas elementares, e **na forma**, isto é, assume como resposta a forma, ou a existência de estruturas matemáticas puras, como último recurso analítico para resolver o problema da objetividade dos fenômenos quânticos (objeto de apreciação do capítulo 6 desta pesquisa).

Portanto, em termos mais explícitos e rigorosos, nossa tese afirma que o problema da objetividade dos fenômenos quânticos em Heisenberg pode ser compreendido a partir de uma chave interpretativa que reconheça a *tensão* interna que se estabelece entre dois aspectos complementares presentes na interpretação conceitual de Heisenberg em torno dos fenômenos quânticos: de um lado, existe em Heisenberg uma referência implícita ao aspecto *ontológico* dos fenômenos quânticos, a partir da *aceitação indireta* da existência de uma *base material*, ou a existência de um fundo objetivo material para os fenômenos quânticos, e, de outro lado, existe em Heisenberg uma referência explícita ao aspecto *epistemológico* dos fenômenos quânticos, a partir da aceitação direta da existência de problemas relacionados ao ato de conhecimento dos fenômenos quânticos.

Nossa tese sustenta ainda que a posição filosófica de Heisenberg em identificar as partículas elementares – os últimos constituintes dos fenômenos quânticos – como estruturas *matemáticas*, é expressão de uma *atitude pragmática* de Heisenberg, e defende que o pragmatismo de Heisenberg se constitui no modo encontrado por Heisenberg para superar a tensão entre o aspecto *ontológico* e o aspecto *epistemológico* presentes em sua compreensão conceitual dos fenômenos quânticos.

Antes de avançarmos rumo ao anúncio dos aspectos mais gerais de nossa pesquisa, o que nos permitirá uma melhor compreensão de nossa tese recém-apresentada, e da colocação de alguns dos conteúdos que integram o conjunto do corpo expositivo, gostaríamos de situar sucintamente algumas de nossas convicções metodológicas, o que acreditamos facilitar a compreensão da divisão interna de nosso trabalho.

Em primeiro lugar, a filosofia se nos apresenta fundamentalmente como problema. Isto significa que toda discussão filosófica se desenvolve a partir de questões específicas, no sentido da indagação reflexiva de determinado problema em torno de sociabilidade (aspectos envoltos com o humano, tal qual o direito, a linguagem, a política, a moral, etc.), determinado problema em torno da natureza, determinado problema em torno do conhecimento humano, ou determinado problema lógico. Este problema específico que a filosofia levanta, por exemplo, sobre o homem ou sobre a natureza, que podemos denominar de problema nuclear, possui uma historicidade, bem como possui uma trama conceitual que o inter-relaciona com outros problemas. Estes problemas que se vinculam intimamente com o problema nuclear possuem um enredamento com outros conceitos, e constituem o que podemos denominar de problemas inter-relacionados, ou problemas correlatos.

Em segundo lugar, é preciso reconhecer duas situações possíveis, normalmente presentes em pesquisas de caráter metafísico: o uso de pressupostos conceituais implícitos, e a existência de uma *historicidade* que situa e contextualiza o problema nuclear. Esse reconhecimento favorece a compreensão da trama que vincula o problema nuclear com os problemas inter-relacionados, o que acreditamos exigir dois momentos preparatórios iniciais, momentos que devem ser enfrentados antes do curso expositivo do problema nuclear: um primeiro momento, dedicado à explicitação dos principais pressupostos conceituais que serão utilizados ao longo da pesquisa, momento onde devem ser apresentados alguns esclarecimentos em torno dos principais conceitos implícitos vinculados com o problema nuclear, como também, um momento preparatório, onde devem ser apresentados alguns aspectos do contexto histórico da trama que vincula o problema nuclear com os problemas correlatos. A partir destes momentos dois preparatórios iniciais, acreditamos ser possível apresentar com mais rigor metodológico as especificidades do problema nuclear, desenvolvendo-o a partir de seus nexos com os problemas correlatos e de suas determinações internas.

É exatamente em função destas linhas gerais metodológicas de caráter mais abstrato que desenhamos o perfil da divisão interna de nossa exposição, organizando-a em duas partes: a primeira parte será articulada em torno de três momentos: primeiramente discorreremos em torno da explicitação dos principais pressupostos conceituais que nos utilizaremos ao longo da pesquisa, quer sejam as noções de *natureza*, de *objetividade* e de *realidade*; depois apresentaremos as principais *matrizes histórico-filosóficas antigas* que evidenciam vínculos com a questão da objetividade em Heisenberg, e, finalmente, apresentaremos, ao final desta primeira parte, alguns *aspectos contextuais de cunho histórico-científico* do surgimento da física quântica, aspectos a partir dos quais se situa a trama do problema da objetividade em Heisenberg. A segunda parte de nossa pesquisa será dedicada às especificidades que consideramos mais pertinentes ao problema nuclear da objetividade em Heisenberg, bem como serão apresentados alguns dos problemas correlatos que no nosso entendimento se interligam mais intimamente ao problema nuclear da objetividade, a partir das indicações de Heisenberg.

Tecidas estas breves considerações metodológicas envolvidas na montagem da lógica expositiva, passaremos a uma apresentação dos problemas que estarão presentes ao longo de nossas discussões, numa tentativa de permitir uma prévia *visualização do conjunto* que iremos investigar, ou, de modo mais metafórico, a percepção arquitetônica do edifício

conceitual que procuraremos construir. O importante, neste momento, é privilegiar a visão do conjunto, para em seguida enveredarmos pelas partes internas do edifício conceitual.

A chave para um acompanhamento mais claro dos argumentos internos de nossa pesquisa poderia ser anunciada na *implícita* oposição presente em diferentes contextos da produção teórica e conceitual de Heisenberg, e que procuramos trazer à tona no curso de nossa investigação em, de um lado fazer referência ao tratamento conceitual *ontológico* dos fenômenos naturais presente na *física clássica*, e, de outro, fazer referência ao tratamento conceitual *epistemológico* dos fenômenos quânticos presente na *física quântica*. Antes de prosseguirmos, vamos esclarecer brevemente os termos desta oposição recém-anunciada, para permitir um melhor acompanhamento de nossos argumentos.

O que seria o tratamento conceitual *ontológico* dos fenômenos naturais, por parte de Heisenberg, presentes na *física clássica*? Trata-se da disposição de Heisenberg em reconhecer na física clássica uma postura *ontológica* na descrição da natureza, isto é uma tendência visualizada em físicos como Newton e Maxwell em procurar descrever de forma completa como a natureza *é* – por isto trata-se de uma postura *ontológica* da física clássica – como se fosse possível à física clássica determinar, com precisão absoluta, por exemplo, a posição, a velocidade e o momento de uma partícula qualquer.

Quais as principais consequências no reconhecimento, por parte de Heisenberg, do caráter ontológico da física clássica? Por razões que ficarão mais claras já no próximo parágrafo, mas que voltaremos em vários momentos de nossa pesquisa, Heisenberg rechaça este impulso metafísico dos físicos clássicos em procurar descrever a natureza tal qual ela é, como se fosse possível capturar a estrutura ontológica que subjaz os fenômenos naturais. Aqui é interessante anotar as duas consequências desta crítica à física clássica, consequências que irão percorrer as várias fases do pensamento de Heisenberg[13]: de um lado uma atitude anti-

[13] O problema da identificação das fases do pensamento de Heisenberg não foi enfrentado nesta pesquisa. Apesar desta lacuna, apontada pela arguta apreciação do professor Osvaldo Pessoa Jr., devemos reconhecer a extrema relevância para um correto reconhecimento e compreensão dos movimentos conceituais internos do percurso intelectual do físico alemão. Trata-se de um limite desta pesquisa, e que traria aporte e sofisticação caso tivesse sido aqui enfrentado. Não obstante tal relevância trata-se, ao que parece, de um problema ainda em aberto, e de um tema pouco discutido na literatura especializada, com carência, até onde sabemos, de publicações ou estudos com tratamentos rigorosos mais consolidados. Por sugestão do próprio professor Pessoa Jr., citaremos, mais adiante, algumas fontes – não exaustivas – para o enfrentamento de tal problemática, assumindo o risco dos equívocos eventuais nesta enumeração, e faremos menção, de passagem, às fases que normalmente se atribui ao percurso conceitual-filosófico do autor das *relações de indeterminação*. Como afirmamos, trata-se de um problema em aberto, onde indicaremos, sem respaldo em pesquisa prévia, uma sugestão de divisão não rigorosa. As três fases do pensamento de Heisenberg que difusamente parte da literatura especializada aponta são: uma primeira fase *positivista*, que marcaria a juventude de Heisenberg e reconhece a influência de Pauli sobre

metafísica de Heisenberg, na medida em que a intenção em descrever de forma completa a natureza seria um impulso equivocado dos físicos do século XVIII e XIX, portanto da chamada física clássica; de outro lado a atitude anti-realista de Heisenberg, atitude que critica a existência de uma realidade externa redutível à esfera do pensamento. Este impulso realista da física clássica, reconhecido por Heisenberg, se equivoca por aceitar as bases do velho materialismo grego que remonta a Leucipo e Demócrito. Deste modo, Heisenberg critica os físicos clássicos por conta de sua atitude metafísica e realista, o que confere ao seu próprio pensamento uma atitude anti-metafísica e anti-realista.

Mas o que permitirá Heisenberg criticar a atitude metafísica e realista da física clássica? A emergência da física quântica no início do século XX, a partir dos estudos de Max Planck, como vimos há pouco. Por razões que iremos debater com mais cuidado no capítulo quatro, a física quântica irá encontrar dificuldades em explicar certas características dos fenômenos quânticos, tais como a estabilidade do átomo, a descontinuidade e o caráter onda-matéria que está presente em todo constituinte da natureza, portanto, em todas as partículas elementares, tais como o elétron e o neutrino. Tais dificuldades alimentaram um amplo debate em torno da compreensão conceitual de tudo o que existe, ou um amplo debate em torno do problema da objetividade dos fenômenos quânticos. Esse amplo debate permitiu a emergência de várias correntes interpretativas dos fenômenos quânticos, incluindo aí a interpretação do próprio Heisenberg e do grupo de Niels Bohr o qual Heisenberg pertencia.

Então, o que seria o tratamento *epistemológico* da física quântica defendido por Heisenberg, e que se contraporia ao tratamento *ontológico* da antiga física clássica de Newton? A posição epistemológica de Heisenberg em relação aos fenômenos quânticos consiste numa forma específica de pensar os fenômenos quânticos, por parte de Heisenberg –

Heisenberg, que estaria datada do ano 1924 a 1927; uma segunda fase *anti-realista* que se gesta após uma famosa conversa com Einstein, e se inaugura com a publicação de seu famoso Princípio da incerteza em 1927 e se estenderia até próximo do fim da Segunda Guerra, em 1945; e uma terceira fase *idealista* que o aproximaria das ideias de Platão e que teria se iniciado após o final da Segunda Guerra, em 1945 e se estenderia até sua morte em 1976. Estas datações, no entanto, são apenas aproximativas, e apenas procuram sugerir marcos cronológicos referenciais. A primeira fase *positivista* é marcada principalmente, conforme observamos, sobretudo pela influência de Pauli, e pode ser referida de forma sucinta como o memento onde Heisenberg se atém ao observado. A segunda fase representa o momento de acirramento máximo da postura anti-realista de Heisenberg, e emergiu, curiosamente, conforme apontado a pouco, de uma conversa que tivera com Einstein, e que representa uma viragem no percurso intelectual de Heisenberg. O curioso deste encontro é que Einstein assume, neste momento uma fase *realista* do seu pensamento. A terceira fase *idealista* julga-se importante destacar o momento histórico do final da Segunda Guerra como contexto diretivo desta nova marcação filosófica-conceitual. Sobre algumas fontes para tratamento desta problemática citamos as seguintes indicações: o livro de Hendry, *The Bohr-Pauli Dialogue*, procura explorar o início da fase positivista ou instrumentalista de Heisenberg, que deve ter ido de 1924 a 1927. O livro de Max Jammer, *The philosophy of Quantum Mechanics*, procura discutir a fase inicial do pensamento de Heisenberg.

também presente grupo de físicos próximos de Bohr – que tem como ponto central o reconhecimento de que não é mais possível descrever o mundo quântico tal qual ele é (abandono da posição ontológica ou metafísica da física clássica).[14] O ponto de viragem que permitiu Heisenberg assentar com mais consistência e rigor sua concepção *epistemológica* repousa no chamado princípio da indeterminação de Heisenberg, formulado pelo autor em 1927, tema que será objeto central de discussão conceitual em nosso quinto capítulo. Ali veremos que não é possível, segundo Heisenberg, determinar com precisão absoluta, simultaneamente, a posição e a velocidade de uma partícula elementar, tal qual o elétron. Se não é possível determinar sequer a velocidade e a posição de um elétron, em determinado tempo, como seria possível, segundo Heisenberg, descrever a natureza tal qual ela é?

Esta viragem epistemológica do pensamento de Heisenberg vai significar o abandono metafísico e realista da postura *ontológica* da *física clássica*, para a assunção de uma *posição epistemológica* da *física quântica*. Veremos que esta viragem ocorreu depois de anos de amadurecimento do pensamento de Heisenberg, cujo momento determinante resultou de um encontro com Einstein, onde, segundo Heisenberg, Einstein lhe dissera em tom quase aforístico que "a teoria determina o que deve ser observado". A interpretação que brotara de Heisenberg sobre esta sentença quase misteriosa de Einstein foi tratar os fenômenos quânticos não mais como uma descrição do que esses fenômenos *são*, em última instância, mas somente naquilo que *poderia* ser observado, o que resultou na preocupação com os problemas envolvidos no modo como *conhecemos* os fenômenos quânticos – daí a mudança da postura ontológica da antiga física clássica para a epistemológica da nova física quântica, defendida por Heisenberg.

Esta distinção "clássico-quântica" entre as formas tratamento conceitual é considerada por Heisenberg como fundamental para enfrentar os desafios inerentes à abordagem

---

[14] No esforço de esclarecer e aperfeiçoar o corpo da argumentação em curso, o professor Daniel Durante apresentou uma aguda observação bastante pertinente que registraremos de forma livre, conservando parte da articulação e o teor de suas indicações. Segundo o professor Durante, a posição epistemológica de Heisenberg ou o modo "epistemológico" de Heisenberg pensar os fenômenos quânticos pode ser considerado, em termos mais amplos, como uma forma de resposta teórica frente às *peculiaridades* e *dificuldades* – muitas vezes quase intransponíveis – advindas dos próprios fenômenos quânticos. Neste sentido, a postura "epistêmica" de Heisenberg não representa a tentativa de retratar ou descrever a "realidade" interna dos aspectos bizarros e peculiares dos fenômenos quânticos, nem a postulação mesma desta realidade esquisita e peculiar, mas sim de uma tentativa de demonstrar que há certas limitações *intransponíveis* em nossas capacidades de observação e medição dos fenômenos quânticos, que se reflete em *restrições* teóricas. Deste modo, o *princípio da incerteza* (ou as *relações de indeterminação*) de Heisenberg, cerne de referência da atitude "epistemológica" de Heisenberg, se apresenta como uma restrição da teoria sobre a realidade quântica, cuja justificativa não é a busca de afirmação de uma natureza quântica essencialmente diferente, mas um reconhecimento de uma limitação essencial intransponível em nossa capacidade de observar e medir tais fenômenos.

interpretativa dos domínios atômicos. Ocorre que Heisenberg, segundo defendemos em nossa pesquisa, cria uma tensão no interior do seu pensamento quando vai construir suas argumentações em torno do problema da objetividade, ou o problema "de que é feito tudo o que existe?" De um lado Heisenberg se utiliza de um discurso *filosófico* que procura indagar o que seriam as últimas estruturas constituidoras do mundo quântico – as partículas elementares, e reconhece que tais estruturas seriam, em última análise, estruturas matemáticas. De outro lado, Heisenberg se utiliza de um discurso *físico-matemático* – aqui representado pelas suas relações de indeterminação – onde ele reconhece indiretamente a existência material das partículas elementares.

Se prestarmos um pouco de atenção ao que apontamos acima, podemos elaborar o seguinte juízo, que nos parece bastante paradoxal: o discurso *filosófico* de Heisenberg que propõe indagar as estruturas do mundo quântico recoloca, para o próprio Heisenberg, o interesse *ontológico* – impulso presente na física clássica de dizer *o que a natureza é* – que será criticado, como vimos, por Heisenberg. O curioso é que o discurso filosófico-ontológico de Heisenberg aponta as estruturas matemáticas como os últimos constitutos de tudo o que existe. Por outro lado, quando atua como *físico* interessado em determinar o modo como *conhecemos* o mundo quântico – portanto quando Heisenberg atua sob impulso *epistemológico*, sob motivação *epistemológica*, ele "esbarra" em constatações ontológicas, o que no caso das relações de indeterminação, significa o reconhecimento da existência do choque entre um elétron e o raio gama, conforme veremos de forma mais detida no interior do quinto capítulo, mais adiante. Como compreender estes dois impulsos aparentemente contraditórios no interior do pensamento de Heisenberg? Afinal, os elétrons e os neutrinos, em última análise, são estruturas matemáticas (formas puras) ou existem materialmente (matéria)? Como conciliar esta aparente contradição no pensamento de Heisenberg?

Primeiramente é preciso compreender que esta via interpretativa que aponta uma tensão entre o *filósofo* Heisenberg, e o *físico* Heisenberg, ou em outros termos mais concisos e abstratos, a tensão entre matéria e forma como respostas ao problema da objetividade em Heisenberg, não é assumida explicitamente por Heisenberg nos termos em que estamos anunciando, mas é claramente reconhecível nas suas críticas ao modo como, segundo o próprio Heisenberg indica, o materialismo se apropria dos conceitos da física clássica. Para percebermos o alcance e importância desta indicação recém-anunciada, tratemos de expor um pouco mais esta oposição filosófica-conceitual entre física *clássica* e física *quântica*.

Em primeiro lugar é preciso reconhecer o estatuto conceitual básico que reveste a física clássica, ou seja, principalmente a física formulada por Newton, como expressão de uma referência filosófica moderna pautada no materialismo, ou seja, numa aceitação de uma objetividade material, numa compreensão da natureza como extensão da matéria pontual, com posição e velocidade bem definidas, resultando em sistemas que podem ser descritos com precisão absoluta e que evoluem com o tempo de forma determinista e causal. De outro lado, é possível reconhecer a explicação contemporânea proposta pela chamada física quântica, cuja base de explicação conceitual procura romper com os traços mais firmes do materialismo moderno e com o determinismo causal.

Sob a ótica da física quântica, nos moldes tecidos por Heisenberg, não é possível considerar a natureza como extensão da matéria pontual, nem determinar de modo preciso simultaneamente sua velocidade e posição, o que impede um tratamento determinístico-causal, ou seja, impede que conheçamos com precisão o estado futuro de um sistema – pensemos no deslocamento de um elétron – a partir do estado passado desse mesmo sistema. O resultado destas considerações antitéticas entre a interpretação dos fenômenos naturais à luz da física clássica e da recém-construída física quântica, é o reconhecimento da existência de uma tensão entre estes dois modos antagônicos de compreensão ontológica da natureza, ou seja, tensão entre dois modos distintos de supor o que de fato é a natureza, e delimitar conceitualmente que objeto a constitui em última análise. Essa tensão – tanto teórica quanto conceitual entre o clássico e o quântico – é, como já indicamos a pouco, irreconciliável aos olhos de Heisenberg e do grupo do qual fazia parte, grupo que continha entre suas fileiras a figura principal de Niels Bohr (1885-1962).

A compreensão deste caráter inconciliável entre o aparato teórico e conceitual materialista da física clássica e a nova plataforma experimental que expunha o caráter contraditório e misterioso do novo mundo quântico foi apenas lentamente alcançada, como veremos no interior do capítulo desta pesquisa. Em primeiro lugar, Bohr construiu um modelo atômico em 1914 em que sugeria uma imagem pictórica do átomo como um modo análogo do sistema planetário, onde o núcleo ocupava o centro do sistema e os elétrons orbitavam – do mesmo modo como os planetas o fazem em torno do sol – em torno desse núcleo. Com esse modelo, Bohr introduziu os conceitos de níveis energéticos e saltos quânticos, cujas

referências diziam respeito à região onde cada elétron orbita em torno do núcleo (níveis energéticos) e à passagem de um elétron de uma órbita para outra (saltos quânticos).[15]

Por conta de questões que discutiremos mais adiante, este modelo de Bohr apesar de representar uma importante conquista teórica para a compreensão do funcionamento das estruturas atômicas, e de ter sido muito bem recepcionado pela comunidade científica da época, posteriormente enfrentou algumas críticas – principalmente no tocante ao conceito de órbitas – críticas endereçadas a Bohr e ao grupo de pesquisadores que se articulavam em torno de Bohr, grupo que Heisenberg faria parte cerca de dez anos depois.

A posterior crise do modelo atômico de Bohr veio expor os limites da física clássica – e sua concepção de objetividade material – para o enfrentamento teórico dos problemas experimentais oriundo dos novos fenômenos quânticos, e, com isso instaurou-se os primeiros movimentos da aludida tensão entre a dupla forma, clássica e quântica, de compreensão da natureza. Essa tensão iria se desenvolver em paralelo a partir de dois planos: de um lado, com a aparição de cada novo modelo teórico explicativo, inserindo as contribuições formais da matemática avançada num embate clássico-quântico, e, de outro lado, pela busca de referências ontológicas mínimas que pudessem compensar a "secura formal" das novas teorias.[16]

O resultado destes embates conceituais e teóricos foi a defesa, por parte do grupo que se reunia em torno de Bohr – entre eles Heisenberg – da tese da impossibilidade de qualquer modelo pictórico, isto é, qualquer modelo que contenha uma referência visual intuitiva – como, por exemplo, considerar o átomo como um sistema planetário, e do confronto com qualquer postulação teórica que buscasse uma referência ontológica material para os fenômenos quânticos, como é possível observar na crítica de Heisenberg e Bohr ao modelo

---

[15] Cf. ABDALLA, Maria Cristina Batoni. *Niels Bohr o arquiteto da mecânica quântica*. In: Quânticos: os homens que mudaram a física. São Paulo: Ed. Duetto, 2010, p. 32.

[16] A respeito da tensão entre os modelos clássicos e os novos fenômenos quânticos, em certa ocasião no início da trajetória intelectual de Heisenberg, o próprio Heisenberg indagou a Bohr se era possível esperar que as explicações clássicas pudessem explicar o átomo. Segundo o professor Caruso, a resposta de Bohr desenvolveu-se na seguinte direção: "Nessa conversa, Heisenberg perguntou a Bohr se era lícito esperar que representações clássicas [entenda-se com isso o uso de recursos pictóricos – como imagens de órbitas similares ao sistema solar – e conceitos como velocidade e posição de modo a situar a cada instante deterministicamente o estado de um dado sistema físico] pudessem explicar o átomo quântico. Bohr teria respondido o seguinte: – *Bem, penso que essas representações clássicas dos átomos que eu desenho são tão boas quanto uma representação clássica pode ser. Estamos agora em campo novo na física, em que sabemos que os velhos conceitos provavelmente não funcionam, pois do contrário os átomos não seriam estáveis. Por outro lado, quando queremos falar sobre os átomos, temos de usar palavras, e estas só podem ser tomadas dos velhos conceitos, da velha linguagem(...). Assim, na medida em que podemos falar do movimento dos elétrons, sobre sua velocidade, sua energia, etc. , penso que minhas representações estão corretas, ou pelo menos espero que esteja, mas ninguém sabe onde essa linguagem pode ir*." Cf. CARUSO e BASSALO. *Heisenberg*. São Paulo: Livraria da Física, 2014, p. 11.

sugerido pelo físico francês Louis de Broglie, modelo que considerava a matéria como um conjugado de partícula e onda.[17]

A partir de longos debates que estabeleceu com Bohr, Heisenberg amadureceu as principais linhas diretivas estabelecidas por Bohr, e assumiu, como ponto de partida de seus trabalhos teóricos, a posição de que o tratamento formal dos fenômenos quânticos deve conter referências meramente matemáticas para esses fenômenos, abdicando de qualquer referência pictórica e ontológica para o átomo e seus constituintes, e para a descrição dos fenômenos quânticos conhecidos. Esta premissa está presente na maior contribuição teórica-formal de Heisenberg, publicada em 1925, a chamada mecânica matricial, formulada juntamente com Max Born (1882-1970) e o jovem estudante Pascual Jordan (1902-1980).

Este privilégio da descrição matemática indicava implicitamente a componente *epistemológica* de Heisenberg, e a crença de que a física quântica deveria se apoiar em grandezas observáveis e mensuráveis, o que era perceptível em sua mecânica matricial, e em seus trabalhos subsequentes.[18] No entanto, mesmo com a receptividade positiva de sua mecânica matricial, Heisenberg percebera que os fundamentos da mecânica quântica não estavam claros, o que o levou a buscar um aprofundamento de sua teoria, examinando-a sob a ótica da *forma como conhecemos os fenômenos quânticos*, portanto intensificando a *componente epistemológica* de seu pensamento.[19]

---

[17] DANTAS, M. T. Heisenberg e a filosofia grega. (dissertação de mestrado) PUC, Rio de Janeiro, 2005.

[18] A respeito do contexto preparatório para a contribuição teórica de Heisenberg conhecida como *Mecânica matricial*, Roberto de Andrade Martins nos diz o seguinte: "Por influência de Bohr, Heisenberg já havia aceitado a ideia de que a física quântica não precisava seguir ou se apoiar na física clássica e que poderia ser necessário introduzir conceitos que nada tivessem de familiar. Outro princípio básico foi que *a física deveria se basear em grandezas observáveis e mensuráveis*, e que tratar de grandezas não mensuráveis podia trazer grandes problemas." Na sequência o professor Roberto Martins continua seus comentários: "No estudo da teoria da dispersão, Kramers e Heisenberg já haviam abandonado a descrição semiclássica do movimento dos elétrons no átomo, trabalhando *apenas com ideias mais abstratas* e com as frequências dos osciladores virtuais associados aos átomos. Heisenberg começou a procurar algum tipo de procedimento que permitisse calcular as propriedades da radiação emitida pelos átomos *sem fazer nenhuma hipótese sobre as estruturas dos átomos*." Cf. MARTINS, Roberto de Andrade. *Werner Heisenberg: o semeador da mecânica matricial*. São Paulo: Ed. Duetto, 2010, p. 64. (grifos nossos)

[19] A respeito do contexto preparatório para sua contribuição teórica conhecida como *relações de indeterminações*, Roberto de Andrade Martins nos diz o seguinte: "Em maio de 1926, Heisenberg foi contratado como assistente de Niels Bohr, com o qual desenvolveu muitas das ideias básicas que se tornaram conhecidas como a 'interpretação de Copenhague' da mecânica quântica. Logo após a publicação dos trabalhos de Schrödinger, Heisenberg reagiu negativamente, criticando as ideias básicas desses artigos, embora passasse a utilizar suas técnicas. No segundo semestre desse ano, Schrödinger foi convidado a visitar Copenhague, onde discutiu intensamente suas ideias com Bohr e Heisenberg, sem conseguir convencê-los. No entanto, eles [Bohr e Heisenberg] perceberam que os fundamentos da mecânica quântica não estavam claros. Foi depois disso que Heisenberg se dedicou a um aprofundamento conceitual da teoria, que resultou na publicação de um trabalho propondo o princípio da indeterminação, em março de 1927 – uma peça chave no quebra cabeças quântico. Foi basicamente por seus trabalhos de 1925 e 1927 que ele recebeu o prêmio Nobel em 1932." Cf. MARTINS,

O resultado desta nova investida *epistêmica* encontra-se em outra grande contribuição de Heisenberg, publicada em 1927, conhecida como as *relações de indeterminação*, artigo em que procura aprofundar seu tratamento *epistêmico* para os problemas quânticos, através de uma abordagem matemática dos limites envolvidos nas observações dos fenômenos quânticos.[20] Esse trabalho será examinado no capítulo quinto de nossa pesquisa, evidentemente sob o ponto de vista conceitual, onde procuraremos explorar as referências ontológicas ali presentes, a despeito da intenção de Heisenberg residir, como afirmamos a pouco, em esclarecer aspectos epistemológicos, aspectos envolvidos no modo como devemos aprimorar nosso *conhecimento* dos fenômenos quânticos, a partir do exame detalhado do modo como as observações são realizadas em física quântica, e os limites e as consequências do ato de observar esse mesmos fenômenos.

A investigação conceitual de alguns argumentos desenvolvidos por Heisenberg em suas *relações* será decisivo para o engendramento de nossa tese: em nossa compreensão existem claros indícios de uma *aceitação indireta* – isto é, não explícita – da existência de um fundo objetivo material para os fenômenos quânticos. Este ponto é decisivo, porque expõe uma tensão – poderíamos mesmo apontar a existência de uma contradição implícita – entre aquilo que pensa o *físico* Heisenberg, e o que pensa o *filósofo* Heisenberg.[21]

De um lado, o físico Heisenberg – mesmo não apresentando este aspecto em sua primeira grande contribuição, ou seja, em sua *mecânica matricial* – estabelece uma referência, ainda que indireta, ao estatuto ontológico de certos entes quânticos, tais como o elétron e a

---

Roberto de Andrade. *Werner Heisenberg: o semeador da mecânica matricial*. São Paulo: Ed. Duetto, 2010, p. 72. (grifos e inclusões em colchete nossos).

[20] É por conta destas *relações de indeterminação*, trabalho publicado em 1927, também conhecido como *princípio da incerteza*, que Heisenberg ganhou, posteriormente, notoriedade diante do público não especializado.

[21] A argumentação central que fundamenta nossa Tese não é a surpresa diante do fato de que Heisenberg aceita indiretamente um fundo objetivo, pois como físico o fato surpreendente seria a negação da existência de um fundo objetivo para os fenômenos quânticos. Praticamente nenhum físico se arriscaria em negar o que constitui o cerne de seus esforços, e tal argumento, considerado ao limite, levaria à física a posição paradoxal de pesquisar aquilo que nega. O que causa surpresa, no entanto, e o que motiva nossa pesquisa, é entender como um físico que apresenta um traço positivista de considerar somente aquilo que pode ser observado se permite, em alguns contextos mais filosóficos, indagar algo que está para além da experiência, e, mais ainda, de conceber como resposta para a questão "de que tudo é feito?" estruturas matemáticas. Dito deste modo, a tentativa de resposta filosófica de Heisenberg para o problema do que são, em última instância, as partículas elementares, ou, o que dá no mesmo, qual o estatuto da objetividade dos fenômenos quânticos, para Heisenberg, nos parece apresentar uma tensão interna: enquanto o físico resguarda o fundo objetivo dos fenômenos quânticos (ou seja, aceita a objetividade material dos fenômenos quânticos e das partículas elementares, como é normal de se esperar de um físico), o filósofo escolhe as estruturas matemáticas, como as formas puras de Platão (ou seja, objetividade formal), segundo considera o próprio Heisenberg, algo que, do ponto de vista filosófico, significa uma negação da objetividade material. Portanto a tensão unívoca de Heisenberg se dá em optar, em alguns contextos, pela objetividade material, e, em outros contextos, pela objetividade formal. Como se explica tal tensão? Este é o propósito de nossa pesquisa.

luz, enquanto onda eletromagnética, e, de outro lado, o filósofo Heisenberg defende a ideia de que as partículas elementares são a solução matemática de uma equação da conversão dessas partículas em energia, portanto defende o estatuto formal eidético – em referência abertamente assumida a Platão. Como explicar esta tensão entre o físico e o filósofo, entre o ontológico e epistemológico, e entre a matéria e a forma em Heisenberg?[22]

Reapresentando nossa tese à luz destes encaminhamentos acima delineados, acreditamos que agora ela possa ser um pouco melhor compreendida: em nossa forma de apreciar estas tensões recém-anunciadas, o idealismo do filósofo Heisenberg não visa destituir a objetividade material dos fenômenos quânticos assumida indiretamente pelo físico Heisenberg, mas tão somente reconhecer a impossibilidade de uma representação qualitativa da natureza em seus domínios atômicos, a partir de modelos intuitivos e pictóricos, portanto, reconhecer a possibilidade de uma representação matemática dos fenômenos quânticos, o que significa a afirmação de uma *atitude filosófica pragmática* em função de sua perspectiva epistemológica para a compreensão teórica da física quântica. Tecidas estas considerações que buscaram compor uma visão de conjunto de nossa pesquisa, vejamos como se desenrola seu enredamento interno.

Tomemos primeiramente as questões diretamente relacionadas à primeira parte de nossa pesquisa (pressupostos conceituais e aspectos contextuais) para, a partir daí tratarmos da segunda parte de nossa pesquisa (problema da objetividade dos fenômenos quânticos em Heisenberg). A primeira parte se inicia com o primeiro capítulo, onde nossa reflexão toma como ponto de partida a explicitação dos pressupostos que referenciam a reflexão em curso. Neste primeiro momento da exposição escolhemos três noções ou conceitos que acreditamos estabelecer o horizonte discursivo mais amplo, no sentido de afirmar que todas as discussões que apresentaremos ao longo da exposição estarão direta ou indiretamente relacionadas com alguma destas três noções: natureza, objetividade e realidade.

---

[22] Devemos esclarecer de antemão que estas três tensões acima aludidas – entre o físico e o filósofo, entre o ontológico e epistemológico, e entre a matéria e a forma – dizem respeito a variações ou modulações de uma única tensão que pode ser referida de modos distintos. Esta forma plural de nomear e expor as tensões internas que acreditamos e defendemos estar presente em momentos distintos no pensamento de Heisenberg, presente na produção teórica (sobretudo nas *Relações de indeterminação*) e em várias passagens de seus escritos com teor mais filosófico (sobretudo em algumas conferências de teor interpretativo-conceitual e em algumas passagens do livro *A parte e o todo*), referem-se a única problemática: em escritos de teor técnicos, com caráter físico-matemático, como é o caso das *Relações de indeterminação*, escrito em 1927, Heisenberg (assumindo a posição do físico teórico) apresenta um cuidado rigoroso com o que podemos conhecer a partir do reconhecimento dos limites do que podemos observar; por outro lado, em escritos mais próximo de uma abordagem que designamos conceitual, ou interpretativa, ou filosófica, Heisenberg (assumindo a posição do filósofo) apresenta uma ultrapassagem do rigor que apresenta em textos de perfil teórico e se propõe a pensar no estatuto ontológico do tipo de objetividade que constitui, em última instância tudo o que existe, ou seja, as partículas elementares.

Não discutiremos estes pressupostos conceituais presentes no primeiro capítulo – *natureza*, *objetividade*, e *realidade* – no entanto, a partir de uma consulta filosófica ampla e exaustiva, mas discorreremos sobre estas noções procurando delimitá-las a partir de referências que julgamos pertinentes ao esclarecimento do problema da objetividade dos fenômenos quânticos em Heisenberg, ou seja, a partir de referências que apontem nexos que acreditamos estar *diretamente* voltados para esta temática. É neste sentido que o conceito de *natureza* apenas se situará numa importante sugestão analítica de Paul Ricoeur, e na sua referência de Lucrécio como aquele que antecipadamente instituiu a física como ciência. Também é neste sentido de circunscrição aos objetivos de nosso fio condutor, é que o conceito *objetividade*, conceito central de nossas investigações, será apresentado a partir da tentativa de esclarecer os aspectos que estão envolvidos no duplo viés referido nos limites de nossa pesquisa, quer seja, *objetividade material* e *objetividade ideal*.

No segundo capítulo apresentaremos os pressupostos histórico-filosóficos gregos para o *problema da objetividade*. Este momento é significativo para os nossos propósitos, pois procuraremos apontar, geneticamente, além da emergência do problema da objetividade com os milesianos, a apresentação de outras três principais proposições distintas ao problema da objetividade, todas referentes à filosofia grega. Essas distintas formas de proposição do problema da objetividade gestaram o que denominamos de matrizes gregas para o problema da objetividade, matrizes que instauraram as principais referências filosóficas para a compreensão do estatuto objetal da natureza, e que percorrem caminhos próprios através dos séculos, até ressurgirem como inspiração para a própria compreensão de Heisenberg para o problema da objetividade.

O objetivo deste segundo capítulo é a compreensão da plataforma conceitual a partir de onde se situam nossas discussões sobre a objetividade em Heisenberg, já que, como vimos, Heisenberg se aproxima do legado grego, principalmente de Platão e de Aristóteles, para tentar se contrapor ao modo como a física clássica compreende o problema da objetividade. O intento maior foi apresentar aspectos filosóficos mais gerais que permitissem compreender esta tensão entre materialismo e idealismo, existente no pensamento de Heisenberg, tensão trazida à tona pelas próprias posições filosóficas de Heisenberg, e em pelo menos um momento de sua produção teórica (as chamadas relações de Heisenberg). Essa alegada tensão entre matéria e forma, que aqui defendemos estar presente em Heisenberg, possui suas matrizes e suas linhas mais expressivas do horizonte filosófico grego. Portanto, por conta deste aspecto filosófico-genético das referências filosóficas de Heisenberg, é que discutiremos

alguns aspectos conceituais relevantes para a compreensão das matrizes gregas acima apontadas, aspectos que possam corroborar diretamente com nossos propósitos em discutir a compreensão da objetividade dos fenômenos quânticos em Heisenberg.

Duas questões serão desenvolvidas assumindo a centralidade das discussões neste segundo capítulo, uma relativa a Platão e outra relativa a Aristóteles. Em relação a Platão procuraremos defender a ideia, respaldada nos argumentos de Paul Ricoeur, de que o tratamento conceitual de Platão, frente aos objetos matemáticos, não é fruto de uma investigação autônoma que busque determinar as últimas instâncias estruturadoras da natureza, portanto não foi o resultado de uma investigação sobre o estatuto da objetividade – como ocorre, por exemplo, em Heisenberg – mas uma forma analógica de alcançar a compreensão de problemas humanos – como a política e a ética – para fundamentar a ação do filósofo. Isto retira toda articulação que pretenda defender um tratamento autonomizado aos entes matemáticos de Platão, no sentido de construção conceitual de uma condição de objetividade ideal autônoma para esses entes. Em outros termos, o sentido de uma suposta empreitada em Platão que sustente a condição aos objetos matemáticos como "intermediários" para a ideia de Bem é analógica, e, portanto, visava a propósitos diversos do que imaginava Heisenberg.

Qual seria então a relação entre a análise de Paul Ricoeur sobre o significado da teoria das formas em Platão, com as ideias filosóficas de Heisenberg que aparecerão posteriormente discutidas ao longo do capítulo seis de nossa pesquisa? A relação é de incongruência entre o modo como Platão se serviu da teoria da matemática e da teoria das formas ao longo de seu amadurecimento intelectual, e o modo como Heisenberg se apropria dos entes matemáticos e da teoria das formas de Platão. O objetivo deste capítulo é mostrar que o modo como Heisenberg compreende os entes matemáticos e as formas (ou *eidos*) em Platão, não leva em conta uma exegese rigorosa que decifra os movimentos tardios que Platão assume na parte final da *República*.

Isto significa que ao se considerar os entes matemáticos como os últimos traços determinativos da objetividade das partículas elementares, como veremos no interior do capítulo seis deste trabalho, Heisenberg se apropria de um modo criticado pelo próprio Platão na *República*. Deste modo, ao apresentar no interior do capítulo dois a posição de Platão, desejamos, por um lado, esclarecer aspectos do que são os entes matemáticos em Platão, e que relação possuem com a teoria das formas no próprio pensamento de Platão; por outro lado,

desejamos indiretamente apontar que, quando Heisenberg autonomiza a matemática como reposta a questão "de que tudo é feito?", pensando reproduzir uma lógica interna inerente à posição filosófica de Platão, ele assume uma empreitada filosófica arriscada, pois, conforme demonstra Ricoeur, no que concordamos plenamente, tal autonomização não encontra ressonância na produção tardia de Platão.[23]

Em relação a Aristóteles, resolvemos privilegiar as *Categorias* em detrimento da *Metafísica* por entendermos que o tratamento dado para a substância nas categorias é o momento filosófico grego decisivo para a tematização mais elaborada de uma *objetividade material*, o que significa dizer que, nas *Categorias*, Aristóteles entende a substância como "isto", como *coisa material* – o cavalo, a pedra, etc.– o que não ocorre no tratamento dado à substância no livro VII da *Metafísica*, onde a substância se encontra determinada a partir do *sinolo* forma-matéria, com a forma assumindo a determinação da matéria. Sob nossa perspectiva, é exatamente por conta da relação de comando e de determinação da *forma sobre a matéria* apresentada por Aristóteles na *Metafísica*, que Heisenberg irá se aproximar de Aristóteles através do percurso conceitual da *Metafísica* e não das *Categorias*.[24]

---

[23] Este alegado desconhecimento de aspectos mais rigorosos da exegética especializada de Platão obviamente não atenta contra as pretensões filosóficas de Heisenberg, tornando-a menos sofisticada, pois a filosofia é plena de situações onde um filósofo se apropria de forma própria do pensamento de seu interlocutor, segundo os limites de sua compreensão e interesses. A questão que consideramos relevante é apontar as facetas do problema, no sentido de ampliar os subsídios argumentativos para compreender de um modo mais amplo possível a concepção filosófica de Heisenberg frente ao problema da objetividade, questão que motiva nossas inquirições em curso.

[24] Aqui é pertinente inquirir a seguinte questão: se Heisenberg vai se aproximar de Aristóteles através, principalmente do que é posto no livro *Zeta* da *Metafísica*, por que não nos debruçamos sobre a *Metafísica*, ao invés de termos privilegiado a obra *Categorias*? Duas razões nos parecem ser convincentes para ancorar o critério do privilégio das *Categorias*. Em primeiro lugar, o tratamento central de Aristóteles como resposta a questão do que subsiste por trás de todas as transformações da natureza, pergunta inaugural da filosofia em seu passado jônico – e pergunta central para indagar "de que tudo é feito?" em Heisenberg, ou a pergunta pelo estatuto da objetividade, nos termos de nossa pesquisa – aponta, como sabemos, para o conceito de *substância*. Ocorre que na obra Aristotélica existem duas referências matriciais para a discussão da substância, uma localizada no capítulo *Zeta* da *Metafísica*, e a outra na obra *Categorias*. O problema, no nosso modo de compreender a empreitada de Aristóteles na *Metafísica*, é que, ao apontar a *substância* como um composto ou *sinolo* de *matéria* e *forma*, neste mesmo livro *Zeta* (ou Livro sétimo) na *Metafísica*, Aristóteles acaba por concordar indiretamente com Platão no sentido de estabelecer a *forma* como primazia em relação à *matéria*, no que diz respeito a tudo o que existe. Discutir a *Metafísica*, portanto, é privilegiar a *forma* em detrimento da *matéria*, conservando, é claro, a imanência da posição de Aristóteles em relação à *substância*. Caso optássemos em discutir a substância a partir das indicações do Livro sétimo da Metafísica, recairíamos no predomínio da forma, a exemplo do que fizera Platão. Esta é a primeira argumentação que ancora nossa decisão de discutir alguns aspectos referentes à substância nas *Categorias*: nas *Categorias* a substância assume o sentido do isto material (este cavalo, esta árvore, etc.), o que permite visualizar em Aristóteles uma aproximação com a posição materialista de Leucipo e Demócrito no sentido do apontamento da matéria – e não da forma – como primeiro-último substrato natural. Em segundo lugar a escolha de privilegiar este alinhamento ao "isto" material nas Categorias vai nos permitir enfrentar indiretamente algumas interpretações de Heisenberg que alinham o

O terceiro capítulo de nossa pesquisa se debruça sobre alguns aspectos histórico-contextuais envolvidos diretamente com a emergência dos fenômenos quânticos no cenário científico europeu do final do século XIX. Portanto, procuraremos delimitar o último momento desta primeira parte, a partir de um apanhado histórico-científico, que visa compor um campo informativo conceitual mais amplo, contendo algumas marcações que consideramos representativas da viragem propiciada pelo advento da física atômica, marcações que acreditamos poder facilitar a compreensão de diversos tratamentos subsequentes, voltados para a temática da objetividade que procuraremos apresentar. Passemos a apresentação da segunda parte, parte central ou nuclear, momento que procuraremos investigar o problema da objetividade dos fenômenos quânticos em Heisenberg.

A segunda parte se destina a discutir a forma como Heisenberg compreende a objetividade dos fenômenos quânticos, e se divide em três capítulos: o quarto capítulo, que inicia essa segunda parte, objetiva escrutinar os vários problemas inter-relacionados com o problema da compreensão dos fenômenos quânticos. O problema da compreensão dos novos fenômenos quânticos antecede, em termos lógicos, o problema da objetividade dos fenômenos quânticos, para Heisenberg. Neste quarto capítulo procuraremos apresentar *prima face* o problema da objetividade da natureza como o problema do *início de tudo o que existe na natureza*, para depois, apresentar outros problemas envolvidos na necessidade, posta por Heisenberg, de rearticulação do sentido da compreensão que agora se apresenta atrelada à nova configuração experimental presente nos fenômenos quânticos, portanto completamente diferente do que seria a compreensão dos antigos fenômenos clássicos. É aqui que se apresenta a distinção entre *capacidade de previsão* e *compreensão*, e o problema dos *limites da linguagem cotidiana* para expressar as especificidades dos fenômenos quânticos.

---

pensamento de Heisenberg como se fosse um afastamento radical de Platão, tomando como base desta pesquisa exatamente a obra Metafísica que, conforme apontamos a pouco, Aristóteles na verdade se aproxima de Platão ao invés de negá-lo. As aproximações entre Heisenberg e Aristóteles que certas pesquisas recentes tem procurado desenvolver, partem de uma linha argumentativa equivocada: pensam que Heisenberg assume, com essa aproximação com Aristóteles – via Metafísica – uma postura anti-idealista, o que estaria expresso no conceito de substância e o par categorial ato-potência. O que estas pesquisas não perceberam é que se há um lugar onde Aristóteles foi de fato *anti-idealista*, esse lugar são as Categorias e não a *Metafísica*. Portanto nossa segunda razão na escolha das *Categorias* em detrimento da *Metafísica* tem uma motivação pouco nobre, mas que consideramos importante para situarmos indiretamente nossa posição frente a algumas vertentes interpretativas de Heisenberg: Ao buscar aproximar Aristóteles de Heisenberg via as categorias *substância* e o par conceitual a*to-potência*, o que se faz, em última análise é corroborar a tese que aponta a posição de Heisenberg como idealista. Se fosse possível reivindicar uma posição materialista de Heisenberg isto só seria possível se o próprio Heisenberg remetesse suas apropriações de Aristóteles às *Categorias*, e isto Heisenberg não fez. Assim, de acordo com nossa posição interpretativa, Heisenberg sempre esteve próximo de Platão e do idealismo, mesmo quando cita Aristóteles para sustentar certas argumentaç

Para compreendermos as especificidades da posição filosófica de Heisenberg sobre o estatuto conceitual das partículas elementares, e adentrar no anúncio do conteúdo do capítulo cinco e seis, devemos, primeiramente discutir no terceiro capítulo, o modo como Heisenberg assume seu ponto de partida, para pensar o estatuto da objetividade dos fenômenos quânticos, momento fundamental para a plena compreensão da sua concepção filosófica: para Heisenberg, o advento da física quântica (em dezembro de 1900, com a publicação de um artigo do físico alemão Max Planck), instaurou uma crise no aparato teórico-conceitual da chamada física clássica, período que encobre a física dos séculos XVII, XVIII e XIX, mas, principalmente, a física de Isaac Newton e James Maxwell, ou seja, a mecânica clássica e o eletromagnetismo, respectivamente.[25]

Nosso objetivo, neste momento da pesquisa, é discutir o modo específico como Heisenberg compreende a crise da física clássica, e revelar como isto consistiu na inadequação do corpo teórico que acomodava os conceitos clássicos – tais como, velocidade, posição, etc. – em responder a uma série de novos fenômenos que emergiam nas fronteiras dos domínios atômicos, o que, aos poucos, provocou uma busca por novas plataformas conceituais, e novos aparatos matemático-formais que pudessem novamente reestabelecer uma compreensão mínima dos fenômenos quânticos.

Mencionamos anteriormente que do seleto grupo de físicos teóricos e experimentais empenhados em apresentar contribuições teóricas para este novo momento da física, apenas alguns poucos cientistas deste reservado grupo buscaram também encetar discussões de cunho filosófico-conceitual, procurando propor uma interpretação para o significado dos fenômenos quânticos. Heisenberg foi um representante assíduo tanto do grupo que atuava na linha de

[25] Segundo Roberto de Andrade Martins e Paulo Sérgio Rosa, "No final do século XIX, a física parecia ter atingido seu ponto máximo de compreensão. As leis de Newton para a mecânica e para a gravitação, que vinham sendo aperfeiçoadas desde o século XVII, descreviam com grande precisão o comportamento dos corpos celestes e terrestres. Em contrapartida, as propriedades elétricas e magnéticas haviam sido unificadas através da teoria eletromagnética proposta por James Clerk Maxwell. Essa teoria estabeleceu que a luz seria uma forma de onda eletromagnética que se propagaria pelo espaço, assim como (segundo aceitamos atualmente) o são os raios X, os raios gama, e as radiações infravermelhas." Na sequência os autores concluem o comentário sobre o momento que antecedeu o surgimento da física quântica: "Com o estabelecimento de regras bem definidas para o comportamento da matéria e das ondas, restaria aos físicos apenas o trabalho de aplicá-las. Pareciam não existir fenômenos que não pudessem ser explicados; haveria apenas o trabalho de desenvolver e ampliar as técnicas existentes para sistemas cada vez mais complexos. Lord Kelvin, em 1900, chegou ao ponto de sugerir que a física tinha atingido o seu limite e que somente duas nuvens negras ameaçavam o seu horizonte. Dois fenômenos ainda estavam sem explicação: o experimento de Michelson e Morley, que procurava determinar a velocidade da Terra em relação ao éter; e a distribuição de energia entre as partículas de um sólido. Essas duas nuvens só se dissiparam no século XX com o desenvolvimento de duas novas teorias, que alterariam de forma decisiva a física como era conhecida até então: a Teoria da Relatividade, e a Teoria Quântica." Cf. MARTINS, Roberto de Andrade e ROSA, Pedro Sergio. *História da teoria quântica: a dualidade onda-partícula, de Einstein a de Broglie*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014, p.1.

frente da produção teórica, tendo assumido, em diversas ocasiões o protagonismo direto destas discussões, como do seleto grupo que procurava um novo ordenamento conceitual a partir da interlocução com as diversas tradições filosóficas, sobretudo com a interlocução privilegiada que conferia aos antigos gregos, notadamente Platão e Aristóteles.

Esta característica de Heisenberg nos possibilitará indagar duas linhas de questões complementares, que visam ampliar o espectro e o lastro de argumentos para compreender o pensamento filosófico de Heisenberg, que, conforme já apontamos anteriormente, é inclinado a assumir as formas matemáticas puras paras expressar o nexo entre a energia e as partículas elementares: de um lado procuraremos um modo de explorar *conceitualmente* uma contribuição teórica de Heisenberg, portanto tratar de aspectos ontológicos presentes no trabalho do *físico* Heisenberg, onde possamos explorar algumas indicações do modo como Heisenberg compreende as relações ontológicas que ocorrem no mundo atômico (por exemplo, como Heisenberg compreende o choque que ocorre entre o elétron e a luz?); de outro lado procuraremos algumas referências filosóficas de Heisenberg que nos permitam indagar as suas posições filosóficas sobre o significado conceitual das partículas elementares, portanto iremos tratar do *filósofo* Heisenberg.

Estas duas frentes de investigação serão o cerne da segunda parte de nossa pesquisa, ocupando os capítulos cinco (as posições conceituais do *físico* Heisenberg sobre os problemas quânticos envoltos na observação experimental das partículas elementares, ou seja, posições conceituais presentes nas suas *relações de indeterminação*), e o capítulo seis (as posições conceituais do *filósofo* Heisenberg sobre o estatuto ontológico das partículas elementares) desta pesquisa. O capítulo quatro, capítulo que inicia a segunda parte de nossa investigação especificamente voltada para Heisenberg, procura investigar, como já apontamos a pouco, alguns problemas conceituais inter-relacionados com o problema da objetividade dos fenômenos quânticos, o que contribui para a apresentação e a compreensão de importantes aspectos amplos envolvidos com a temática de nossa pesquisa.

Parte I

Pressupostos conceituais, histórico-filosóficos e aspectos conceituais do contexto histórico-científicos para a reflexão da objetividade da natureza

Capítulo1: Os **Pressupostos conceituais para a reflexão em torno da objetividade da natureza:** ***natureza, objetividade*** **e** ***realidade***

1.1 Considerações em torno das variações da noção de *natureza*

A primeira noção que deveremos examinar em nossa pesquisa é a de *natureza*. De fato, trata-se de uma noção que necessariamente faz parte de qualquer empreitada que assuma o mundo exterior ao homem como tema de investigação. O que ocorre, no entanto, é que na maior parte das vezes – e isto ocorre com filosofia naturalista grega – a busca pela compreensão da natureza não é precedida de uma investigação prévia do que se considera como natureza, nem se procura explicitar qual concepção de natureza subjaz o esforço de quem a investiga, nem qual conceito ou preconceito de natureza possui aquele que a investiga conceitualmente. Merleau-Ponty nos dá uma dimensão da importância que a concepção de natureza assume nos debates filosóficos em torno da temática naturista, quando trata do impacto provocado pela modificação do conceito de natureza na modernidade:

> Não foram as descobertas científicas que provocaram a mudança da ideia de Natureza. Foi a mudança da ideia de natureza que permitiu essas descobertas. Assim, foi uma concepção qualitativa do Mundo que impediu Kepler de admitir a lei da gravitação universal. Faltou-lhe substituir a Natureza dividida em regiões qualitativamente distintas por uma natureza em que o ser é homogêneo em toda parte e sempre.[26]

A primeira questão crucial para o exame do conceito de natureza é conceber seu caráter histórico, ou seja, compreender que o conceito de natureza sofreu modificações ao longo do tempo, assumindo várias tipificações referenciais que influenciaram de modo decisivo as pesquisas de cada época, e entre essas concepções destacaríamos as três seguintes: a concepção da natureza como um ser inteiramente exterior, feito de partes exteriores ao homem, como puro objeto, assumida implicitamente pelos primeiros filósofos naturalistas, cuja autoria pode ser remetida a Lucrécio; a concepção finalista da natureza cuja autoria remete a Aristóteles e a concepção de natureza em Descartes que assume um Deus infinito onde não é possível distinguir os seus atributos de maneira última, o que resulta em um

[26] MERLEAU-PONTY, Maurice. *A natureza*. São Paulo: Editora Martins Fontes, 2000, pág. 10.

mundo produzido por um Deus, um mundo inserido na ordem da finalidade onde nada é imprevisto.[27]

Após discutir a posição finalista de natureza de Aristóteles, Merleau-Ponty apresenta uma concepção mais recente do que a aristotélica, mas cuja origem, segundo o autor francês, é muito antiga, atribuída a Lucrécio, e que concebe a natureza "como ideia de um ser inteiramente exterior, feito de partes exteriores, exterior ao homem e a si mesmo, como um puro objeto."[28] Este é o sentido se apresenta como uma importante referência longo da nossa pesquisa, sobretudo porque, ao conceber a natureza como ser externo feito de partes, como puro objeto, e ao se afastar da concepção finalista da natureza dada por Aristóteles, como também do sentido divinizado atribuído pelo primeiro Descartes, Lucrécio acaba por antecipar os argumentos fundamentais para a proposição da física como uma ciência, algo que ocorrerá a partir do século XVII, com o advento do mecanicismo, gestando o que aqui será referido como a *física clássica*, objeto de crítica de Heisenberg, e motivo pelo qual ele procurará ancorar suas posições filosóficas nos gregos.

Este sentido de natureza dado por Lucrécio, quando assumiu para a natureza o estatuto de um objeto externo composto de partes que pode ser tomado como conjunto, como uma totalidade *ontológica*, isto nos permitiu também calibrar a apreciação do modo como compreendemos os pré-socráticos, quer seja, como os primeiros filósofos que tematizaram a natureza através de uma *ontologia*, ou seja, pela criação de uma proposta racional de explicação de tudo que existe, portanto de todos os seres.[29]

Neste sentido os pré-socráticos se situaram *ontologicamente* e de modo totalizante diante da tarefa de compreender racionalmente a natureza numa perspectiva amplíssima, e não

---

[27] A título de ilustração consideremos a concepção finalista de Aristóteles. Merleau-Ponty inicia sua discussão dos vários modos da tradição conceber a natureza no sentido dado por Aristóteles. Segundo o autor francês "Aristóteles insiste na ideia de uma orientação para um tipo, uma ordem, um destino", o que confere uma conotação finalista ao conceito de natureza. Para Merleau-Ponty, "quando Aristóteles diz que a natureza dos corpos leves é subir, uma ideia de destino qualitativo está vinculada á natureza." Neste sentido, completa Merleau-Ponty, "O movimento no espaço (ascensão) é secundário. O que conta é o parentesco entre o corpo leve e o alto, enquanto região qualitativamente definida. A natureza total é dividida assim em regiões qualitativamente definidas, lugares de certos fenômenos naturais (fenômenos sublunares); ela é realização, mais ou menos bem sucedida, deste destino qualitativo dos corpos." Cf. MERLEAU-PONTY, Maurice. *A natureza*. São Paulo: Martins Fontes, 2000, pág. 6.

[28] *Ibidem*, pág. 9.

[29] Segundo Reale, "dos filósofos da natureza (da physis) oferecemos uma intepretação em chave *ontológica*, longamente amadurecida, sobretudo mediante o trabalho que realizamos, atualizando de maneira sistemática o volume III da Primeira parte de *A Filosofia dos Gregos* de E. Zeller (...) e preparando a edição dos fragmentos de Melisso com comentário e ampla monografia introdutória (...)". Na sequência, completa Reale: "A 'ciência" dos filósofos jônicos e itálicos é, de fato, uma tentativa (a primeira) de explicar todos os seres, e a sua cosmologia é uma tentativa de explicar, em função de um ou mais princípios, *a totalidade das coisas que são*." Cf. REALE, Giovanni Reale. *História da filosofia antiga*, vol. I. São Paulo: Loyola, 1993, p. XX. (grifos nossos)

de forma particular e setorial, como ocorria, por exemplo, com a antiga astronomia que só se ocupava dos astros celestes, ou como ocorria com as antigas artes como a medicina, que só se ocupavam do corpo humano. A natureza nesta acepção gestada pelos filósofos jônicos assume o caráter de coleção, de uma totalidade constituída de partes exteriores e interiores: animais, montanhas, planetas, etc. assumindo, portanto o estatuto *ontológico*, ou seja, o estatuto de um objeto maior (todo) resultado da disposição de objetos menores (partes) que o constitui como existente.

Quais seriam as vias possíveis que poderíamos apresentar para a compreensão da natureza se a concebermos como uma totalidade, um objeto exterior ao homem, constituída de objetos internos ou partes que a compõe?[30] São múltiplas as possibilidades de compreensão de uma natureza assim concebida, mas nos interessa referir a dois grandes grupos de questões possíveis decorrentes da consideração da natureza tomada como um objeto-totalidade exterior a nós, cujos conteúdos são os objetos-partes que o compõe: no primeiro grupo de questões a natureza pode ser investigada a partir de suas partes; no segundo grupo de questões a natureza pode ser investigada como uma totalidade. Acompanhemos os dois modos possíveis aqui privilegiados, a partir dos quais as investigações sobre a interpretação da natureza podem ser desenvolvidas,[31] e examinemos qual a importância destes esclarecimentos para o curso subsequente de nossa pesquisa.

A concepção da natureza como um objeto exterior feito de partes que por sua vez também são objetos é fundamental por nos permitir levantar algumas questões.[32] Vejamos mais de perto algumas das questões que podemos levantar a partir da assunção do ponto de partida de que a natureza é um objeto exterior ao homem. Se considerarmos a possibilidade acima levantada, ou seja, se considerarmos a natureza sob a perspectiva da totalidade, então vejamos as questões que podem ser formuladas: se a natureza é um todo constituído de partes,

---

[30] Entendamos aqui que este problema da busca pela forma possível de se explicar a natureza é comum a toda filosofia natural, e, comum inclusive a Heisenberg. Em última instância Heisenberg está interessado em apontar indicações conceituais que permitam melhor compreender a natureza à luz das modernas teorias quânticas do início do século XX, e para tanto, Heisenberg herdou implicitamente o pressuposto de uma natureza concebida como objeto-totalidade constituído de objetos-partes, herança do tratamento naturalista dos primeiros filósofos gregos.

[31] A pergunta pelos aspectos e características da totalidade, bem como a pergunta pela forma geométrica da natureza como totalidade foi um empreendimento levado a cabo no horizonte grego antigo por Parmênides. Lembremos que o "ser" possuía as seguintes características: ingênito, incorruptível, imutável, imóvel, igual, uno e possuía a forma geométrica de uma esfera (esferiforme).

[32] Lembremos que a natureza é aqui tratada como puro objeto sem a mediação de um destino ou finalidade interna, e que sua designação como objeto implica na sua autossuficiência, ou seja, como algo que se pôs a si mesmo, como algo autônomo e independente de qualquer outra determinação, se justifica porque a partir desta concepção a natureza é considerada autônoma e não se constituiu a partir do divino, como é próprio do procedimento reflexivo inerente às tradições religiosas.

existiria uma interdependência entre as partes constituidoras da natureza ou essas partes seriam independentes entre si? Existiria alguma parte privilegiada que poderia subsistir em todas as outras, perpassando assim por toda a natureza? Essa parte privilegiada da natureza poderia ter engendrado toda a natureza? Essa parte privilegiada poderia explicar a ordenação que a natureza assume?

Essas questões acima referidas nos permitem esclarecer um pouco mais as possibilidades conceituais através dos quais as primeiras tradições filosóficas gregas procuraram elaborar suas explicações do que seria a natureza. Como sabemos, os antigos milesianos foram os responsáveis por inaugurar um procedimento racional capaz de compreender a natureza. Acreditamos que o conjunto das contribuições dos primeiros filósofos gregos pode ser compreendido, de um modo ontologicamente mais consistente se as considerarmos, em parte, como expressões de uma concepção de natureza como objeto, muito embora saibamos que se trata de uma indicação indireta tecida a partir dos indicativos de Lucrécio que só serão apresentadas ulteriormente. Neste sentido, com todas as ressalvas e devidos cuidados, podemos esboçar o seguinte raciocínio: o pressuposto não explicitado da natureza como objeto exterior feito de partes internas, pode ser inferido indiretamente das preocupações naturalistas de Tales, Anaximandro e Anaxímenes na direção de uma investigação que procurasse determinar qual princípio ou *arché* seria a responsável por gerar a natureza enquanto totalidade.[33]

No mesmo sentido, Parmênides é inserido no segundo grupo de questões referentes à preocupação com a natureza enquanto totalidade, graças em parte por ter assumido, implicitamente, o pressuposto da natureza como objeto. Somente é possível assumir a reflexão sobre as características do ser, ou seja, as características da natureza tomada como uma totalidade, caso partirmos do pressuposto (embora implícito) de que a natureza pode ser concebida como um objeto externo, como um objeto uno feito de partes.

Estas questões inerentes ao empreendimento filosófico naturalista grego, próprio dos pré-socráticos, e também objeto de tematização posterior de Platão e de Aristóteles, se apresentarão como importante contraponto e reforço argumentativo para a compreensão das posições de Heisenberg no tocante a sua crítica à física clássica, no sentido de que Heisenberg

[33] No mesmo sentido, Parmênides é inserido no segundo grupo de questões referentes à preocupação com a natureza enquanto totalidade, por ter assumido, implicitamente, o pressuposto da natureza como objeto. Somente é possível assumir a reflexão sobre as características do ser, ou seja, as características da natureza tomada como uma totalidade, caso partirmos do pressuposto (embora implícito) de que a natureza pode ser concebida como um objeto externo, como um objeto uno feito de partes.

privilegia uma interlocução com os filósofos gregos, notadamente Platão e Aristóteles, como modo de afastamento das matrizes filosóficas modernas, mais especificamente pelo modo como a filosofia moderna – e entenda-se com isso principalmente o materialismo dialético – corroborou com o engessamento, aos olhos de Heisenberg, da natureza numa rígida estrutura determinista e mecanicista.

1.2 Considerações em torno das variações da noção de *objetividade*

A noção de objetividade ocupa a centralidade de nossas discussões, e, por conta deste destaque que a desloca para o ápice da nossa atenção conceitual, devemos dedicar esforços para torná-la o mais clara possível, o que poderá facilitar o acompanhamento de nossas argumentações subsequentes.

Em primeiro lugar, devemos esclarecer que o termo objetividade, no sentido estrito de como estamos propondo e empregando ao longo de nossa pesquisa, assume um **estatuto ontológico** e não o estatuto epistemológico corrente, como é comum no campo pertinente às ciências sociais, no sentido presente, por exemplo, em sentenças como "as ciências sociais devem reproduzir a *objetividade* própria das ciências naturais". Nessa sentença a categoria *objetividade* expressa o significado epistêmico de *neutralidade*, assumindo um pressuposto positivista que considera as ciências da natureza regidas por leis invariáveis, e independentes da vontade humana, o que resulta numa posição de *neutralidade* absoluta do cientista, no sentido de um pronto afastamento ante seus valores e ideologias, frente ao objeto pesquisado.

Este pressuposto positivista de uma ciência natural *objetiva* fundamenta a proposta de criação de uma ciência social *objetiva*, cujo sentido é o mesmo atribuído pelo positivismo à suposta *objetividade* inerente às ciências da natureza, ou seja, postula-se, com isto, a criação de uma ciência social *neutra*, livre de juízos de valor, livre de ideologias políticas, do mesmo modo que os positivistas acreditavam ocorrer com a física, a química e a astronomia.[34]

---

[34] Segundo Michael Lövy, "Talvez o primeiro autor que se pode relacionar como o pai do positivismo seja Condorcet – filósofo ligado à *Enciclopédia* –, que talvez foi o primeiro a formular de maneira mais precisa a ideia de que a ciência da sociedade, nas suas várias formas, deve tomar o caráter de uma matemática social, ser objeto de estudo matemático, numérico, preciso, rigoroso. É graças a essa matemática social que poderá existir [para Condorcet] uma ciência social verdadeiramente *objetiva*." Ainda segundo Michael Lövy, "a pressuposição fundamental do positivismo é de que as leis que regulam o funcionamento da vida social, econômica e política, são do mesmo tipo que as leis naturais e, portanto, o que reina na sociedade é uma harmonia semelhante à da natureza, uma espécie de harmonia natural." Em outro trecho, Lövy comenta: "Dessa hipótese [de que as leis sociais são idênticas às leis naturais] decorre uma conclusão epistemológica de que os métodos e os procedimentos [necessários] para se conhecer a sociedade são exatamente os mesmos que são utilizados para se conhecer a natureza", ou seja "o cientista social deve estudar a sociedade com o mesmo espírito *objetivo*, neutro, livre de juízo de valor, de quaisquer ideologias ou visões de mundo, exatamente como faz o físico, o químico, o

O emprego terminológico aqui conferido à categoria *objetividade* ao longo de nossa pesquisa possui, em seu sentido amplo, caráter estritamente *ontológico*, e remete, primeiramente, à condição de objeto, de coisa, ou do "isto" que é a natureza. Vimos a pouco, no item dedicado à noção de natureza, que ela se apresenta externamente ao homem em sua multiplicidade imediatamente dada. A natureza, neste sentido primeiro, é o conjunto de objetos, de *objetividades* que se apresentam como coisas externas ao homem, e que se oferecem espontaneamente aos sentidos humanos, primeiro modo de percepção de sua existência: a árvore, o cavalo, o rio, as montanhas, etc.

A *objetividade* como problema coincide com a emergência da filosofia no horizonte grego-antigo, especificamente com Tales de Mileto, conforme veremos de forma mais detida no capítulo dois desta pesquisa, e esse problema pode ser apresentado partir da pergunta "o que subjaz e constitui a multiplicidade dos objetos naturais?". Esta questão, portanto, pode ser compreendida como a pergunta pela *objetividade* da natureza, no sentido da proposição de uma reflexão que, primeiramente reconhece a natureza a partir dos objetos que a compõem e a estruturam, e, em seguida, indaga pelo *objeto* que a constituiu, e que lhe confere sustentação e unidade.[35] Tales é considerado o primeiro filósofo porque o objeto água, elevado à condição de princípio, de *arché*, é antes de tudo um objeto natural, um objeto que faz parte da natureza, e com isso possui nexos que o inter-relacionam com outros objetos, com outros eventos naturais.

Esta condição multi-relacional que objeto "água" possui em Tales, e que é estabelecida pela própria dinâmica da natureza, presente nos fenômenos naturais – chuva, rios, mares, lagoas, nuvens, umidade dos alimentos, etc. – incorpora os atributos normalmente presentes em divindades – eternidade, indestrutibilidade, etc. – e, com isso, gera-se a noção de *princípio* ou de *arché*, como objeto que primeiro gerou todos os outros objetos, como objeto que dá sustentação aos outros objetos, como objeto que explica as transformações que

---

astrônomo, etc." Para encerrar, Lövy afirma que " [para o positivismo] as ciências sociais devem funcionar exatamente segundo o método [das ciências naturais] segundo esse modelo de *objetividade* científica." Cf. LÖVY, Michael. *Ideologias e ciências sociais*. São Paulo: Editora Cortez, 1993, p.36. (grifos nossos)

[35] Não discutiremos aqui, por exigência de concisão e de pertinência como os objetivos em curso, a importante relação que a filosofia possui, nos seus momentos iniciais de sua estruturação com os milesianos, portanto, também com o próprio Tales, entre o pensamento filosófico e a mitologia grega, traço amplamente reconhecido no engendramento das articulações filosóficas com os milesianos, e com a própria filosofia grega de um modo mais amplo. A tese em geral aceita é a de que a filosofia possui uma relação de transfiguração e inspiração com as temáticas e problematizações mitológicas, constituindo sua especificidade na influência – muitas vezes implícita e não tematizada – com as narrativas mitológicas gregas. Cf. VERNANT, Jean-Pierre, As origens do pensamento grego. Rio de janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1992.

ocorrem entre os demais objetos, e como último objeto remanescente, caso todos os demais objetos desaparecessem.

Poderíamos perguntar algo que normalmente confunde quem se apropria pela primeira vez da filosofia: a água, afinal de contas, é objeto (elemento água) ou divindade? O que significa dizer que a água é um princípio? A miscelânea de características próprias de um objeto (existir, relacionar-se, transmudar-se, etc.) juntamente com características próprias das divindades produzem a noção de princípio, ou de *arché*, mas não nos esqueçamos de que o suporte dos atributos divinos estão no objeto "água": é a água, enquanto objeto natural que assume a eternidade, a indestrutibilidade, etc. Isto nos dá a primeira chave para compreender o problema da objetividade no horizonte grego: o primado do princípio é o objeto.

A água primeiramente é objeto, e somente depois de se reconhecer a amplitude de sua possibilidade em se relacionar como os outros objetos, é que a água se "diviniza", isto é, assume atributos inerentes aos deuses, mas assume esses atributos enquanto objeto, e não como divindade: é um objeto que se comporta *como se fosse* uma divindade. Daí o famoso fragmento de Tales, ponto de emergência da filosofia como novo modo de indagar a natureza: "Tudo são deuses. Tudo é água".

Este ponto é importante para nossas investigações porque este caráter objetivo, ou seja, caráter próprio do objeto que constitui a *arché* água para Tales é extremamente próximo de outra importante noção grega, um pouco mais tardia, atribuída à Aristóteles, quer seja, a noção de *matéria*. Neste sentido, podemos afirmar, nos servindo da categoria *matéria* de Aristóteles, que "a água de Tales possui caráter *material*", ou seja, é "matéria". A noção de matéria possui a mesma referência que a noção de objeto: a materialidade é a condição própria da coisa, do isto ou do ente. É exatamente isto que já se encontra presente nas *Categorias* de Aristóteles, conforme procuraremos discutir ao final deste primeiro capítulo: a substância é a coisa, e a coisa, em última análise é matéria.

A partir desta apropriação antecipada da categoria *matéria* em Aristóteles podemos construir o primeiro argumento que nos interessa mais de perto nestas considerações sobre as variações da noção de objetividade: os milesianos – inclusos além de Tales, Anaximandro e Anaxímenes – foram os primeiros filósofos a considerar a objetividade nos termos materiais,

isto é, os primeiros filósofos a considerar o problema em torno do que subjaz ou constitui a natureza, sob a perspectiva material.[36]

Esta categoria *matéria* de Aristóteles irá nos permitir aferir os três momentos em que o problema da objetividade da natureza emerge na Grécia antiga ancorada numa materialidade: os milesianos, como visto há pouco, Demócrito, e o próprio Aristóteles, se considerarmos apenas sua obra *Categorias*. É neste sentido que diremos no capítulo quinto nossa pesquisa que o problema da objetividade dos fenômenos quânticos em Heisenberg possui, em parte, uma dimensão material, portanto uma *objetividade material.* Com isto estaremos a dizer que os constituintes últimos dos fenômenos quânticos, as chamadas partículas elementares – como, por exemplo, o elétron – possuem, em algumas abordagens *físicas* de Heisenberg, uma base material, ou seja, o estatuto de coisa de objeto, de ente no sentido aristotélico presente nas *Categorias*.

Se olharmos atentamente para os argumentos recém-apresentados, pode parecer a primeira vista que os termos *objetividade* e *objeto* designam palavras com o mesmo significado, dando a ilusão de que são sinônimos. Pode até parecer, de fato, mas isto só ocorre por conta exatamente do impulso objetivo *material* dos milesianos para responder ao problema da objetividade, Recoloquemos novamente os termos para evitar possíveis equívocos: objetividade é "problema", objeto é "resposta" desse problema. Quando afirmamos ou apresentamos a categoria *objetividade*, estamos anunciando de forma abstrata e concisa o problema referente aos constituintes últimos da natureza, no caso dos milesianos, e dos gregos antigos em geral, ou o problema dos constituintes últimos dos fenômenos quânticos, no caso de Heisenberg. Quando dissermos que a objetividade é *material* estamos com isto sinalizando para o fato de que uma determinada formulação filosófica, por exemplo, de Demócrito, apresenta, para o problema da objetividade, uma resposta cujo traço fundamental é a matéria, portanto seu caráter de coisa, de objeto.

Estas considerações ficarão mais claras a partir de agora quando tratarmos o modo pelo qual Platão concebe a objetividade. Em Platão o *problema* da objetividade persiste, mas

---

[36] Na *Metafísica*, Aristóteles se refere aos princípios estabelecidos pelos primeiros filósofos como princípios *materiais*, segundo o modo como estamos apresentando em nossas considerações. Neste sentido Aristóteles nos diz o seguinte: "Os que primeiro filosofaram, em sua maioria, pensaram que os princípios de todas as coisas fossem exclusivamente *materiais*. De fato, eles afirmam que aquilo de que todos os seres são constituídos e aquilo que originariamente derivam e aquilo que por último se dissolvem é elemento e princípio dos seres, na medida em que é uma realidade que permanece idêntica mesmo na mudança de suas afecções. Dessa maneira eles creem que nada se gere e nada se destrua, já que tal realidade sempre se conserva." Cf. ARISTÓTELES, *Metafísica*. São Paulo: Edições Loyola, 2002.p. 17, 983b, 10. (grifo nosso)

sua *resposta* é completamente diferente das matrizes materialistas anteriores, tais como a dos primeiros filósofos milesianos. Com isto queremos dizer que Platão assume o problema primeiramente colocado por Tales, o problema da objetividade, que indaga a pergunta "o que subjaz e constitui a natureza?" De outro modo, poderíamos anunciar a mesma questão indagando "qual o estatuto da objetividade da natureza?" no sentido de "qual característica ou traço determinativo é capaz de revelar o objeto que constitui a natureza?" No caso de Platão, como sabemos, esses objetos são as formas ou *eidos*, e não apresentam nenhum traço de materialidade em sua compleição, pois são objetos sem conteúdo material, apenas formas puras.

Neste momento de nossa exposição não investigaremos o modo como Platão compreende estas formas ou *eidos*, nem como considera os entes matemáticos – números, figuras, etc. – como formas, assunto que nos debruçaremos no segundo capítulo de nossa pesquisa, e que nos interessa especificamente pela proximidade com a disposição filosófica de Heisenberg em considerar as partículas elementares, os últimos constituintes dos fenômenos quânticos, portanto da natureza, como formas matemáticas – nos moldes de inspiração de Platão – como abertamente admitia Heisenberg. Nosso interesse agora se restringe ao esclarecimento da posição *eidética* de Platão para compor uma variação de resposta ao problema da objetividade.

A maneira como Platão compreende o problema da objetividade, ou o problema de determinar o que subjaz e constitui tudo o que existe na natureza, é completamente distinto do modo pelo qual tanto os milesianos – Tales, Anaximandro e Anaxímenes – quanto Demócrito e Aristóteles – o Aristóteles das *Categorias* o enfrentaram. A determinação intrínseca do objeto *eidos* de Platão *destituiu o estatuto material* que possuía até então e assumiu a configuração ideal, tornando-se agora um objeto *ideal*. Isto significa que podemos utilizar a expressão *objetividade ideal* para cunhar a resposta de Platão para o problema da objetividade: em Platão, o problema da objetividade estatui a proposição de que os objetos responsáveis por constituir, em última instância a natureza, apenas são alcançados a partir da negação de uma base material, da negação do caráter de objeto material, posto que os objetos, em último traço determinativo, são formas puras ou *eidos*, portanto, possuem uma dimensão ideal apenas alcançada pela dialética, atividade filosófica por excelência.

Estes apontamentos são necessários, na medida em que serão de extrema relevância para a compreensão das posições de Heisenberg em trono do problema da objetividade dos

fenômenos quânticos. Já apontamos em nossa *Introdução*, e veremos novamente ao apresentarmos o sexto capítulo de nossa pesquisa, o fato de que Heisenberg se aproxima das *formas* de Platão para enfrentar o problema da objetividade dos fenômenos quânticos, mais especificamente quando procura interpretar o significado conceitual das vinte e cinco partículas elementares conhecidas em seu tempo, e indicar que essas partículas elementares são, em última instância, formas matemáticas puras, no sentido de que são soluções de uma equação matemática que traduz a conversão da matéria em energia.[37]

Neste sentido, em alguns momentos de nossas discussões posteriores[38] faremos referência à existência de uma *objetividade ideal* em Heisenberg, e com isso estaremos inclinados a estabelecer os parâmetros *idealistas* de Heisenberg no que concerne ao problema da objetividade, o que significa afirmar que em certos contextos, cujo tratamento é eminentemente filosófico, Heisenberg buscará na referência dos *eidos* de Platão fundamento filosófico para a ancoragem de sua compreensão interpretativa e conceitual dos fenômenos quânticos.

1.3 Considerações em torno das variações da noção de *realidade*

O terceiro conceito a ser examinado em nossa pesquisa é a noção de realidade, indiretamente presente nas reflexões dos primeiros filósofos gregos. Consideraremos esclarecedor, para os objetivos desta pesquisa e das referências recorrentes à filosofia grega, o momento da historiografia filosófica que nos parece estabelecer uma *protoforma* inicial da atitude realista, presente indiretamente, segundo entendemos este problema, em Parmênides e Platão, cada um privilegiando um tratamento distinto a partir do qual poderia se reconhecer um vestígio da atitude realista.

O realismo, ou a atitude realista, será aqui considerado como a disposição filosófica de reconhecer a existência de um mundo exterior independente da subjetividade que o interroga. Como veremos a seguir, é possível admitir a variante metafísica desta posição, o realismo

---

[37] Em uma destas passagens que discutiremos no sexto capítulo, vejamos antecipadamente o modo como Heisenberg assume suas posições idealistas próximas de Platão, apenas para apresentar ilustrativamente a maneira como constrói seus argumentos conceituais: "Tal como os corpos elementares de Platão, as partículas elementares da física moderna são definidas por condições matemáticas de simetria; não são eternas, nem invariáveis, e, portanto, não podem ser chamadas de reais na verdadeira acepção da palavra. São antes representações daquelas estruturas matemáticas a que se chega nas tentativas de continuar subdividindo a matéria; representam o conteúdo das leis fundamentais da natureza." Cf. HEISENBERG, Werner. *Problemas de física moderna*. São Paulo: Editora Perspectiva, 2011, p. 27.

[38] Assim como já o fizemos na *Introdução*, faremos ainda menção à *objetividade ideal* em Heisenberg, ou seja, ao caráter idealista de alguns objetos quânticos mais fundamentais presentes nos fenômenos quânticos, ao longo de nossas discussões no sexto capítulo e na *Conclusão*.

metafísico, cuja matriz remete a Parmênides e a Platão, atitude que acrescenta ao reconhecimento do mundo exterior, a possibilidade do pensamento compreender com plenitude o mundo exterior, portanto admitir o pensamento como *medium* capaz de capturar, de forma plena, este mundo exterior (*ontos* ou ser), e representá-lo através do conceito (*lógico* ou epistêmico).

Segundo esclarecimentos presentes no verbete "realismo", apresentada por Nicola Abbagnano, a expressão realismo "começou a ser utilizada no final do século XV, designando a corrente mais antiga da Escolástica, em oposição à corrente moderna dos nominalistas", sendo Silvestro Mazolino de Prieria provavelmente o primeiro a utilizá-la em seu *Compendium dialectcae*, com o termo realismo indicando "a realidade dos universais, ao contrário do que defendia o nominalismo, entendendo de modo distinto essa mesma realidade."[39] Posteriormente, segundo Abbagnano, o termo foi retomado por Kant na primeira edição da *Crítica da razão pura*, "para indicar, por um lado, a doutrina oposta a que defendia, segundo a qual, o espaço e o tempo são independentes de nossa sensibilidade, e, por outro lado, uma doutrina que admite realidade exterior das coisas".[40]

Se tomarmos o sentido recém-indicado por Kant, segundo o testemunho de Abbagnano, qual teriam sido os primeiros filósofos a assumir, direta ou indiretamente uma postura realista? No nosso entendimento, os filósofos milesianos seriam os primeiros filósofos *realistas* no sentido pleno, isto é, os filósofos milesianos seriam os primeiros filósofos a admitirem, ainda que indiretamente, a existência de um mundo exterior independente daquele que o investiga. Esta indicação de que os primeiros filósofos gregos são também, a um só tempo, aqueles que primeiramente admitiram a existência do mundo exterior, independente daquele que investiga, é indiretamente inferido do testemunho dado por Aristóteles em relação às características da *arché* dos primeiros filósofos, posto que a arché. De fato, para Aristóteles, Tales foi o primeiro que afirmou a existência de um princípio único, causa de todas as coisas que são – entre elas, o próprio homem – e que esse princípio seria a água. Neste sentido, diz Aristóteles na Metafísica que "os primeiros que filosofaram [Tales,

---

[39] Cf. ABBAGNANO, Nicola. Dicionário de filosofia. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

[40] Segundo Abbagnano, Kant teria afirmado que "o idealista transcendental [posição filosófica do próprio Kant] é um realista empírico que atribui à matéria, como fenômeno, uma realidade que não precisa ser deduzida, mas é *imediatamente percebida*." Na sequência, diz Abbagnano: "Com Kant esse termo [realismo] entrou em filosofia designando doutrinas de interesse atual, e não simplesmente histórico", por exemplo, quando Fichte afirmou, que "a doutrina da ciência é realista", no sentido de que "mostra que *é absolutamente impossível explicar a consciência das naturezas finitas* se não se admitir a existência de uma força independente delas, opostas a elas, da qual elas dependem em sua existência empírica." Cf. ABBAGNANO, Nicola. Dicionário de filosofia. São Paulo: Martins Fontes, 1998. (os grifos e termos entre colchetes são nossos).

Anaximandro e Anaxímenes], em sua maioria, pensaram que *os princípios de todas as coisas fossem exclusivamente materiais*. De fato, eles afirmaram que aquilo de que todos os seres são constituídos e *aquilo de que originariamente derivam* e aquilo que por último se dissolvem é o elemento e princípio dos seres, na medida em que é uma realidade que permanece idêntica mesmo na mudança de suas afecções."[41]

Assim, é possível conceber os milesianos não só como os primeiros materialistas, mas também como os primeiros realistas no sentido estrito de termo atribuído por Kant em sua primeira *Crítica*, posto que, se todos os seres *derivam do princípio*, por exemplo, a água, para Tales – princípio que, segundo Aristóteles, possui natureza *material* – e tal princípio constitui tudo que existe, o princípio é uma *primazia* em relação ao restante da natureza e ao homem, portanto, existe independentemente do homem, já que o próprio princípio (*arché*) gerou tudo o que existe, e restaria sozinho, caso tudo o mais desaparecesse.

Ao realismo dos milesianos – entenda-se Tales, Anaximandro e Anaxímenes – se seguiu uma vertente grega que assumiria um protagonismo relevante no medievo e no início da modernidade, quer seja, o que denominamos de realismo *metafísico*, cuja vertente contempla inicialmente as posições gregas de Parmênides e Platão. Parmênides seria o primeiro filósofo a indiretamente assumir uma posição realista *metafísica*, enquanto Platão teria sido a primeiro a assumir diretamente o realismo *metafísico*, segundo razões que passaremos a explicitar.

Sabemos que o primeiro filósofo a postular a identidade entre ser e pensamento foi Parmênides. A via de reflexão de Parmênides identifica ser e pensamento a partir do princípio "o ser é". Neste caso, para Parmênides existe uma identidade entre o que penso e articulo discursivamente, ou seja, entre lógico (racional) e o *ser*. No fragmento 3 do seu poema *Sobre a natureza*, Parmênides afirma que " [...] De fato o mesmo é o pensar e o ser."[42] Assim, seguindo o raciocínio em curso, Parmênides seria um realista *metafísico*, porque considera, além da existência de um mundo exterior independente de quem o investiga, considera possível a apreensão do mundo exterior pelo pensamento. Porém, se tomarmos o aspecto mais determinante do realismo, quer seja, o reconhecimento da existência de um mundo exterior independente do sujeito cognoscente, mundo exterior que pode, dependendo da filiação filosófica, ser ou não apreendido plenamente pelo sujeito através do discurso racional

[41] Cf. ARISTÓTELES. Metafísica. São Paulo: Loyola, 2002, A 3, 983 b, v. II, p. 15. (grifo nosso).
[42] Cf. DIELS-KRANZ, 28 B 8, 34ss., *apud* REALE, Giovanni, *História da filosofia antiga*. São Paulo: Editora Loyola, 1993, v. I, p.108.

filosófico, portanto pelo aparato lógico-conceitual, como podemos aproximar indiretamente, por este viés específico e isolado, Parmênides da atitude realista?[43] Por quais razões defendemos que é possível considerar Parmênides um realista?

Quando Parmênides desdobra a premissa "o ser é", arremata, como ponto de chegada, um conjunto de sete inferências ou conclusões que estabelecem as características do ser, ou, dito de outro modo, estabelece a plataforma lógico-ontológica do ser: o ser é ingênito, incorruptível, imutável, imóvel, igual, esferiforme uno, e uno.[44] Se tomarmos, para efeito de análise, apenas uma dessas sete características do ser, veremos aflorar indiretamente o traço realista de Parmênides, que, segundo pensamos, emerge, mesmo indiretamente, pela primeira vez formulado. O raciocínio poderia ser assim formulado: se *o ser é*, não poderia *não-ser*, e se o ser não poderia *não-ser*, a conclusão é que sempre foi, portanto sempre existiu, o que também significa que o *ser é ingênito*. A conclusão "o ser sempre existiu" tanto se sobrepõe ao conjunto das narrativas mito-poéticas, como também se contrapõe a todas as percepções empírico-sensíveis cotidianas – a exemplo, do que já acontecera com a arché dos milesianos – portanto, impõem-se aqui o traço realista com o sentido kantiano acima referido, ou seja, de uma doutrina que, por um lado, indica que *algo ocorre independente de nossa sensibilidade*, e, por outro lado *admite a realidade das coisas que são*.

É neste sentido de *admissão de coisas que existem independentes de nossa percepção* que entendemos ser também possível atribuir, em um sentido amplo e impreciso, aos milesianos uma postura realista – lembremo-nos que, para Tales, tudo deriva da água, e tudo se transformará em água, caso deixasse de existir, traço comum também na doutrina de Anaximandro e Anaxímenes –, portanto, reputamos válido a aferição do caráter realista também presente nos milesianos, porém, consideramos Parmênides o antecessor mais

[43] A proposta interpretativa que considera Parmênides como percussor de uma atitude realista só é possível se levarmos em consideração a pressuposição da objetividade da natureza, ou seja, se assumirmos a tese que Parmênides pressupõe a existência de um mundo objetivo independente do sujeito que o investiga, mundo regulado por leis próprias que serão descritas conceitualmente pelo discurso reflexivo. Nestes termos "ser é pensamento" porque o pensamento captura a estrutura independente do ser, ou, no caso de Parmênides, as características do ser ou da totalidade. Se abandonarmos a pressuposição da objetividade da natureza em Parmênides podemos recair no caso oposto ao realismo, naquilo que seria sua posição antitética, ou seja, considerar Parmênides um precursor do idealismo. No caso de Parmênides, se consideramos isoladamente cada um dos termos de sua premissa "ser = pensamento", é possível a caracterização do seu pensamento pela via do realismo ou do idealismo. Se considerarmos o ser como a primazia da tese de Parmênides podemos qualificar seu pensamento (por este viés) como realista, posto que neste caso o pensamento é considerado como o reflexo do ser, no sentido de que o pensamento reproduz (pelo discurso) algo independente de si; se o acento de Parmênides for considerado o pensamento, neste caso o ser é uma extensão do pensamento, e assim estaríamos diante da atitude idealista. Acreditamos que o pensamento de Parmênides acentua o polo "ser" da premissa "ser = pensamento", o que o aproximaria a uma das teses realistas, enquanto que Platão acentua o polo "pensamento", o que o aproximaria do idealismo.

[44]

legítimo desta compreensão da primazia ou antecedência do ser, simplesmente porque tal posição emerge, ainda que indiretamente, do pleno uso de suas premissas.

Por outro lado, assim como entendemos esta problemática em torno do realismo, Platão foi o herdeiro direto do legado de Parmênides, primeiramente no que diz respeito à manutenção do termo no sentido kantiano de *admissão de coisas que existem independentes de nossa percepção*, fato que é constatado pela manutenção de sua *teoria das formas* ao longo de praticamente toda sua trajetória filosófica.[45] Como sabemos, as formas procuram ultrapassar o âmbito das percepções sensíveis – conforme, por exemplo, a *alegoria da caverna*, no livro VII de *A República* – e reconhecer a primazia das formas puras sobre os dados capturados pelos sentidos.

Há em Platão as duas componentes do que entendemos ser a forma padrão do realismo grego: a possibilidade de reconhecimento de o discurso alcançar o mundo externo – e isto em Platão é explicitamente apresentado e desenvolvido, por exemplo, no *Sofista*. Neste diálogo, Platão diálogo objetiva exatamente se distanciar da premissa "o ser é" de Parmênides, porém mantendo a identidade "lógico=ontológico". A questão central de *O sofista*, segundo entendemos, repousa nos seguintes termos: o mundo exterior só pode ser alcançado discursivamente se assumirmos as suas diferenças internas presentes nos distintos e diversos entes que o constituem, e se assumirmos as relações que se estabelecem entre esses diversos entes, e isto, só é possível através do parricídio de Parmênides, ou seja, negando a premissa "o ser é" de Parmênides, e admitindo o "*não-ser*" como o outro.

A diferença da relação entre Parmênides e Platão é que enquanto Platão afirma o mundo exterior e reconhece a possibilidade de alcançá-lo plenamente pelo pensamento, o fundamental consiste, para Parmênides, em deduzir as características do ser (ou seja, descrever as características do mundo exterior, ou descrever as características da totalidade de tudo o que existe) a partir da premissa "o ser é". Platão, por sua vez, acompanha o mestre até a aceitação da identidade entre ser e pensamento, mas a partir daí supõe tarefa primeira da filosofia a compreensão dos nexos internos ao mundo através do discurso filosófico, privilegiando as *formas eidéticas* nessa descrição racional.[46]

---

[45] A este respeito convidamos o leitor a consultar a parte inicial do item 2.3, página 72 e seguintes para acompanhar as análises de Paul Ricoeur em torno de aspectos cruciais da teoria das formas de Platão.

[46] Para efeito de tornar mais claro o acompanhamento do raciocínio em curso, quando nos referimos a premissa "O Ser é" de Parmênides, entendemos que o autor grego intenciona duas articulações simultâneas, sobre as quais poderemos afirmar dois aspectos distintos, porém interligados, de seu pensamento. Em primeiro lugar ao afirmar

Se Platão admite as formas como a primazia do que existe na natureza, e estas só podem ser alcançadas pelo ápice do movimento ascendente dialético através do pensamento, do *logos*, é possível concluir que em Platão também há uma admissão indireta do realismo. A diferença entre Parmênides e Platão repousa, segundo nossa percepção, na adjetivação do realismo: enquanto para Parmênides trata-se de um *realismo material*, porque o "ser é", portanto o ser existe, e existe *como coisa* e não como puro nada, portanto existe como *objeto material*, sensível, para Platão trata-se de um *realismo ideal*, porque os *eidós* ou *formas* não possuem natureza material, sensível, mas tão somente formal, como objeto formal.[47]

---

que "O ser é" Parmênides está assumindo a existência da natureza como único recurso analítico legítimo para pensar a natureza. Neste primeiro sentido, ao afirmar "O Ser é", Parmênides estria tentando afirmar que se só podemos assegurar que a natureza existe (no presente) este reconhecimento nos desautoriza supor que ela ou não existiu (no passado) ou não existirá mais (a partir de algum momento futuro). Daí decorre duas das sete características do Ser de Parmênides, apontadas no seu poema *Sobre a natureza*: o *Ser é ingênito*, isto é, se a natureza existe não podemos afirmar com certeza absoluta que um dia ela não existiu, portanto podemos inferir, *via premissa* "O Ser é", que a natureza sempre existiu; o *Ser é eterno*, isto é, se a natureza existe não podemos afirmar com certeza absoluta que ela deixará de existir, portanto, podemos inferir *via premissa* "O Ser é", que a natureza sempre existirá. Em segundo lugar ao afirmar que "O Ser é" Parmênides está sinalizando o tipo de problematização está levantando: não se trata de buscar a *arché* de que tudo é feito, a exemplo do que fizera Tales, mas de buscar descrever as características da totalidade, termo em grego expresso pelo vocábulo "ser", ou *tó on*, no sentido de "aquilo que possui existência", ou seja, a totalidade de tudo que existe. Nosso raciocínio se desenvolve no sentido de que Platão aceita o reconhecimento de que tudo existe, como posto por Parmênides, mas não acata o sentido de ser como totalidade, criando uma fixidez com a premissa "O Ser é", a exemplo do que fizeram os próprios discípulos de Parmênides ao procurar argumentos para defender a doutrina do mestre. Os discípulos enfatizaram uma falsa negação do movimento que não está presente no próprio poema de Parmênides *Sobre a natureza*. É neste sentido que entendemos o esforço de Platão no *Sofista* como a busca de um argumento capaz de ultrapassar a suposta fixidez do ser Parmênides – esforço que Platão herdara dos discípulos de Parmênides, como o fez, por exemplo, Zenão de Eléia, ao reduzir ao absurdo a ideia de movimento com a *aporia* de Aquiles e a tartaruga – e Platão o fez concebendo o não ser como o "outro", fato que extrai da própria estrutura linguística. O argumento central do Sofista sobre esta temática sinaliza para o fato de que, quando falamos "cadeira", "mesa", etc., a partir do uso da linguagem comum, estamos, por nomeação, reconhecendo o "não-ser" como o "outro" que existe, quebrando a ideia de impedimento do movimento que estaria, segundo o raciocínio de Platão, impedindo que o pensamento se debruçasse sobre a diversidade do devir. Este é o ponto central do que ficou conhecido como "parricídio de Parmênides", cometido por Platão no *Sofista*.

[47] Aqui caberia uma indagação legítima de um hipotético interlocutor cuidadoso e atento: Qual a diferença entre *ser um realista* e *aceitar a realidade objetiva*? Como expusemos, entendemos, segundo a linha de raciocínio kantiana acima referida, que o realista admite a existência de uma realidade exterior a si que não precisa ser deduzida, mas é imediatamente percebida. O realismo, de forma geral, admite a existência de uma realidade objetiva, mas diverge, em suas variantes, na compreensão do modo de como é possível atingir aquela realidade. No modo antigo e por boa parte da modernidade, o que se reconhece é o realismo metafísico, cuja matriz é grega. Compreendemos o realismo grego-clássico, que é metafísico, portanto pode ser designado de *realismo-metafísico*, pela admissão da possibilidade de capturar pela linguagem – portanto pela diretriz lógico-linguística – a estrutura ontológica dessa realidade externa. É assim que ocorre com Parmênides (características do Ser), com Platão (*eidos*), Leibinitz (centros de forças). Este formato do realismo foi criticado no final da modernidade, na segunda metade do século XIX por Marx, ao compreender *a ciência como constructo histórico inacabado*, fruto da relação do homem com a natureza pela via do trabalho, portanto em incessante reconfiguração, e por Nietzsche a partir do *perspectivismo*, que quebra a espinha dorsal da metafísica ao criticar com veemência a noção de verdade oriunda das matrizes socrático-platônica e judaico-cristã. Em ambas estas formulações tardias do final da modernidade, o que se aniquila é a noção de verdade enquanto *adequatio*, cuja matriz histórica é a Grécia antiga. Portanto é correto designar Marx de *realista*, no sentido de que admite a primazia do Ser, mas não como *realista metafísico*, posto que Marx, no nosso entendimento, não acata a tese *realista-metafísica* de captura total da estrutura ontológica. Já não é correto tachar Nietzsche de realista, porque para Nietzsche o conhecimento humano é uma hipótese, uma conjectura – extremamente frágil e associada aos interesses, disposições e

Outra variação conceitual do realismo é o desdobramento de suas posições ao longo da modernidade, mais especificamente o período que vai desde o século XVII até o início do século XX, onde o realismo *encontra-se associado* a uma visão mecanicista e determinista da natureza e das ciências naturais.[48] É preciso anotar que não podemos confundir realismo com mecanicismo, e nem com o determinismo. Como vimos, a premissa constitutiva do realismo é a aceitação da existência de um mundo exterior independente do sujeito que o investiga. Esta atitude realista pode assumir um viés metafísico quando se considera possível apreender esse mundo exterior – ou a estrutura ontológica que o perpassa – de modo exaustivo, definitivo, momento que coincide, nas tradições metafísicas, com a *verdade* (*alethéia*), como é o caso de Parmênides e Platão. Neste caso, segundo compreendemos estas articulações, é possível a adoção de uma posição realista não metafísica, nem mecanicista e nem determinista.[49]

A *variação moderna do realismo antigo* assume uma importância relevante para nossas discussões em torno do problema central da objetividade dos fenômenos quânticos em Heisenberg, sobretudo porque contra esta herança moderna do realismo, e de seus traços moderno-tardios de impostação mecanicista e determinista, se oporá Heisenberg, como será

---

inclinações psico-fisiológicas, sendo, por isso, correto chama-lo de *perspectivista*. Já o segundo polo da questão que mobiliza esta digressão, ou seja, indagar a distinção entre ser realista e *aceitar a realidade objetiva*, entendemos que aceitar a realidade objetiva é distinto da posição do realista. Aquele que aceita a realidade objetiva – e pode fazê-lo diretamente ou indiretamente – não entende necessariamente a natureza como primado, portanto não admite a primazia do ser sobre o pensamento, e pode, como normalmente o faz, lançar o aspecto ontológico para o segundo plano, algo impensável para um realista. Neste sentido, o realista Marx, com sua compreensão da ciência como resultado determinado pela forma histórico-social em curso, jamais admitiria que o conhecimento humano da ciência se antepõe de forma determinativa ao estatuto de primazia do ser, ou, dito de outra forma, jamais tomaria os limites humanos oriundos do conhecimento das técnicas de apreensão da natureza como limite para interrogação da natureza. Esta última posição, especialmente no que se refere a sobre valoração dos limites das técnicas de apreensão da natureza em relação a busca pelo estatuto qualitativo objetivo material da natureza, é, exatamente, a posição de Heisenberg. Portanto, Heisenberg é *anti-realista*, mas *admite a existência de um fundo objetivo*, ou seja, enquanto *físico*, Heisenberg representa o caso paradigmático de uma posição *não-realista*, mas que *aceita a existência de uma realidade objetiva*, no seu caso, ideal – objetividade ideal – conforme veremos no capítulo quatro desta pesquisa. O problema em Heisenberg, segundo entendemos estas questões, é que, enquanto atua como *físico* é *anti-realista* e admite a existência de um fundo objetivo, nas enquanto *filósofo* é *realista metafísico*. Como explicar essa aparente contradição? Eis o núcleo de nossa tese.

[48] Cf. POLITO, Antony. *A construção de estrutura conceitual da física clássica*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016, *passim.*

[49] É o caso da posição de Marx e de Lukács. Em Marx e em Lukács existe o primado do ser, ou seja, o primado do reconhecimento da natureza exterior independentemente do homem, tese que assume no interior do pensamento marxiano a denominação de materialismo. Esta posição foi inaugurada, na modernidade tardia do século XIX, primeiramente por Feurbach, mas criticada, logo em seguida por Marx. Apesar de acatar a autonomia da natureza como um todo, Marx defendia que nas cercanias da ação humana – com isto podemos entender a ação do homem no espaço específico de sua ação no universo, portanto de sua ação sobre o planeta a que pertencemos, a natureza já não existe de forma autônoma, nas transformada pela ação do homem. É deste modo que a natureza em volta do homem – nas cercanias de nosso planeta – não pode ser considerada do modo como o antigo realismo grego a concebia, nem como o materialismo de Feuerbach pleiteava. A natureza é resultado também da ação do homem, mas isto não destitui a compreensão realista de Marx, pois fica resguardado o limite da ação do homem. Não é possivel – pelo menos ainda de modo significativo, como também no tempo de Marx – modificar a natureza para além de outros espaços além de nossa fronteira terrestre

possível verificar ao longo de nossa pesquisa, notadamente quando a variante mecanicista e determinista do realismo servirá como pano de fundo histórico-científico das objeções de Heisenberg, no início do capítulo seis.[50]

[50] A título de esclarecimento procuraremos situar de um modo amplo e superficial algumas indicações que possam subsidiar uma compreensão do significado dos termos mecanicismo e determinismo. Segundo o Dicionário Houaiss de Língua Portuguesa, o vocábulo mecanicismo ganha a seguinte referência: "doutrina filosófica, também aplicada como princípio heurístico na pesquisa científica, que concebe a natureza como uma máquina, obedecendo a relações de causalidade necessárias, automáticas e previsíveis, constituídas pelo movimento e interação de corpos materiais no espaço". O verbete "mecanicismo" ainda acrescenta em seguida: a física do século XX, especialmente a teoria quântica, tornou o mecanicismo ultrapassado em termos científicos. Mais adiante, o verbete ganha o seguinte comentário: "nas origens da ciência moderna com Galileu (1564-1642), Descartes (1596-1650), e Newton (1642-1724), doutrina que considera todos os fenômenos naturais passíveis de quantificação e geometrização, em decorrência de sua organização em leis universais de causalidade mecânica," Cf. HOUAISS, Antonio. *Dicionário Houaiss de língua portuguesa*. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001, p.1875. Já para o verbete "determinismo" o dicionário Houaiss resguarda a seguinte chamada: "princípio segundo o qual todos os fenômenos da natureza estão ligados entre si por rígidas relações de causalidade e leis universais que excluem o acaso e a indeterminação, de tal forma que uma inteligência capaz de conhecer o estado presente do universo necessariamente estaria apta também a prever o futuro e reconstituir o passado." Cf. HOUAISS, Antonio. *Dicionário Houaiss de língua portuguesa*. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001, p.1023. Já o Dicionário de Filosofia Nicola Abbagnano traz a seguinte indicação para o verbete "mecanicismo": "Entende-se por explicação mecanicista a que utiliza exclusivamente o movimento dos corpos, entendido no sentido restrito de movimento espacial." Na sequência continua Abbagnano: "Neste sentido é mecanicista a teoria da natureza que não admita outra explicação possível para os fatos naturais, seja qual for o domínio a que eles pertençam, além daquela que os interpreta como movimento de corpos no espaço." Na sequência da exposição sobre o verbete "mecanicismo, Abbagnano situa o determinismo como uma *característica* do mecanicismo; "como concepção filosófica de mundo o mecanicismo apresentou-se desde a antiguidade como *atomismo*. A concepção do mundo como sistema de corpos em movimento, como um grande máquina, é típica do atomismo antigo. O materialismo do se. XVIII e XIX retomou essa concepção que tem as seguintes características: a) negação de qualquer ordem finalista (...); b) determinismo rigoroso, representado pelo conceito de causalidade necessária infiltrada em todos os fenômenos da natureza.; hoje é considerada não-mecanicista qualquer concepção do mundo que negue o determinismo rigoroso." Cf. ABBAGNANO, Nicola. *Dicionário de filosofia*. São Paulo: Martins Fontes, 1998, p. 653. Para o termo determinismo, Abbagnano diz o seguinte: Esse termo relativamente recente (Kant é o primeiro a emprega-lo em *Religion, I*,) compreende dois significados: 1°) ação condicionante ou necessitante de uma causa ou de um grupo de causas; 2º) a doutrina que reconhece a *universalidade* do princípio causal e portanto admite também a determinação necessárias das ações humanas a partir de seus motivos." Cf. ABBAGNANO, Nicola. *Dicionário de filosofia*. São Paulo: Martins Fontes, 1998, p. 245. Rodrigo Duarte descreve assim aspectos transitórios que levaram o abandono da ideia de causa aristotélico, assimilada pelo cristianismo, e que avança rumo o advento da revolução mecanicista do século XVII: Esse ponto de vista [a noção de finalidade em Aristóteles, cujas substâncias independem do homem, e se molda perfeitamente a ideia bíblica de que toda natureza existe para servir a criatura privilegiada de Deus] chega praticamente inalterado ao Renascimento, época em que sofrerá golpes desferidos principalmente contra a sua componente aristotélica [ideia de causa final], ficando intacto aquele animismo típico de toda concepção greco-medieval de natureza. A esse respeito, Lenoble observa que os sábios renascentistas abandonaram o sistema que lhes permitiria compreender a natureza – o aristotelismo –, sem que tivessem ainda o instrumental necessário para física matemática do século subsequente. Por isso, amaram a natureza – a arte renascentista demonstra isso muito bem –, mas não a conheceram propriamente." Mais adiante Duarte conclui o seguinte sobre a própria instauração do mecanicismo no século XVII: "Já no século XVII, quando vai ocorrer a revolução mecanicista propriamente dita, a concepção da natureza passa por uma mutação radical, correlativa às grandes mudanças que ocorreram na própria concepção do conhecimento." Na sequência conclui Duarte: "a causalidade final, cuja importância no sistema de Aristóteles foi ressaltada acima, foi simplesmente banida da ciência, juntamente com as causas material e formal, tendo restado apenas, enquanto causa, algo semelhante à causalidade eficiente. Essa questão poderia ser traduzida na questão do *como* se dá algo, prescindindo-se do conhecimento de sua forma, conteúdo e finalidade para qual existe." Cf. DUARTE, Rodrigo de Paiva. *Marx e a natureza em o capital*. São Paulo: Loyola, 1986, p. 27.

Capítulo 2: **Os pressupostos histórico-filosóficos para a construção da noção de objetividade: a emergência milesiana e as matrizes materialista e idealista gregas**

O problema em se indagar qual objetividade constitui a natureza, qual objeto é capaz de imputar inteligibilidade ao mundo natural e explicar a multiplicidade e as incessantes transformações facilmente reconhecidas ao se debruçar sobre a natureza, mesmo a partir de seu convívio cotidiano, foi objeto curiosidade e de livre especulação desde tempos remotos. É possível já reconhecer tal impulso presente no antigo impulso ancestral de compreensão da natureza naquilo que Lévi-Strauss indicou como "pensamento selvagem", em referência à forma mais antiga de representar a natureza a partir da inserção de divindades associadas aos fenômenos naturais.

Os traços mais marcantes daquilo que Lévi-Strauss chama de "pensamento selvagem"[51] podem ser concisamente apontados nas seguintes características: 1) presença de uma lógica binária (quente-frio, dia-noite, vida-morte, etc.); 2) paradigma da passagem do "caos ao cosmos", ou seja, "a oposição entre um estado de coisas simétrico à ordem vigente"; 3) afirmação de um passado marcado pelo absurdo ("o céu e a terra estavam confundidos"); 4) intervenção de uma divindade através da qual as coisas passaram a ser o que são agora; 5) essa divindade é quase sempre imaginada à semelhança do homem, fazendo do antropomorfismo um outro traço importante do pensamento mítico.[52]

É possível reconhecer a permanência de alguns destes traços constitutivos do pensamento mágico presente em formas ulteriores de explicação religiosa, e mesmo no aparato mitológico grego. Nosso olhar, no entanto será endereçado ao momento histórico em que a natureza será considerada a partir de si mesma, como uma exterioridade que circunscreve e delimita a vida humana, independentemente da existência de divindades controlando seus processos internos e suas transformações.

Este momento, como sabemos, irá emergir no horizonte histórico localizado na viragem do século VII a.C., para o século VI a.C., momento onde a filosofia emerge como uma busca pela compreensão da natureza a partir de uma referência aos próprios fenômenos naturais, e momento onde se procura um afastamento ante as antigas formas míticas de

---

[51] Rodrigo Duarte esclarece o significado de "pensamento selvagem", citando o próprio Lévi-Strauss: "o pensamento selvagem não é o pensamento dos selvagens nem o de uma humanidade primitiva, ou arcaica, mas o pensamento no estado selvagem, diferente do pensamento cultivado ou domesticado a fim de obter um rendimento". DUARTE, Rodrigo. *Marx e a natureza em o capital*. São Paulo: Loyola, 1995, p. 14.

[52] DUARTE, Rodrigo. *Marx e a natureza em o capital*. São Paulo: Loyola, 1995, p. 14.

compreensão da natureza, mesmo consideramos que tal afastamento não se efetive de forma absoluta. Iremos, a seguir, privilegiar os três momentos histórico-filosóficos gregos decisivos para os objetivos de nossa pesquisa em torno do problema da objetividade, momentos significativos para compreender o modo como Heisenberg irá encaminhar sua própria solução.

Nosso tratamento, como de costume, não procurará exaurir as contribuições para o problema da objetividade nas matrizes sobre as quais discorreremos, nem consideramos que o conteúdo discursivo relativo a cada tradição poderá contemplar a ampla gama de questões que cada uma envolve, mas tão somente procurar assentar um horizonte mínimo de significação e clarificação para o que pensamos estar em jogo para o tratamento de nossa temática central.

2.1 A matriz materialista da noção de objetividade a partir da ideia de *arché* nos milesianos

Um dos aspectos nucleares que movimenta este primeiro momento de nossas reflexões consiste em partir da seguinte questão: como parte da tradição filosófica antiga articula sua busca pela compreensão da natureza? Para delimitar a escolha dos autores devemos refinar um pouco mais nossa questão a partir da seguinte hipótese: a filosofia antiga, no nosso entendimento, gerou a abertura de algumas possíveis vias na busca pela compreensão da natureza, e cada uma delas se diferencia das demais pela forma com que cada filósofo concebeu a objetividade da natureza.[53]

[53] Na página 48 supracitada desta pesquisa, tratamos de algumas indicações que procuram relacionar o surgimento da filosofia com Tales com o surgimento do problema da objetividade. Neste sentido, Tales indiretamente inaugurou a filosofia, segundo nosso viés interpretativo, a partir da pergunta pela objetividade da natureza. Em função da importância deste ponto para a sequência dos argumentos que desenvolveremos a seguir, iremos agora retomar o que antes dissemos na página indicada: "O emprego terminológico aqui conferido à categoria objetividade ao longo de nossa pesquisa possui, em seu sentido amplo, caráter estritamente ontológico, e remete, primeiramente, à condição de objeto, de coisa, ou do "isto" que é a natureza. Vimos a pouco, no item dedicado à noção de natureza, que ela se apresenta externamente ao homem em sua multiplicidade imediatamente dada. A natureza, neste sentido primeiro, é o conjunto de objetos, de objetividades que se apresentam como coisas externas ao homem, e que se oferecem espontaneamente aos sentidos humanos, primeiro modo de percepção de sua existência: a árvore, o cavalo, o rio, as montanhas, etc." Na sequência da passagem recém-citada esboçamos as seguintes argumentações conclusivas: "A objetividade como problema coincide com a emergência da filosofia no horizonte grego-antigo, especificamente com Tales de Mileto, conforme veremos de forma mais detida no capítulo dois desta pesquisa, e esse problema pode ser apresentado partir da pergunta 'o que subjaz e constitui a multiplicidade dos objetos naturais?'. Esta questão, portanto, pode ser compreendida como a pergunta pela objetividade da natureza, no sentido da proposição de uma reflexão que, primeiramente reconhece a natureza a partir dos objetos que a compõem e a estruturam, e, em seguida, indaga pelo objeto que a constituiu, e que lhe confere sustentação e unidade. Tales é considerado o primeiro filósofo porque o objeto água, elevado à condição de princípio, de arché, é antes de tudo um objeto natural, um objeto que faz parte da natureza, e com isso possui nexos que o inter-relacionam com outros objetos, com outros eventos naturais." (p. 48, *supra*).

O modo como entendemos o vínculo entre a *forma de compreensão da natureza em cada matriz* filosófica antiga naturalista, e a forma como *cada representante* de uma dada matriz entende por si mesmo, independente dos demais, a objetividade da natureza, aponta para várias possibilidades indiretamente estabelecidas pela filosofia grega antiga na sua busca pela compreensão da natureza. Vejamos alguns casos destacáveis que nos interessam mais de perto.

A concepção de natureza dos primeiros filósofos antigos corresponde no nosso entendimento, a algumas das apreciações formuladas de Lucrécio anteriormente referidas, quando afirma que a concepção filosófica antiga toma a natureza como objeto exterior feito de partes. Se tomarmos esta indicação de Lucrécio é possível compreender algumas das principais reflexões dos autores gregos antigos, como o momento do estabelecimento de duas possibilidades basilares para compreensão da natureza. Examinemos de que modo se articulam ambas as possibilidades de se pensar a natureza: a partir de uma totalidade ou a partir de uma parte dessa totalidade.

A primeira possibilidade de se pensar a natureza é considerando-a a partir de uma parte que a constitui. Se tomarmos a natureza como um objeto, um objeto maior (uma totalidade) feito de partes menores, e se considerarmos as partes menores também como objetos, nosso raciocínio pode estabelecer uma relação entre as partes e o todo, baseado em simples observações cotidianas que estabeleçam a interdependência entre fenômenos naturais distintos, e supor que o todo e as suas pares estão interligados. Foi o que fez, a título meramente ilustrativo, Tales ao considerar a dependência que a vida possui com relação à água. A observação direta de certos fenômenos naturais pode também sugerir a importância maior que algumas das partes possuem em detrimento de outras partes (a água para Tales possuir maior relevância do que as demais partes da natureza), o que corrobora a suspeita de que a compreensão da própria natureza enquanto tal depende da compreensão do modo pelo qual alguns dos objetos que compõe a natureza poderiam assumir o posto de objeto constituidor e ordenador do todo. Esses objetos assumem o estatuto de um princípio gerador do todo, sendo ele mesmo o único ente a não depender de qualquer outro para gerar-se, e por conta de sua autonomia absoluta passa de um objeto ou ente comum (como uma árvore, ou uma montanha) para a condição de princípio (*arché*).[54]

[54]REALE, Giovanni, *História da filosofia antiga*. São Paulo: Editora Loyola, 1993, vol. I, p. 41 e ss.

Neste sentido poderíamos formular a seguinte questão que consideramos assumir a condição de ponto de partida da pesquisa filosófica naturalista, ou, de forma ainda mais ampla, de parte da pesquisa que visa compreender a natureza, quer filosófica ou científica, alcançando inclusive algumas discussões filosóficas naturalistas contemporâneas: qual parte da natureza assume a condição fundamental de gerar, constituir, organizar a natureza? Esta é exatamente a pergunta pela *arché*, e foi precisamente sua formulação que instituiu a filosofia como alternativa racional de resposta.[55]

A assunção implícita do pressuposto de que a natureza é um objeto (um conjunto de objetos) feito de partes (objetos menores) permitiu o surgimento de várias possibilidades para a compreensão da natureza. Essas possibilidades podem ser apresentadas nos seguintes termos: ou a natureza deriva de uma de suas partes (princípio ou arché), ou a natureza pode ser compreendida como totalidade, ou ainda a natureza pode ser compreendida a partir de formas puras ou inteligíveis. Vejamos a seguir como parte da tradição antiga inaugurou cada uma dessas possibilidades.

Como vimos, Tales foi o primeiro a propor uma relação entre a parte da natureza e sua consideração mais ampla como totalidade. A água subjaz toda natureza e alcança o estatuto de um princípio (*arché*) gerador de tudo o que existe. O mesmo tipo de raciocínio persiste em Anaximandro discípulo de Tales, e em Anaxímenes, discípulo de Anaximandro. Para ambos a questão central se situa nos termos já apresentados: qual arché subjaz à natureza? Portanto, podemos considerar toda escola de Mileto, ou seja, Tales, Anaximandro e Anaxímenes como os filósofos inaugurais responsáveis pela primeira possibilidade de se pensar a natureza: a partir da totalidade.

Privilegiaremos, dentre os filósofos milesianos, a formulação de Anaximandro, por se situar no horizonte dos interesses específicos desta pesquisa, nos termos do critério que apresentaremos agora. Além de fazer parte do grupo inaugural, juntamente com Tales e Anaxímenes, na abertura da primeira via de possibilidade de se pensar a natureza, Anaximandro nos interessa diretamente por apontar um princípio ou arché sem limites no

[55] Essa pergunta só pode ser formulada se considerarmos a natureza como objeto maior feito de objetos menores, ou, o que dá no mesmo, se considerarmos que a natureza como extensão de suas partes, como resultado da interação de suas partes. Como vimo anteriormente, ao descrever brevemente as posições de Lucrécio em passagem acima referida, historicamente foi possível, como ocorre com as tradições filosóficas subsequentes, considerar a natureza finalisticamente, ou seja, organizada a partir de um fim, como o fez Aristóteles, ou mesmo considerar a natureza como o resultado da ação de uma divindade, como o fez os filósofos vinculados à tradição judaico-cristã, mas o fato é que se o objetivo é compreender a natureza e seus processos internos, é ineliminável concebê-la como objeto feito de partes inter-relacionadas.

espaço e sem uma qualidade determinada, princípio por ele designado de *ápeiron*, que pode ser traduzido como o *indeterminado*.[56]

A segunda possibilidade de se pensar a natureza é tomando-a enquanto totalidade, e esta via foi postulada inicialmente por Parmênides. O ponto de partida de Parmênides consistiu em transformar uma constatação em relação à existência da natureza, em princípio lógico e ontológico: a natureza existe, para Parmênides, e esta existência é de tal forma é explícita e incontestável que deve ser guindada à posição de princípio para pensar a própria natureza. A afirmação "o todo existe", portanto é o único fundamento legítimo para a construção de uma série de argumentos capazes de tematizar a natureza como problema. Deste modo o princípio "o ser é" pode auxiliar a inferência das características da totalidade, ou do próprio ser, e o modo de transformá-lo em princípio é fazê-lo portador da via da verdade.

A terceira possibilidade de se pensar a natureza é considerá-la não a partir da busca de princípios extraídos de observações empírico-especulativas (como o caso de Anaximandro), nem a considerando como uma totalidade (como no caso de Parmênides), mas sim a partir de princípios inteligíveis, ou seja, a partir de princípios formais que possam ser inferidos de procedimento puramente especulativo, via inaugurada por Platão. Vejamos algumas nuances do pensamento de Platão a partir de interesses mais específicos de nossas investigações em curso.

Platão modifica a impostação ontológica de Parmênides, e redireciona o pensamento filosófico como o esforço para alcançar linguisticamente o mundo a partir da racionalidade filosófica guiada pelo método dialético. O interesse não é descrever as características da totalidade, nem tomar a totalidade sensível como centralidade da reflexão, mas sim alcançar uma estrutura formal que se mantem inalterada frente às transformações incessantes da empiria.[57]

O específico de Platão pode ser acompanhado no modo como se afasta de Parmênides para encontrar uma referência para pensar o mundo a partir de uma racionalidade que o reconheça como multiplicidade, ao mesmo tempo em que o próprio Platão se propõe a

---

[56] Cf. REALE, Giovanni. *História da filosofia antiga*. São Paulo: Editora Loyola, 1993, vol. I, p.52 e ss.

[57] Neste sentido podemos apontar que a ênfase e a primazia de Platão é ultrapassar a mera descrição do sensível para alcançar, com o discurso filosófico municiado pelo método dialético, as formas inteligíveis, enquanto a ênfase e a primazia para Parmênides é ultrapassar a mera descrição do sensível e de suas transformações para alcançar a descrição ontológica do ser e de suas características.

possibilidade de construir um discurso que alcance a estrutura formal inteligível que subjaz às alterações do devir. O percurso de Platão é romper com a atitude ontológica de Parmênides, e isto significa subverter o princípio "o ser é" de Parmênides, para assim tratar a multiplicidade racionalmente, isto é, partir para uma captura das essências formais dos entes nas suas relações entre si e com o mundo, e com isto deslocar os interesses das coisas para o discurso racional das coisas.[58]

Se pudermos aqui também nos conceder uma ultrapassagem do âmbito da exposição em curso, faremos referência a uma vinculação deste impulso de Platão em privilegiar o aspecto formal do mundo, com a disposição de Heisenberg em abdicar de uma descrição conceitual da natureza, se afastando assim dos moldes sugeridos ao longo dos anos por Einstein, e assumir uma preferência com as descrições formais da natureza e de sua compleição quântica. Sobre estas vinculações trataremos a seguir ao comentar a terceira parte de nossa pesquisa.

2.2 A matriz materialista da noção de objetividade a partir da ideia de *átomo* em Leucipo e em Demócrito

Vimos no início do item anterior que a busca pela *arché* como princípio capaz de conferir inteligibilidade à incessante dinâmica das transformações naturais repousava numa base material, segundo as indicações de Aristóteles, pelos motivos que arrolamos ao longo de nossas discussões. De fato, a *arché* dos milesianos comportava um acento material se com isso compreendemos que em sua construção conceitual existe uma ineliminável referência ao caráter de objeto, de coisa de *ente* existente que se encerra em sua significação.

Mesmo se desejássemos argumentar em sentido diverso, ainda que por mera conjectura, e tomássemos Anaximandro como possível hipótese de um milesiano supostamente não materialista, quando examinássemos a proposta conceitual de Anaximandro e sua ideia de *ápeiron* ou *indeterminado*, constataríamos novamente que sua ideia de *ápeiron* estaria perfeitamente em sintonia com a suposição de que a natureza possui como princípio um lastro material uma *base objetiva material* se nos servirmos da terminologia que aqui privilegiamos. Isto ocorre porque, conforme vimos ao discutir Anaximandro, o conceito *ápeiron* ou o *indeterminado* remete para a ideia designativa daquilo que não possui *peras*, isto é, *não possui limites*, tanto no sentido *externo*, ou seja, infinito espacial ou infinito quantitativo, que se espraia infinitamente, quanto no sentido *interno* de indeterminado

[58] Cf. PLATÃO. *O Sofista*. 2º ed. Belém: Editora Universitária UFPA, 2007, *passim*.

qualitativo, no sentido de não se saber determinar ou precisar do que realmente é constituído o princípio (*arché*) que subjaz a toda multiplicidade, ou qual a qualidade *material* que lhe determina. Portanto, o *ápeiron* possui uma qualidade – apesar de indeterminada – o que lhe concede caráter de materialidade, pois até o subsequente aparecimento das formas ou *eidos* de Platão, somente as coisas e objetos materiais podem apresentar qualidades.

Anaximandro foi aqui novamente lembrado por um motivo que nos interessa: seu ápeiron é, em parte, a antítese do átomo de Leucipo e Demócrito. De fato, o objeto *ápeiron* se espraia espacialmente de forma infinita, e não possui, portanto, limites espaciais. A inversão radical desta característica de infinito espraiamento espacial do *ápeiron* de Anaximandro será levada a cabo por Leucipo e Demócrito, o que significará, pela primeira vez, *a objetividade da natureza proposta a partir da inversão da ideia de ápeiron*, através do conceito de *átomo*. Como Leucipo chegou a esta ideia de *átomo*? Aqui encontramos uma possível resposta que, no nosso entendimento, traz uma nova coincidência com Anaximandro que gostaríamos de salientar: a partir de uma inversão do argumento ao absurdo de Melisso,[59] Leucipo e Demócrito levaram a termo a radicalização do critério racional para interpretação da natureza.[60] Vejamos primeiramente a radicalização do critério racional por parte de Leucipo e Demócrito, processo já presente também em Anaximandro.

A radicalização do critério racional, acima aludida, significa que, Leucipo e Demócrito – podemos incluir também Anaximandro – não possuíam qualquer base objetiva calcada em experiências sensoriais, nem e observações diretas ou indiretas que indicassem com alguma fundamentação possível para a proposta de algo que se espraia sem limites no espaço (*ápeiron*) ou algo infinitamente pequeno, que não seja mais possível dividir (*átomo*). O movimento intelectivo nos parece ser similar e remonta ao uso de processos abstratos conduzidos por uma radicalização da especulação racional que já se mostra bem presente

---

[59] Segundo Reale, "A intuição fundamental do sistema de Leucipo deve ter sido tirada do fragmento 8 de Melisso: 'Se existissem os muitos – dizia Melisso – estes deveriam ser como digo que é o Uno.'; e dizendo isso, continua Rale, ele [Melisso] acreditava reduzir ao absurdo o pluralismo no qual os homens acreditavam: os muitos, para ser, deveriam ser eternos, porque este é o estatuto do ser; deveriam permanecer sem mudar; [pois todas as coisa que existem parecem que] ao invés mudam continuamente, e portanto, não são. E Leucipo voltou o argumento contra Melisso, fazendo daquilo que no eleata era um raciocínio por absurdo, o fundamento do próprio sistema: os muitos são muitos porque podem ser como o Uno melissiano, podem mudar sempre e ser imutáveis, ou seja, ser conforme o supremo estatuto do ser." Cf. REALE, Giovanni, *História da filosofia antiga*, v.I. São Paulo: Editora Loyola, 1993, p.152.

[60] De acordo com Tiago Adão Lara, "Na tradição mítica, os deuses são o fundamento, o princípio, a fonte de significados, a transcendência irrompente e sacralizadora. Nada disso encontramos em Leucipo-Demócrito. Neles está presente um racionalismo radical, que reorganiza todos os elementos do cosmos, na perspectiva da razão crítica, a qual torna inviável outro fundamento, outro princípio e outra fonte de significados, que não sejam as próprias razões da razão." Cf. LARA, Tiago Adão, *Caminhos da razão no ocidente*, v.I, p. 72.

desde o surgimento da filosofia com os milesianos. Vejamos o que nos diz Tiago Adão Lara sobre a novidade do átomo de Leucipo e de sua relação com o ser de Parmênides:

> É a análise racional que os leva [Leucipo e Demócrito] ao átomo, com todos os atributos do ser de Parmênides. Aos átomos, porém, se associa o vazio, o não-ser, quase como que dotado de *consistência ontológica*, limites entre um átomo e outro. De átomos tudo é feito. Os átomos variam apenas na forma. Sob a candente luz da razão dissolvem-se as qualidades variadas das coisas concretas. Tudo fica reduzido ao elemento pensável, erigido à categoria de princípio fundante, revelador de significações últimas. Os próprios deuses se fundam e se explicam, a partir da composição dos átomos, por mais sutis e especiais que sejam eles. Acaba qualquer transcendência. Tudo se perfaz na imanência dos mundos...[61]

Aristóteles foi um dos primeiros a perceber a relação entre o átomo de Leucipo e Demócrito com o ser de Parmênides, mostrando aspectos relevantes naquilo que seria uma tentativa de Leucipo e Demócrito em responder as *aporias* postas por Parmênides e os demais eleatas.[62] De fato, Leucipo foi discípulo direto de Zenão e de Melisso, dois dos mais destacados entre os eleatas, portanto dois dos principais seguidores da doutrina do Ser em Parmênides, doutrina que traz a premissa fundamental presente na afirmação "o Ser é", e sua consequência mais imediata "o não-Ser não é".

A hipótese de Aristóteles é que Leucipo dissolveu o Ser de Parmênides em infinitos fragmentos, conservando algumas das características do Ser de Parmênides na ideia de átomo, tais como, ingênito, incorruptível, imutável, igual, indestrutível e eterno. Resta acrescentar ao rol dessas características que os átomos são qualitativamente indiferenciados e apenas geometricamente diferentes.

Duas questões nos parecem relevantes em termos de aproximação com o problema da objetividade da natureza, tomando como pano de fundo a resposta das tradições gregas que

---

[61] Cf. LARA, Tiago Adão. *Caminhos da razão no ocidente*, v.I, Rio de Janeiro: Editora Vozes, 1989, p. 72. (grifo nosso).

[62] As principais *aporias* eleáticas podem ser assim enumeradas: 1) o ser é movimento ou repouso? 2) o ser é uno ou múltiplo? 3) o ser é limitado, ou ilimitado? 4) o ser é criado, ou ingênito? 5) o que muda no ser e o que permanece? O conceito de átomo de Leucipo e Demócrito procura enfrentar o conjunto das aporias: 1) o ser é movimento (átomos em movimento no vazio que é o espaço onde há a ausência dos átomos); 2) o ser é múltiplo (os átomos se juntam e se separam dando conformação ao múltiplo e; sentido ao devir); o ser é ilimitado (infinitas configurações dos átomos); 4) O ser é ingênito (o átomo é indestrutível e eterno); 5) mudam as configurações de átomos (junções e separações), permanecem os átomos, que, afinal, são qualitativamente idênticos.

estamos nos debruçando: em primeiro lugar a consideração *ontológica* do vazio, aspecto decisivo para a compreensão mais rigorosa dos aspectos objetivos da natureza, e, em segundo lugar uma discussão ainda não referida de que os átomos de Leucipo e Demócrito pudessem estar ancorados em uma variante antecipada, e imprecisa da *forma* pura de Platão, antecipação que subsumiria dialeticamente (de uma forma confusa, como veremos) a *forma* e a *matéria*. Passemos rapidamente a estes dois aspectos mais problemáticos e instigantes.

O atomismo de Leucipo e Demócrito conseguiu dar resolubilidade, como vimos a pouco, a um conjunto de *aporias* ou contradições deixadas, como herança, por Parmênides e os demais eleatas. Entre essas *aporias* destaca-se a que tematiza o enigmático par movimento-repouso, um verdadeiro quebra-cabeça para os filósofos subsequentes, sobretudo pela inquebrantável premissa de Parmênides "o ser é". Entre os filósofos que procuraram contornar a aporia contida na premissa "o ser é", encontram-se dois caminhos distintos, o primeiro, atribuído à Platão que procura encontrar uma saída no *Sofista* com a consideração do "não-ser" como o *outro*, ou o diverso, e com isso permitir a linguagem se apropriar da multiplicidade dos objetos, salvaguardando o pressuposto metafísico realista idealista que considera a linguagem capaz de descrever o mundo e capturar a sua essência. A segunda via de enfrentamento da premissa de Parmênides foi discutida por Aristóteles que procura uma solução satisfatória na *Metafísica*, através do par categorial *ato* e *potência*, que representam o movimento como a passagem do existente de sua condição de possibilidade (potência), para sua condição de efetivação.

As duas soluções apresentadas por Platão e Aristóteles procuram resolver questões específicas em seus percursos filosóficos – o problema da linguagem, em Platão, e o problema do movimento na perspectiva de sua descrição, em Aristóteles – mas ambas não se debruçaram no aspecto *ontológico* mais íntimo do significado não do que ocorre quando há movimento, no caso de Aristóteles, mas do "que" se movimenta. Esta foi a direção acolhida por Leucipo e Demócrito.

Os átomos são estruturas diminutas e indivisíveis, qualitativamente indistintas, que se agrupam e se separam, gerando assim a composição e a deterioração que fenomenalmente reconhecemos no mundo cotidiano. O aspecto inovador reside também em considerar o vazio simplesmente como o espaço existente entre dois átomos, permitindo, pela primeira vez, a emergência *ontológica* de uma explicação filosófica grega-antiga, daquilo que o eleatismo designou como "não-ser", e que tanto ocupou a atenção dos filósofos dali em diante.

As bases da física clássica estariam assim estabelecidas: o mundo é feito de estruturas pontuais diminutas que se agregam e se separam, e os objetos adquirem suas qualidades secundárias (cores, texturas, odores, etc.) a partir das qualidades primárias (disposições geométricas em consequência dos agrupamentos de átomos). Uma pergunta, por fim é pertinente, e aborda um ponto pouco visitado em se tratando das contribuições de Leucipo e Demócrito: a postulação dos átomos como estruturas geométricas que se deslocam no vazio não possibilita uma abordagem idealista dos átomos? Uma possível compreensão idealista dos átomos não os reduziria às formas de Platão? Vejamos o que nos diz Giovanni Reale a este Respeito:

> Mas deveríamos esclarecer um ponto fundamental. Aos ouvidos modernos a palavra "átomo" evoca inevitavelmente os significados que o termo adquiriu na moderna ciência de Galileu à física contemporânea. Pois bem, é preciso despojar a palavra átomo desses significados se quisermos descobrir o significado ontológico originário segundo o qual entenderam os filósofos de Abdera [Leucipo e Demócrito]. O átomo dos abderianos traz em si o selo típico do pensar helênico: é átomo-forma, é átomo eideticamente pensado e representado.

Para compreender esta alusão a um "átomo-forma", isto é, a percepção de que o conceito de átomo de Leucipo e Demócrito não é a expressão de uma pura materialidade, mas é também apresentado como uma diminuta partícula indivisível, geometricamente considerada, o que poderia suscitar, diante deste destaque para o aspecto geométrico, a dúvida de uma antecipação do caráter de forma ou *ideia* (*eidos*) de Platão. De fato, vejamos este intrigante ponto, a partir das indicações de Alfieri, citado por Reale:

> E isso [a alusão do uso da palavra *átomo*, no momento histórico vivido por Demócrito, com o sentido grego de *ideia* posteriormente assumido por Platão] é testado positivamente: é-nos dito de modo explícito, por lexicógrafos aos quais não temos nenhuma razão para não prestar fé justamente nesse caso, que Demócrito usava o termo *ideia*, amiúde, senão sempre, para designar o átomo. A etimologia, especialmente na fase histórica da língua

> grega na qual nos encontramos com Demócrito (...) aqui não deixa dúvida: *ideia* é o visível.[63]

Qual o significado do uso da palavra *ideia* no sentido de visível, se o átomo é invisível aos sentidos? Alfieri complementa suas indicações afirmando que o visível indicado pelo termo *ideia* diz respeito ao que é visível para o intelecto, de uma apropriação racional que é o resultado da concepção abstrata do átomo como aquilo que não se pode mais dividir. Nas palavras de Alfieri:

> Em que sentido [o átomo] é ideia, em que sentido [o átomo] é visível? Visível, evidentemente, só à visão do intelecto: o intelecto abstrato, que parte do visível corpóreo, indo sempre mais além até onde os sentidos podem chegar, encontra seu termo final num mundo quintessenciado e despotenciado, que é analogia do visível corpóreo. Forma é, pois o visível geométrico, o que é visível ao intelecto, embora sempre análogo ao sensível, e por isso capaz de gerar o concreto sensível. Tal é a "ideia" ou forma que pode ser concebida por uma filosofia materialista, que não admite nada de imaterial, senão o vazio, mas define o vazio justamente como o não-ser.[64]

Esta questão levantada por Alfieri é deveras intrigante, e chega, em um primeiro momento, a lançar alguma dúvida sobre o estatuto da materialidade dos atomistas, ao indicar dois caminhos simultâneos: de um lado, o uso da palavra *ideia* presente no vocabulário de Leucipo e Demócrito para descrever o átomo, com o agravante de o termo *ideia* significar, neste contexto referido, o sentido de "visível"; de outro lado, o fato de os átomos de Leucipo e Demócrito terem sido muitas vezes referidos por seus atributos geométricos. Não seria o caso de um átomo concebido como pura forma, como em Platão, algo como um "átomo-forma"?

A resposta a esta questão é, obviamente, não, mas a pergunta é pertinente para o esclarecimento das distinções entre o procedimento analítico de Leucipo e Demócrito que resultou na postulação do conceito de *átomo,* e o procedimento analítico de Platão que resultou na postulação do conceito de *eidos* (ideia). Investiguemos rapidamente essa questão anteriormente formulada para dirimir definitivamente as dúvidas, e guardar estas referências para avalizar o procedimento de Heisenberg, quando oportunamente apresentarmos sua

---

[63] Cf. ALFIERI, *Átomos idea*, *apud* REALE, Giovanni Reale, *História da filosofia antiga*, v.I. São Paulo: Editora Loyola, 1993, p.52.
[64] *Ibidem*, p. 155.

interpretação filosófica sobre o estatuto das partículas elementares como os últimos-primeiros "tijolos" constituidores dos fenômenos quânticos, e, portanto, da natureza enquanto tal: para Heisenberg as partículas elementares são matéria (como em Leucipo e Demócrito) ou formas puras (como em Platão)?

A chave para a resposta é examinar o ponto de partida e o método de Leucipo e Demócrito e o ponto de partida e o método de Platão. Examinemos, primeiramente, Leucipo e Demócrito por razões de antecedência cronológica. Leucipo e Demócrito partem da natureza, mais especificamente dos objetos naturais, tais como, madeira, cavalo, rio, planeta, etc. e se perguntam se tais objetos poderiam ser divididos infinitamente ou se esse processo divisório teria um termo. Ao se perguntarem por uma possível divisão *ad infinitum* os abderianos já se mostram metodologicamente sustentados por uma postura racional, intelectiva, no sentido de que nenhuma outra forma de conceber esta suposição – dividir continuamente um objeto até seu limite de possibilidade – seria possível. Trata-se, portanto de um processo de abstração levado a cabo por uma suposição racional. Lembremos que iniciamos nossas considerações de Leucipo e Demócrito apontado este fato específico: foram eles que levaram o procedimento racional ao seu limite. Isto é correto se levarmos em conta o ponto de partida desse procedimento racional: a materialidade da natureza.

A questão em Leucipo e Demócrito se passa nos seguintes termos: se partirmos de qualquer objeto material e o dividirmos (racionalmente) continuamente, este processo chegará a um termo? Resposta: sim, supomos (racionalmente) encontrar um termo ou uma etapa final para esse processo. O que (racionalmente) encontraríamos? Resposta: o indivisível ou o "a-tomos" (etimologicamente "o que não possui divisão"). O que "veríamos" (racionalmente) se pudéssemos "olhar" (racionalmente) para o átomo? Resposta: uma forma geométrica, análoga (racionalmente) às formas matemáticas. É possível perceber que todo este procedimento argumentativo é racional – como não poderia deixar de ser – porém apresenta duplo ponto de partida material: parte de uma *divisão* como *analogia racional* do que ocorre na *natureza material* (na natureza quando cortamos um objeto ele de fato se divide, conservando o que é), e parte da *divisão de um objeto material*, portanto o resultado da divisão será um objeto material cuja forma é geométrica. A conclusão é que o átomo de Leucipo e Demócrito é material com forma geométrica, ou seja, a forma aqui não é condição, mas necessidade racionalmente suposta: por ser uma coisa possui, por necessidade, uma forma como expressão de sua condição material.

O caso de Platão é bem distinto, e embora nos debrucemos no próximo item sobre alguns problemas internos relativos ao seu procedimento idealista, podemos simplificadamente adiantar indicações para o caso aqui em discussão. O ponto de partida de Platão também é a natureza sensível, e só nisso se assemelha à Leucipo e à Demócrito. Ocorre que, enquanto o método racional de Leucipo e Demócrito mantém a *base material* em suas divisões racionais sucessivas, Platão se atém a um procedimento metodológico cuja característica também consiste em sucessivas divisões racionais, mas cujo objetivo é se *afastar de toda base material* até restar apenas a pura forma ou *eidos* ou *Ideia*. É possível reconhecer traços de convergência entre os dois procedimentos, mas o método e o objetivo do método não encontram ponto de tangência. De fato, são as mais antitéticas posições filosóficas presentes na quadra histórica da Grécia antiga, com pontos de vista e resultados completamente distintos, costurando os dois momentos decisivos de inflexão da metafísica antiga. Aonde se situará Aristóteles neste espectro que opõe a matéria (Demócrito) de um lado e a forma (Platão) de outro? Aonde se situará Heisenberg nesse mesmo espectro? Deveremos ainda avançar em várias direções para sugerir uma resposta plausível para Heisenberg. Para finalizar as discussões sobre os atomistas, fiquemos com as palavras conclusivas de Alfieri:

> Não se encontra afirmação de imaterialidade antes de Platão (...) não existe antes dele [Platão] distinção entre dois planos de realidade, um material e outro imaterial. No atomismo, com efeito, material e imaterial estão no mesmo plano: são o ser [material] e o não-ser [imaterial], os dois termos inseparáveis da dialética do pensar [de Parmênides], ambos admitidos agora (à diferença do eleatismo) para poder dar razão à experiência. Então, a forma [de Demócrito] é o visível do intelecto: a materialidade pura enquanto individuada e quantitativamente, mas só quantitativamente diferenciada [pois não há distinção de qualidade entre os átomos]. Antes da ideia platônica que é qualidade, imaterialidade e finalidade, existe a ideia democritiana que é quantidade, materialidade e necessidade. Mas é interessante que tanto o materialismo quanto o idealismo, tanto Demócrito quanto Platão, definam como ideia a realidade mais verdadeira, aquela que está além das aparências e ilusões de uma experiência acrítica e problemática.[65]

[65] *Ibidem*, p. 155.

2.3 A matriz idealista platônica da noção de objetividade a partir da ideia do *intermediário matemático*

A tentativa de compreensão do significado da matemática em Platão é uma empreitada plena de rupturas, e revisitações complementares. A dificuldade maior de tal empreitada reside no fato de que o problema da compreensão do significado da matemática em Platão se situa no interior de um percurso reflexivo que remete às Ideias ou Teoria das Formas, teoria que permite acesso ao conhecimento verdadeiro. Como sabemos, esse percurso que culmina nas Ideias de Platão é um dos momentos chave para a construção de nossas bases ontológicas ancestrais, um legado que remete às antigas linhas mestras genéticas que sustentam a base de nossas edificações metafísicas. A questão específica que privilegiamos neste complexo percurso que interliga matemática e conhecimento verdadeiro (ou dialético) pode ser assim formulada: qual a função atribuída à matemática por Platão na tentativa de atingir o conhecimento verdadeiro? Este é o problema central a ser enfrentado nestas breves considerações.

O desafio de uma incursão rumo ao esclarecimento da concepção platônica da matemática, encontra outro obstáculo significativo que reside na dificuldade do rastreamento das informações desenvolvidas por Platão em diversas obras e fases do seu pensamento. Para enfrentarmos uma parte dessas dificuldades envolvidas em torno do problema da unificação de informações sobre a concepção da matemática em Platão, recorreremos a um texto de Paul Ricoeur, presente em sua obra Ser, Essência e Substância em Platão e Aristóteles, mais precisamente ao capítulo V da primeira parte desta obra, capítulo intitulado “A ciência e a essência: o intermediário matemático”.

Duas questões centrais ocupam a espinha dorsal da arquitetônica expositiva do capítulo V supracitado. Em primeiro lugar veremos que a concepção platônica de matemática assume uma viragem decisiva: inicialmente, no interior deste percurso platônico, a matemática assumiu uma referência ontológica, referência presente em boa parte dos diálogos, porém, tardiamente, mais precisamente em *A República*, essa referência inicial passa a ser considerada a partir de duas críticas epistemológicas específicas dirigidas à matemática. Esta posição inicial da concepção ontológica dos objetos da matemática em Platão será a temática do primeiro item de nossas considerações. Em segundo lugar, veremos que a insistência recorrente de Platão em postular um significado ontológico para a matemática, só é suplantada a partir de uma motivação reflexiva pautada na busca do modo mais adequado

para educar o filósofo-magistrado para desempenhar a função de governar a cidade. Estas investigações maduras de Platão em *A República*, impulsionadas pelo apetite de refinar sua compreensão do mundo humano representado pela política, pela ética e pela educação, tem como resultado uma dupla crítica do conhecimento matemático. Esta vinculação do tratamento crítico da matemática com questões de natureza ético-políticas será o tema do terceiro item de nossas apreciações.[66]

Por fim gostaríamos de destacar um aspecto subjacente ao texto de Ricoeur, apenas indiretamente perceptível, mas de importância indiscutível para conotar um sentido maior ao conjunto argumentativo do que será doravante apresentado, e que não devemos perder de vista: a persistência de Platão em buscar e refinar constantemente o significado da matemática se tornou a peça fundamental na compreensão do próprio sentido do mundo humano. Do mesmo modo podemos inversamente inferir: a persistência em compreender o mundo humano fará Platão direcionar uma critica epistemológica ao conhecimento matemático.

Ricoeur inicia o capítulo V supracitado lembrando um postulado fundamental da metafísica de Platão: "o platonismo", diz Ricoeur, "baseia-se numa oposição ontológica entre dois termos: ser e aparecer, ou ser e devir."[67] Diante desta dicotomia "ser – parecer", pergunta Ricoeur, "qual é o alcance de uma teoria epistemológica dos intermediários?" Este problema assume na sequência do texto de Ricoeur uma nova formulação para se tornar ainda mais rigoroso, e nesta nova configuração já estão presentes as linhas centrais que a argumentação de Ricoeur assumirá posteriormente: "os próprios objetos matemáticos [números, figuras geométricas, etc.] são seres intermediários ou apenas o conhecimento matemático tem uma posição intermediária, sem que o objeto matemático propriamente dito seja um ser menor que o objeto ético, por exemplo?".[68]

Temos aqui, recém-indicados pelo próprio Ricoeur, três aspectos cruciais para a compreensão das linhas argumentativas mais gerais que balizarão o curso da temática em pauta. Podemos considerar esses três aspectos como a apresentação de um ponto-de-partida e de dois problemas fundamentais para a compreensão do capítulo V que ora investigamos: a

---

[66] Gostaríamos de destacar um aspecto subjacente ao texto de Ricoeur, apenas indiretamente perceptível, mas de importância indiscutível para conotar um sentido maior ao conjunto argumentativo do que será doravante apresentado, e que não devemos perder de vista: a persistência de Platão em buscar e refinar constantemente o significado da matemática se tornou a peça fundamental na compreensão do próprio sentido do mundo humano. Do mesmo modo podemos inversamente inferir: a persistência em compreender o mundo humano fará Platão direcionar uma critica epistemológica ao conhecimento matemático.

[67] Cf. RICOEUR, Paul. *Ser, Essência e Substância em Platão e Aristóteles*. São Paulo: Martins Fontes, 2014. p. 34.

[68] *Ibidem*, p.34.

metafísica de Platão parte da *oposição ontológica* de "ser – parecer" (ponto-de-partida para a discussão da concepção inicial da matemática em Platão); Problema 1) qual é o alcance de uma teoria epistemológica dos intermediários em Platão? Problema 2) os intermediários na matemática são os objetos matemáticos, ou os intermediários são o conhecimento matemático? Nossa exposição consistirá, a partir de agora, em esclarecer esses três apontamentos de Ricoeur para a compreensão da matemática em Platão, e o faremos assumindo esses apontamentos como fio condutor para a discussão de aspectos que consideramos fundamentais neste capítulo.

Na passagem inicial, acima anunciada, Ricoeur afirma que "o platonismo se baseia numa oposição ontológica entre ser e aparecer ou ser e devir". O que significa esta indicação de Ricoeur? Tomada isoladamente esta afirmação poderia funcionar como um invólucro do tratamento de todos os problemas metafísicos em Platão, contudo devemos ter cautela quanto ao alcance deste apontamento sem desconsiderá-lo. Isto significa que, se tomarmos como ponto-de-partida a oposição "ser-aparecer", qualquer discussão filosófica deveria necessariamente estancar no "ser" e não no "aparecer", ou seja, a discussão filosófica só é satisfeita quando se alcançar a determinação ontológica última daquilo que se assume como objeto da investigação. Deste modo, caso a reflexão filosófica apresentasse a beleza como objeto, por exemplo, a última fronteira do estético deveria alcançar uma posição ontológica, ou seja, uma forma (*eidos*) do Belo que fosse necessariamente ontológica, em contraposição às formas sensíveis ou empíricas da beleza.

Será que este ponto-de-partida se aplica irremediavelmente à matemática no interior da obra de Platão? À primeira vista o mesmo princípio opositivo "ser-aparecer" deveria ser aplicado à matemática, e neste caso o resultado de uma reflexão filosófica sobre a matemática deveria resultar, de modo definitivo, na concepção ontológica da matemática, isto é, o resultado da investigação metafísica da matemática deveria postular o caráter ontológico dos objetos matemáticos, tais como os números e as figuras geométricas. Isto significa, apenas para facilitar a compreensão de nossa argumentação, que a última palavra de Platão sobre a matemática *deveria ser* o reconhecimento dos números e figuras geométricas como objetos ontológicos, isto é, objetos realmente existentes, com características assemelhadas às demais *Ideias*.[69] É isto o que ocorre em todos os diálogos de Platão?

---

[69] Aqui precisamos calibrar um pouco nossas argumentações. Quando apontamos o aspecto ontológico em Platão, e, consequentemente, quando apontamos o aspecto ontológico conferido para a matemática em Platão, estamos destacando exatamente o valor do princípio ser-aparecer como uma referência vital e ineliminável como

De fato é isto o que ocorre, segundo Ricoeur, em quase todos os diálogos de Platão, com exceção de um único diálogo: *A República*. Deste modo, por quase toda a obra de Platão a matemática aparece investigada a partir do viés ontológico, ou, o que dá no mesmo, *Platão concebe ontologicamente os objetos matemáticos*, e não somente isto, como também Platão concebe os objetos matemáticos no mesmo grau de importância dos demais objetos investigados, como por exemplo, a Coragem, a Amizade e o Belo, etc. A este respeito nos diz Ricoeur que "nos outros diálogos que não *A República*, os seres matemáticos, os seres éticos e os outros exemplos de *Ideias* são tratados exatamente em pé de igualdade, e nada autoriza a dizer que [os seres matemáticos] são menos *Ideias* que as outras."[70]

Portanto, segundo Ricoeur, *quase todos* os diálogos de Platão apresentam, com insistência, o tema da matemática como exemplo ontológico referencial de *Ideia*, ao ponto de até mesmo a discussão sobre a Justiça em *A República*, nos diz Ricoeur, "é uma relação matemática de proporcionalidade entre as partes da alma".[71]

A grande viragem da compreensão do significado da matemática em Platão ocorre exatamente nos capítulos VI e VII de *A República*, segundo Paul Ricoeur, e essa viragem se constituirá na elaboração mais madura de Platão sobre a matemática. Esta mudança tardia de curso em torno da compreensão platônica da matemática equivale àquela terceira indagação supra referida (Problema 2), que anteriormente delineamos: "os intermediários da matemática são os objetos ou são o conhecimento matemático?". Passemos ao tratamento desta questão.

O diálogo *A República* representa para Ricoeur, como vimos, uma viragem decisiva na concepção de Platão acerca da matemática. A matemática deixará de ser a consideração

---

acertadamente apontou Ricoeur. O que está em jogo na matemática, portanto, é a sua condição de estar próxima do ser, isto é, a possibilidade que a matemática apresenta de desvelar o devir e apontar para os modos inteligíveis que repousam subjacentes às mudanças da natureza. É por isto que os objetos matemáticos são ontológicos, posto que esses objetos possibilitam a compreensão, por exemplo, do fato de que a esfera lunar que avistamos no céu é apenas uma forma aproximada de uma esfera geométrica perfeita, aspecto que coloca a inteligibilidade da forma "esfera" como prioridade frente a aparição da lua no céu noturno. A esfera é próxima do polo "ser", do mesmo modo que a lua é próxima do polo "aparecer", para utilizarmos o princípio fundamental do platonismo apontado por Ricoeur. Esta aproximação da esfera com o ser confere à esfera, e, por conseguinte, aos objetos matemáticos em geral (números e objetos geométricos) um estatuto ontológico, ou seja, uma característica de existente, mesmo que esse existente só seja alcançado pela dialética. Pensamos que as investigações sobre as Ideias ou Formas (eidos) em Platão só lhe interessam como modo de desvelar o inteligível que subjaz ao visível das coisas, e a prova disto se dá exatamente no contexto político-pedagógico em que Platão examinará as ciências necessárias para a boa condução da cidade pelo filósofo-magistrado. A tensão e a crítica a que é submetido o conhecimento matemático na República, como mais adiante veremos, mais do que cindir o mundo em uma dicotomia pueril, como farão os neoplatônicos e o pensamento cristão subsequente, procura compreender melhor os mecanismos inteligíveis que poderiam balizar a ação política do homem na cidade.

[70] Cf. RICOEUR, Paul. *Ser. Essência e Substância em Platão e Aristóteles*. São Paulo: Martins Fontes, 2014. p. 35.

[71] *Ibidem*, p. 35.

ontológica dos objetos matemáticos, para assumir a condição crítica que compreende e aponta os limites do conhecimento matemático, ou, de outro modo, para *assumir a concepção epistemológica do conhecimento matemático*. Essa viragem da forma de compreensão da matemática por parte de Platão experimentou, segundo Ricoeur, um ensaio prévio antes da *A República*, em contexto totalmente alheio à matemática mais precisamente no *Teeteto*. No *Teeteto* a discussão em curso não tratava da matemática, mas sim de um aspecto misterioso que a argumentação de Platão reservou para o ser (*ousia*). Segundo Ricoeur, o ser possui uma "extensão mais ampla", posto que "o ser estende-se através de todas as outras essências". Este aspecto misterioso do ser no *Teeteto* assumiu, segundo Ricoeur, contornos decisivos que desaguariam mais tarde nas considerações sobre os limites do conhecimento matemático em *A República*.

Este misterioso aspecto do ser referente a uma extensão mais ampla que se espraia por sobre todas as *Ideias* particulares, assume, para Ricoeur, duas intuições determinantes para a compreensão das *Ideias*, bem como para o curso subsequente da compreensão platônica da matemática. A primeira intuição aponta na seguinte direção: antes do *Teeteto* as *Ideias* eram consideradas individualmente, cada uma por vez, o que corresponde ao ponto de vista da enumeração. Assim existiria a *Ideia* de Amor, de Coragem, etc. O interessante aqui é que, segundo Ricoeur, no ponto de vista da enumeração (cada *Ideia* é um particular distinto) "haveria privilégio do exemplo matemático sobre o exemplo ético", conforme o que indica a *Carta VII*. A segunda intuição, intuição que emerge a partir da indicação do *Teeteto* de que "o ser se estende através de todas as essências", significa, para Ricoeur, a passagem da enumeração das *Ideias* para a ordem, ou seja, o *Teeteto* inaugura o ponto de vista da misteriosa extensão ilimitada do ser sobre todas as *Ideias*.

Se existe, portanto, algo misterioso que se espraia sobre todas as *Ideias* é possível considerar essas *Ideias* não mais individualmente (esta específica *Ideia* de Coragem, esta específica *Ideia* de Justiça, etc.), mas como possuidoras de algo comum que as perpassa, portanto as *Ideias* deixariam o ponto de vista de *entes* particulares isolados (ponto de vista da enumeração), para assumirem a condição de *pertencimento coletivo* a uma característica comum, ou seja, a característica de serem todas perpassadas pelo ser, ou extensões do ser (ponto de vista da ordem). Esse segundo ponto de vista relaciona as *Ideias* entre si e aponta para uma referência recíproca nesta relação, o que sugere a existência de uma ordem que as perpassa, unificando-as.

Esta mudança de perspectiva em relação à compreensão das *Ideias* no *Teeteto* é fundamental para compreensão da mudança de perspectiva na compreensão da matemática na *República*. O que veremos na *República*, segundo Ricoeur, é a unificação das *Ideias* pelo Bem, o qual assumirá o posto abstrato e vazio antes ocupado pelo ser, como salientou Ricoeur anteriormente ao ironizar o aspecto "misterioso" do ser que "se estende através de todas as *Ideias*", no *Teeteto*. Quem se estende em *A República* através de todas as *Ideias* é o Bem. Por que Platão resolveu considerar as *Ideias* inter-relacionadas entre si e perpassadas por uma *Ideia* específica, a *Ideia* de Bem? A *Ideia* de Bem em *A República* modifica o estatuto ontológico dos objetos matemáticos, presente como vimos em quase todos os diálogos anteriores à *República*, para a crítica do conhecimento matemático?

Para responder a estas duas últimas questões lançadas, devemos acompanhar o conselho oportuno de Ricoeur: "A implantação da matemática nos livros VI e VII [da *República*] não é compreensível se não tiver presente na mente o contexto global: está em causa estabelecer 'de que maneira e com o auxílio de quais ciências e de quais exercícios serão formados os conservadores da constituição e com qual idade eles se dedicarão a cada estudo' (*A República*, 502 d)".[72] Ricoeur ainda nos esclarece: "Portanto, é no [interior de um] projeto político, no contexto geral de uma educação visando ao governo pelos filósofos, que se insere uma reflexão sobreas ciências."[73] Vale a pena acompanhar o arremate de Ricoeur: "Assim, a hierarquia [entre as ciências, incluso aí a matemática] é uma hierarquia pedagógica, visando a uma prática política. É por isso que daqui a pouco [nas passagens subsequentes da República] os graus do saber serão todos considerados pelo ângulo do sujeito e não pelo [ângulo] do objeto".[74]

Pelo que podemos inferir a partir das colocações acima transcritas de Ricoeur, os capítulos VI e VII de *A República* se movimentam no interior de um projeto pedagógico que visa preparar o futuro magistrado-filósofo para o exercício de seu governo na cidade. Esse movimento é dialético-ascendente no sentido do estabelecimento das balizas pedagógicas mais sofisticadas para a preparação do chamado rei-filósofo. Toda discussão em torno das ciências e atividades do futuro governante tem por pressuposto, como nos mostrou acima Ricoeur, a melhor preparação possível do governante-filósofo, exatamente para permitir o sucesso de tal empreendimento ético-educacional. É natural que em um contexto com estes

[72] *Ibidem*, p. 37. [As inserções entre colchetes são de nossa autoria]
[73] *Ibidem*, p. 37. [As inserções entre colchetes são de nossa autoria]
[74] *Ibidem*, p. 37. [As inserções entre colchetes são de nossa autoria]

contornos emerja uma diretriz valorativa intrínseca, objetivada na *Ideia* de Bem. O Bem perpassa todos os esforços cognitivos, todas as atividades preparatórias e todas as ciências que compõem a formação do futuro condutor político da *polis*. Também é natural, neste contexto pedagógico, pensar a matemática a partir da perspectiva valorativa do Bem, comparando-a e sopesando-a com o Bem, naquilo que pode (a matemática) apresentar de contributo ou de limite na formação do soberano-filósofo.

O ponto de chegada da crítica de Platão ao conhecimento matemático se dará na passagem conhecida como "alegoria da linha dividida" presente em *A República*, passagem que se inicia na parte final do capítulo VI, mais especificamente localizada entre o trecho "510a" e o trecho "511e". Nessa passagem Platão propõe, como exercício reflexivo, a divisão de uma linha em duas partes desiguais, onde cada uma dessas partes é novamente dividida segundo a mesma proporção desigual inicial. A partir destas duas sucessivas divisões, Platão estabeleceu, como resultado desta operação reflexiva, uma linha dividida em quatro partes, sendo as duas primeiras partes destinadas ao mundo sensível, (parte direita da linha), e as duas outras partes restantes destinadas ao mundo inteligível (parte esquerda da linha). Cada uma das quatro partes assumirá as seguintes designações: parte visível 1, ou imagens – mundo das conjecturas (*eikasian*); parte visível 2, ou coisas reais – mundo da crença (*doxa*); parte inteligível 1, ou objetos matemáticos – mundo do conhecimento matemático (*dianoética*); parte inteligível 2, ou ciência verdadeira ou dialética – mundo da inteligência (*noética*). Percebe-se de pronto como o conhecimento ocupa, na linha dividida, o lugar de intermediário rumo ao verdadeiro conhecimento ou rumo ao "ser verdadeiro". A compreensão deste lugar atribuído à matemática por Platão de conhecimento intermediário rumo ao "ser verdadeiro", exige a menção retrospectiva de várias questões anteriormente discutidas.

Algumas questões já discutidas devem ser agora novamente mencionadas para permitir que acompanhemos com clareza o teor da crítica de Platão ao conhecimento matemático. A *Ideia* do Bem como um princípio de determinação última das ciências na *República* provocou, como vimos no item anterior, a ruptura na concepção de Platão da matemática. Agora o que nos interessa explicitar é o objeto da crítica de Platão em relação à matemática, porém recordemos o teor mais amplo dessa crítica: em primeiro lugar, Platão sempre manteve um profundo reconhecimento do estatuto ontológico dos objetos matemáticos, que, segundo vimos, "não ficam nada a dever para os outros seres (éticos

principalmente)" [75]; em segundo lugar, recordemos o viés pedagógico sobre o qual a discussão da matemática assume nos capítulos VI e VII da *República*. Dito isto, a problemática que iremos apresentar agora trata dos *limites do conhecimento matemático*, e não dos objetos matemáticos, e esta questão está posta nas seguintes palavras de Ricoeur: "é o conhecimento matemático que deve ter uma falha própria que o impede de participar plenamente do dinamismo do mundo das *Ideias* e de apontar para a *Ideia* de Bem."[76]

Iniciemos a apreciação desta discussão tomando a passagem introdutória do comentário de Ricoeur, onde ele irá apresentar suas considerações iniciais a respeito da chamada "alegoria da linha dividida" de *A República* (510a- 511e), momento no qual Platão irá criticar o conhecimento matemático, passagem que esboça o plano geral a partir do qual Ricoeur balizará suas análises. Se a *Ideia* de Bem é o parâmetro para estabelecimento das diretrizes para escolha das ciências capazes de educar o filósofo-magistrado, como vimos, então é plausível pensar que a *Ideia* de Bem, como nos diz Ricoeur, "levanta o fundamento da determinação de cada *Ideia*, ao mesmo tempo em que [a *Ideia* de Bem postula] o fundamento do ato de conhecimento como ato comum do inteligível e da inteligência." Na sequência desta mesma passagem, agora transcrita, Ricoeur continua a sua observação vinculando a utilização do princípio do Bem com a avaliação que Platão fará da hierarquia das ciências necessárias à preparação do futuro governante: "Esse fundamento do múltiplo das *Ideias* na *Ideia* de Bem é o que introduz o princípio possível da hierarquia dos seres." Por último, Ricoeur conclui suas considerações iniciais sobre a alegoria da linha dividida: "Todo o problema da hierarquia que vamos encontrar na passagem sobre a divisão da linha vai ser comandado por um princípio de unificação final."[77]

Ricoeur apresenta três observações que resumem as passagens acima transcritas, ao mesmo tempo em que tais comentários servem de parâmetros que balizam o sentido mais amplo da alegoria da linha dividida na *República*: (1) não há na alegoria da linha dividida hierarquia de objetos, mas sim uma hierarquia de modos de conhecimento, ou seja, segundo Ricoeur, "a análise é vista pelo ângulo do conhecimento: conjectura, fé, conhecimento discursivo, inteligência"; (2) o significado da divisão em duas partes do mundo visível aponta para a relação da ficção com a realidade, ou seja, podemos ter acesso ao mundo visível através dos sonhos, alucinações e simulacros (conjectura), ou através das sensações (opinião);

---

[75] *Ibidem*, p. 39.
[76] *Ibidem*, p. 39. (grifos do autor)
[77] *Ibidem*, p. 39. (grifos do autor)

(3) o significado da divisão em duas partes do mundo inteligível segue analogicamente o significado dado por Platão para a divisão do mundo sensível: a matemática está para a dialética, assim como as imagens estão para as coisas.[78]

É exatamente este último aspecto analógico da parte inteligível da divisão da linha, que estabelece a relação da matemática para a dialética como análoga à relação das imagens com as coisas ou objetos apreendidos pela percepção, acima referido, que caracteriza o caráter intermediário da matemática, dado por Platão. Ricoeur nos diz a este respeito que "é essa nova proporção [proporção matemática-dialética] que é a única importante, pois o seguimento dianoético [*dianoetikós:* "que diz respeito à inteligência"] é o único que Platão chama de *intermediário* (511 d)".[79]

A pergunta que estabelece o último e mais importante problema a tratar na discussão da concepção de matemática como intermediário rumo ao conhecimento verdadeiro ou ao conhecimento dialético em Platão é lançada na sequência da passagem que acabamos de transcrever, pelo próprio Ricoeur: "o que caracteriza esse estatuto intermediário" [do conhecimento matemático]? Ricoeur responde a essa questão apontando para duas deficiências do conhecimento matemático: "É que há duas deficiências do conhecimento matemático: por um lado ele é tributário das figuras, e por outro de hipóteses não explicadas."[80] Examinemos cada uma dessas críticas à matemática desenvolvidas por Platão na *República*, segundo a ótica de Ricoeur.

A primeira crítica de Platão ao conhecimento matemático, segundo Ricoeur, é direcionada à geometria e ao fato de que o conhecimento matemático-geométrico é tributário de figuras. A questão reside no ponto onde Platão, segundo Ricoeur, "ataca as geometrias pragmáticas que manipulam as figuras (527 a) e proclamam a ruptura entre a imobilidade do objeto matemático e a ordem do que nasce e perece." [81]

Seguindo a indicação de Ricoeur, a crítica de Platão à geometria pragmática, isto é, a crítica de Platão dirigida à parte do raciocínio geométrico responsável pela construção, manipulação das figuras, e das consequências lógico-matemáticas estabelecidas a partir da construção dessas figuras, a crítica assenta no *modus operandi* dessas construções geométricas, no sentido de que essas construções de figuras tateiam de modo impreciso

[78] *Ibidem*, p. 40.
[79] *Ibidem*, p. 40. [As inserções entre colchetes são de nossa autoria]
[80] *Ibidem*, p. 40.
[81] *Ibidem*, p. 41.

segundo intuições fortuitas, podendo inclusive incorrer em erros de raciocínio. Este procedimento construtivo não representaria a parte imóvel do objeto matemático defendido ao longo das obras de Platão, como vimos na discussão do primeiro item destas breves considerações.

Deste modo, segundo Ricoeur, o conhecimento matemático, no que tange ao âmbito da geometria, estaria dividido em dois momentos: um momento que Ricoeur denomina de momento da construção, ou seja, *momento relacionado à construção das figuras* ou das operações decorrentes dessas construções, momento criticado por Platão nas passagens concernentes à alegoria da linha e outras passagens um pouco mais adiante, já no curso do capítulo VII de *A República* (por exemplo, a passagem 527 a, acima citada), e outro momento, designado por Ricoeur de *momento da verdade*, este sim o único momento verdadeiro do conhecimento matemático-geométrico, seria a parte da geometria vinculada à imobilidade do objeto matemático, ou como diz o próprio Platão, "a geometria [verdadeira] é o conhecimento do que é sempre".

O momento da verdade na geometria diz respeito ao momento que se segue ao momento das construções, ou seja, é o momento de encontro da solução definitiva do problema geométrico, portanto diz respeito às conclusões definitivas, estabelecidas pelo geômetra, após as tentativas erráticas referentes às construções das figuras. Após superar a etapa de tentativa-erro pelas construções, o geômetra obtém a solução definitiva do problema ao qual estava envolvido.

É por sobre este segundo momento do conhecimento geométrico, ou seja, o momento da verdade, aspecto de proximidade do conhecimento geométrico "com o que é sempre", que repousa a valia desse conhecimento para a formação do magistrado-filósofo que governará a cidade, e é exatamente neste ponto que Ricoeur arremata a sua conclusão sobre a primeira crítica de Platão ao conhecimento matemático: "Assim as figuras, em sua textura sensível, e no movimento de construção que nasce e morre, aderem à matemática no momento da procura, mesmo que seja possível excluí-las do momento da verdade, que é um momento de 'visão imóvel'."[82]

Diante destas considerações em relação à primeira crítica do conhecimento matemático, crítica endereçada por Platão ao momento da construção das figuras geométricas,

[82] *Ibidem*, p. 42.

podemos parcialmente concluir que o conhecimento matemático (*dianoética*), mesmo estando posicionado no lado inteligível da alegoria da linha, constitui-se num intermediário para alcançar o conhecimento verdadeiro (*dialética*). Vejamos a segunda e última crítica de Platão ao conhecimento matemático.

A segunda crítica que Platão direciona ao conhecimento matemático na República, segundo Ricoeur, mais precisamente ligada ao fato da matemática não examinar os seus pressupostos e partir hipóteses não justificadas, o que na linguagem de Platão significa dizer que "a matemática é obrigada a partir de hipóteses, dirigindo-se não para o princípio e sim para a conclusão". Segundo Ricoeur, "apenas a dialética vai da hipótese para a *arkhé*", fato que caracteriza o raciocínio matemático como hipotético-dedutivo que parte, segundo Platão de "coisas conhecidas" e "passando por todas as etapas, eles acabam chegando consequentemente à demonstração que haviam decidido procurar".[83]

Para Ricoeur o sentido desta segunda crítica de Platão ao conhecimento matemático só é alcançada quando a relacionamos com o postulado metafísico da *Ideia* de Bem, ou seja, somente se deslocarmos a questão para o plano metafísico, situando essa segunda crítica com as considerações anteriormente apresentadas no item dois destas breves considerações. Segundo Ricoeur, "o que é reprovado no método matemático não tem sentido fora da perspectiva do Bem, apresentada na alegoria do *Bem-Sol*; isso [a crítica ao método matemático] não tem sentido puramente metodológico, mas essencialmente metafísico: [o raciocínio matemático encontra o seu limite em] 'não apresentar a razão' das hipóteses consideradas como 'evidentes' (*phanerés*)."[84]

Qual o significado desta segunda crítica de Platão ao conhecimento matemático com questões metafísicas? Novamente aqui cabe alusão, segundo Ricoeur, ao ponto de chegada do largo projeto metafísico do pensamento de Platão que desemboca na *República*, ou seja, é necessário reconhecer aqui que a crítica ao conhecimento matemático estabelecido na *República* tem como suporte o pano de fundo metafísico que perpassa todo o projeto político tardio de Platão. O plano metafísico de *A República* assumiu, como vimos anteriormente, a tarefa de estabelecer a *forma política justa para a cidade*, e a *formação pedagógica* apropriada para a tarefa de dimensão magnânima de educar o futuro magistrado-filósofo. Neste sentido é imprescindível, para Platão, buscar um pressuposto ineliminável que perpasse

[83] Cf. PLATÃO, *A República*. Lisboa: Editora Calouste Gulbenkian, 1996, (510 c-d).
[84] Cf. RICOEUR, Paul. *Ser, Essência e Substância em Platão e Aristóteles*. São Paulo: Martins Fontes, 2014. p. 44.

o conjunto de todas as *Ideias* e se constitua a partir de si mesmo como referência última para a ordem da vida humana.

Por estas motivações metafísicas, acima expostas, a matemática não alcançaria o nível metafísico do conhecimento dialético, conhecimento que busca explicitar seus pressupostos e examinar o próprio movimento ascendente em direção às "últimas realidades". Neste sentido, nos diz Ricoeur, "os seres matemáticos são seres por suposição que de certo modo se fecham em sua própria evidência, hipóteses não críticas e que assim rompem o movimento ascendente, visto que [os seres matemáticos] propõem apenas o movimento descendente rumo ao teorema a demonstrar ou ao problema a resolver, aqui [em *A República*] chamados de termo."[85]

Baseado nas argumentações até aqui apresentadas, Ricoeur encaminha duas conclusões que, segundo ele, são capazes de elucidar a pergunta inicialmente lançada como fio condutor da exposição ora em curso: em que sentido a matemática é um intermediário? Em primeiro lugar, nos diz Ricoeur, pelo fato de Platão postular na *República* a prevalência das relações axiológico-metafísicas da *Ideia* de Bem por sobre as relações "simplesmente lógicas do raciocínio matemático". Esta primeira conclusão pode ser ainda confirmada, segundo Ricoeur, "pelo confronto com a alegoria da caverna que coloca a ênfase ética e ascética na '*anábase*' [fundamento] da verdade".[86] Em segundo lugar, nos diz Ricoeur, "não há razão para concluir que os objetos matemáticos como tais sejam intermediários, como diz *Aristóteles* (*Metafísica*, 987 b 20)", pois "a [alegoria da] linha não é divisão em função dos objetos, e sim dos conhecimentos". [87] Por conseguinte, finaliza Ricoeur, "As ideias da *diánoia* são matemáticas porque recorrem a imagens e a hipóteses que freiam o movimento ascendente e o acesso a relações de conveniência e de optimum; as ideias éticas tem o privilégio não de maior determinação própria, e sim de relação mais transparente com o princípio supremo." [88]

---

[85] *Ibidem*, p. 44. [As passagens entre colchetes são de nossa autoria]
[86] Cf. RICOEUR, Paul. *Ser, Essência e Substância em Platão e Aristóteles*. São Paulo: Martins Fontes, 2014. p. 44.
[87] *Ibidem*, p. 44.
[88] *Ibidem*, p. 44.

2.4 A matriz materialista aristotélica da noção de objetividade a partir da ideia de *substância* nas *Categorias*

A obra *Categorias* de Aristóteles reúne um aparato reflexivo em torno de dez noções nucleares, consideradas por Aristóteles como expressões máximas, por excelência, para a elaboração de uma teoria capaz de apresentar uma primeira compreensão de um dos problemas mais sofisticados e complexos herdados do legado de Platão, quer seja, investigar qual a natureza das coisas que compõe o mundo que nos circunda, e isto significa, como nos apresenta Aristóteles nas *Categorias*, pensar as relações entre as coisas ou objetos do mundo e a sua expressão linguística, ou de outro modo, pensar as relações entre ser e linguagem, ou ainda, as relações entre ser e lógica.[89]

As categorias consistem, para Aristóteles, as referências basilares ou os elementos estruturadores de nossa construção linguística, na tentativa de descrição do mundo em torno do qual estamos inseridos. Por este aporte simultâneo dual de se apresentarem, por um lado, como termos próprios de nossa linguagem gramatical, e por outro, como formas referentes ao existente, tais categorias se traduzem como pilares de nossa concatenação lógico-ontológica do mundo[90]. Em termos enumerativos, as categorias são os elementos constituidores do seguinte conjunto, apontados por Aristóteles em sua obra *Categorias*: substância, qualidade, quantidade, relação, lugar, tempo, posição, ação, afecção (sofrer ação) e posse.

Nosso propósito investigativo aqui consistirá em duas diretrizes distintas: (1) primeiramente procuraremos apresentar algumas considerações preliminares que julgamos pertinentes em torno do sentido do termo "categoria" e do significado mais amplo das reflexões de Aristóteles na sua obra *Categorias*, e por último tentaremos acompanhar, *an passant*, (2) os possíveis intenções que subjazem a análise da substância, no interior da obra

---

[89] É neste sentido que Manfredo Oliveira destaca o cerne do procedimento filosófico que desde suas formas inaugurais na antiguidade grega, sobretudo a partir de Platão, se apresenta como forma de reflexão que pretende pensar as relações entre pensamento, linguagem e realidade. Para Manfredo, "Pensamento, linguagem e realidade e suas relações constituíram, desde o nascimento da reflexão filosófica, o centro das considerações, o que se vai mostrar com toda clareza no pensamento de Hegel." Oliveira complementa ainda que este impulso metafísico grego de apreciar as relações entre o mundo, a linguagem e o pensamento, mantém, com suas variantes, forte marcação nos rumos subsequentes da filosofia, atingindo o projeto metafísico moderno. Segundo Manfredo "Para Hegel, um mérito fundamental da metafísica moderna, como ela se articulou a partir de Descartes, consistiu em ter feito de pensamento o princípio universal da filosofia, o que significa afirmar que tudo recebe sua validade através do pensamento, portanto, que o pensamento é a instância de validade enquanto tal, que ele está na base de tudo." Cf. OLIVEIRA, Manfredo de Araújo. *Filosofia: lógica e realidade*. (Mimeo). Fortaleza, 2006. p. 1.

[90] Esta compreensão do significado lógico-ontológico das *Categoria*s de Aristóteles como um primeiro esforço de construção de uma ontologia regional do sensível, se alinha ao perfil que será assumido logo adiante na discussão das considerações preliminares.

Categorias, bem como examinar o modo pelo qual o Estagirita tece internamente alguns aspectos analíticos mais, relevantes da substância no próprio texto *Categorias*.

Algumas questões preliminares nos parecem justificar uma apreciação externa, mesmo não exaustiva, das *Categorias* de Aristóteles: 1) Qual a posição desta obra no interior do conjunto da obra de Aristóteles? 2) Qual o significado ali referido do termo "categoria"? 3) Qual o significado mais amplo desta obra? Essas questões referidas, embora aparentemente distintas, acabam por se entrelaçar na busca de referenciais capazes de elucidar um sentido mais amplo do texto de Aristóteles. Para nos situarmos diante da amplitude de problemas que essas questões reúnem, buscaremos o reforço de estudos inclinados ao seu enfrentamento.

Marco Zingano se refere a essas questões supra-referidas num artigo dedicado à compreensão das *Categorias* de Aristóteles, iniciando suas considerações pela indagação da posição das *Categorias* no interior do *corpus aristotelicum*[91]. Para Zingano, a posição privilegiada escolhida por Andrônico na disposição das obras de Aristóteles no interior do *corpus*, conferindo-lhe o lugar frontispício de primeira obra, conferiu às *Categorias*, através dos tempos, uma espécie de leitura introdutória obrigatória, fato que corroborou para a disseminação de certa aura em torno da obra. Segundo Zingano,

> O tratado das Categorias tem uma posição ímpar na transmissão das obras de Aristóteles, assim como na interpretação de seu pensamento. Na famosa edição de Andrônico, que serve ainda hoje de base à ordem dos tratados no *corpus aristotelicum*, o tratado figurava no início do *Organon*, dando início, deste modo, às obras de Aristóteles. A sua posição, bem como o título respondem já a uma certa interpretação, o que certamente pode ser discutido; porém, o fato é que, posto nesta posição privilegiada, o tratado ganhou especial destaque na leitura de Aristóteles já pelo simples fato de quem quer que quisesse ler as obras de Aristóteles era por isso mesmo fortemente convidado a começar pelo começo – neste caso, pelo nosso tratado das *Categorias*. [92]

Esta posição de destaque no interior do *corpus aristotelicum*, como obra inaugural deste conjunto, chamou a atenção precoce dos estudiosos antigos para o significado do termo categoria, bem como para o sentido mais amplo da própria obra. Segundo Zingano, Porfírio, seguindo uma orientação de Plotino, esboçou um dos primeiros ensaios de compreensão do sentido das *Categorias*, impostando ao texto um viés ontológico, considerando-o como base

---

[91] ZINGANO, Marco. *As categorias de Aristóteles e a doutrina dos traços do ser*. In: Revista Dois Pontos. Curitiba: Editora UFPR, 2013.
[92] *Ibidem*, p. 225.

para o estudo do ser das substâncias sensíveis, uma espécie de estudo prévio, e que deveria ser seguido pelo estudo dos gêneros supremos de Platão. É neste sentido, nos diz Zingano, que

> Porfírio segue a lição plotiniana, que via na análise aristotélica das categorias (realizada neste tratado) a base do estudo a ser feito a respeito do ser das substâncias sensíveis, ele próprio um estudo prévio que deveria ser seguido pelo estudo dos cinco grandes gêneros platônicos aplicados ao inteligível, perfazendo assim as etapas necessárias para o estudo do ser. [93]

Outro aspecto provocativo das *Categorias* foi delineado em torno do significado do próprio termo. O que seriam as categorias (κατηγορία)? Qual o sentido que o termo "categoria" assume no texto homônimo de Aristóteles? De acordo com Marco Zingano, a moderna filologia alemã do século XIX conferiu ao termo filosófico κατηγορία utilizado por Aristóteles o sentido de predicação, aproximando-o do uso corriqueiro de κατηγορεῖ que significava acusar, atribuir, imputar. Deste modo, a expressão σχήματα τῆς κατηγορίας de Aristóteles poderia ser traduzida, seguindo esta orientação filológica como *figuras de predicação*, o que impõe às categorias o campo semântico de atributos, qualificações, o que de fato se mostrou mais hegemônico nas tradições ulteriores. Sobre isto nos diz Zingano:

> O tratado das Categorias, porém, não deixou de provocar discussões e controvérsias. Uma delas diz já respeito àquilo a que se refere o título – tomando por título da obra o que nos foi tradicionalmente legado, a saber, Categorias. A discussão pode ser rastreada já na Antiguidade (quando se desenvolve em torno do título da obra e do sentido a atribuir a κατηγορία), mas ganhou maior impacto no grande momento da filologia moderna alemã. No século XIX, Adolph Trendelenburg sustentou que κατηγηρία tinha o sentido básico de predicado, ou melhor: predicação. Na expressão aristotélica σχήματα τῆς κατηγορίας, cuja tradução mais adequada seria figuras da predicação, nosso termo categoria se refere antes a σχήμα ou figura, e não propriamente a κατηγορία, que é vertido mais precisamente por predicação. [94]

O termo categoria, assumido nesta escolha terminológica da moderna filologia alemã mais próxima de σχήμα ou figura, conferia um sentido próximo da estrutura sintática da língua, como predicativo, e não, como κατηγορία ou categoria. A viragem se dará

[93] *Ibidem*, p. 226.
[94] *Ibidem*, p. 226.

posteriormente quando Hermann Bonnitz sustentou uma impostação mais ontológica ao termo κατηγορία distanciando-o do sentido que designa σχήμα ou figura, o que conferia um sentido próximo da estrutura sintática da língua, como predicativo, e aproximando-o de um sentido ontológico, uma designação dos modos pelos quais nos referimos ao ser. É deste modo que as categorias passam do status de figuras predicativas para gêneros supremos do ser. A este respeito nos diz Zingano:

> Em contraste, Hermann Bonitz sustentou que o termo κατηγορία designava antes os diferentes modos – tomados em sua máxima generalidade – pelos quais asserimos o ser. Bonitz procurava enfraquecer a ligação com a noção sintática de predicado, fortalecendo, ao contrário, a associação com a noção de gêneros supremos do ser. Neste sentido, ele nega que a tábua de categorias derive de relações sintáticas ou gramaticais, como se refletissem as estruturas básicas da predicação; as categorias são antes os conceitos supremos que são designados pelo nome comum de ser, τὸ ὄν, e por isso designam mais propriamente 'os gêneros supremos do ser'. [95]

Esta sugestão de Bonitz com impostação mais ontológica do que sintática, assumindo para o termo κατηγορία o sentido de gêneros supremos do ser, será acatada nesta nossa rápida incursão ao tratado de Aristóteles.[96] Isto significa assumir uma série de problemas, além, evidentemente de procurarmos apontar as razões de declinarmos ante esta impostação ontológica. Eis o que nos propomos doravante.

Tecidas estas considerações preliminares, passaremos a nos deter na análise da substância no interior da obra *Categorias* de Aristóteles, presente principalmente no capítulo cinco desta obra. Podemos *prima face*, estabelecer uma divisão interna tripartite das *Categorias* visando destacar o tratamento da categoria substância: inicialmente a obra apresenta três capítulos iniciais, considerados pré-*predicamenta*, onde Aristóteles não discute a substância, mas estabelece algumas distinções entre os modos designativos dos termos linguísticos; na sequência temos a parte que nos interessa diretamente, considerada

---

[95] *Ibidem*, p. 227. Em termos ilustrativos poderíamos complementar, seguindo Zingano, que esta posição de Bonitz se torna notabilizada pelas mãos de Brentano: "Franz Brentano, em sua tese doutoral sobre os diversos sentidos do ser em Aristóteles, adotou a posição de Bonitz.12 É esta também a posição que Eduard Zeller assumiu em sua muita influente obra *Die Philosophie der Griechen in ihrer geschichtlichen Entwicklung*, que marcará gerações de leitores desde sua primeira edição em 1844, aumentada e corrigida em sucessivas edições e traduzida para diversas línguas." Cf. ZINGANO, Marco. *As categorias de Aristóteles e a doutrina dos traços do ser*. In: Revista Dois Pontos. Curitiba: Editora UFPR, 2013, p. 227.

[96] Veremos na sequência, ao discutirmos brevemente a gênese do percurso de Aristóteles em relação ao amadurecimento do seu projeto metafísico, que esta tese de Porfírio, que assume uma impostação mais ontológica das *Categorias*, acatada posteriormente por Boritz, encontrará, de certo modo, ressonância na tese de G. L. Owen quando afirma o projeto metafísico de Aristóteles como movimento de afastamento paulatino da teoria das formas de Platão nas *Categorias*, com posterior retorno à influência do mestre na *Metafísica*.

predicamenta, onde é apresentada pela primeira vez a lista com as dez categorias, cuja parte central é o capítulo quinto, onde Aristóteles discute a substância, e por último o pós-*predicamenta* reunindo os capítulos dez á quinze, com temáticas alheias à discussão da substância.

O capítulo primeiro que inaugura as *Categorias* traz uma distinção tripartite entre (1) objeto particular ou coisa, ou o "isto", (2) nome (do objeto particular ou da coisa), e definição do ser que corresponde ao objeto particular. Esta abertura abrupta das *Categorias*, desconsiderando qualquer explicação prévia que situe o interlocutor/leitor diante do texto e o esclareça quanto às motivações e intenções do autor, trouxe certo desconforto e desconfiança dos especialistas quanto à autenticidade e ao significado do texto aristotélico, criando dificuldades adicionais quanto ao seu desvelamento.

Antes de levar adiante as considerações da analítica intrínseca ao texto, poderemos levantar uma questão que julgamos pertinente: por que Aristóteles iniciaria um texto estabelecendo a distinção entre palavras homônimas, sinônimas e parônimas? Uma resposta possível remete a discussão interna presente nas *Categorias* para uma breve referência à gênese do percurso de Aristóteles em relação ao amadurecimento do seu projeto metafísico. Neste sentido devemos considerar os dois modos como o projeto filosófico de Aristóteles foi considerado pelas principais linhas interpretativas do seu legado: de um lado a tese de Werner Jaeger, formulada no início do século XX, e endossado por *Sir* David Ross, que defende a compreensão da obra de Aristóteles como um movimento de afastamento gradativo de Platão até a elaboração de um sistema próprio e independente das tessituras do mestre; de outro lado encontra-se G. E. L. Owen, cuja tese contrária defende a existência de um movimento inicial de crítica à teoria das formas de Platão, direcionando um posterior movimento de paulatina reapropriação do platonismo, movimento cujo ponto de chegada seria exatamente a teoria da substância na obra tardia *Metafísica*.[97]

---

[97] A este respeito nos diz Gabriel Xeller: "O desenvolvimento do pensamento de Aristóteles foi tema de sérias discussões entre famosos intérpretes da obra do Estagirita. A origem desse debate no século XX parece ter se dado com Werner Jaeger que, na tentativa de encontrar a gênese do desenvolvimento intelectual do filósofo grego, defendeu a leitura de que, em linhas gerais, o pensamento de Aristóteles emergiu gradualmente de um platonismo em direção a um sistema próprio. Esse parecer de Jaeger foi endossado por Sir David Ross e Thomas Case, tornando-se uma visão amplamente difundida. Contudo, G. E. L. Owen publicou em 1966 "O Platonismo de Aristóteles", no qual mostrou que o termo 'platonismo' está envolto em certa ambiguidade e que tanto Jaeger, quanto Case fizeram suas buscas em direções erradas, sem se atentarem para questões importantes como: o progresso e conquistas filosóficas de Platão e determinar quais tipos de concordância com seu mestre eram relevantes para Aristóteles, de modo que defendeu a tese contrária, isto é, de que o pensamento do Estagirita se iniciou com um rompimento com a doutrina de seu mestre e gradualmente fez um movimento de certo retorno ao platonismo." Cf. XELLER, G. *O conceito de substância em Aristóteles: Algumas considerações sobre sua*

Este pequeno excurso sobre as teses da gênese do pensamento metafísico aristotélico, notadamente no que diz respeito ao *significado do tratamento da substância* nas *Categorias*, nos permite situar a seguinte hipótese, para posterior averiguação no confronto imanente com a própria obra: se tomarmos como correta a orientação de Owen, de que Aristóteles edificou as bases do seu próprio pensamento em confronto crítico com a teoria das Formas de Platão, então provavelmente o intento primeiramente posto pelo Estagirita foi o marcar posição de afastamento crítico em relação ao mestre, e, para tanto, nada mais indicado do que distinguir radicalmente as *coisas* (sensíveis) existentes nos objetos particulares, dos *nomes* que as designam, e da *definição* do ser que porventura expressem.

A distinção entre coisa, nome e definição do ser, contém, em certo sentido, as linhas mestras de uma nova base ontológica, distinta da transcendência dos Gêneros Supremos de Platão, que Aristóteles já esboça nos seus primeiros ensaios filosóficos. Neste sentido, para Aristóteles, no lugar dos Gêneros Supremos auto-subsistentes e auto-referentes de Platão, postula-se os objetos particulares, as coisas mesmas do mundo natural.

As palavras que designam os objetos devem ser consideradas a partir do ser a que se referem, assim como a definição do ser que corresponde ao nome da coisa. É deste modo que o universo das palavras, levadas à condição de gêneros universais supremos em Platão, deve ser considerada, por Aristóteles, no interior da relação *nome-coisa-definição*. Por conta desta possível guinada onto-referencial de Aristóteles, sugerida a pouco, acreditamos ser correto desconsiderar a escolha terminológica de κατηγορία como próxima de σχήμα ou figura, conferindo um sentido próximo da estrutura sintática da língua, e assumir uma impostação mais ontológica ao termo, quando designa os modos pelos quais nos referimos ao ser. Conforme mencionamos a pouco, esta sugestão de Bonitz com impostação mais ontológica do que sintática, permitiu considerar as *Categorias* como o lugar seminal dos primeiros ensaios metafísicos de Aristóteles, no sentido da gestação de uma ontologia do sensível.

Esta ontologia do sensível se apresenta imediatamente sugerida, embora de modo não explícito, nas *Categorias* quando, por exemplo, Aristóteles empreende a apreciação das palavres homônimas. É deste modo que o Estagirita inicia as *Categorias*: "chamam-se homônimas as coisas que só tem o nome em comum, enquanto a definição do ser que corresponde ao nome é diferente." [98] Aqui é possível perceber a distinção tripartite que nos

---

origem a partir da crítica à doutrina das Ideias de Platão e do dilema entre os sentidos de universal e individual. Dissertação de Mestrado. (Mimeo). Florianópolis: UFSC, 2013. p. 17 e 18.

[98] ARISTÓTELES. *Categorias*. Trad. de Ricardo Santos. p. 37.

referimos acima, entre coisa, nome e definição do ser (a que a coisa se refere). O mesmo se dá na definição das palavras sinônimas como sendo "as coisas que tem o nome comum e em que a definição do ser que corresponde ao nome é a mesma." [99] Aristóteles parece apontar, logo no início do texto, para a tripla existência simultânea da **coisa** ou **objeto**, do **nome** que a designa, e da **definição do ser** que se constitui a coisa. Logo na sequência, no início do capítulo dois, Aristóteles ingressa naquilo que consideramos um dos problemas mais sofisticados e complexos de uma ruptura do legado de Platão, caso se deseje postular uma ontologia do sensível, e assim se afastar da teoria dos Gêneros Supremos do velho mestre: como evitar as formas universais de Platão? Este desafio assume no interior das *Categorias* o problema da unidade (de um objeto ou de uma sentença) e de suas partes constituidoras.

A questão se traduz para Aristóteles nos seguintes termos: "Das expressões, umas são ditas por combinação, e outras são-no sem combinação. As que são ditas por combinação são, por exemplo, 'o homem corre', 'o homem vence'; as que são sem combinação são 'homem', 'boi', 'corre', 'vence'." [100] Avancemos um pouco mais no texto de Aristóteles para examinar esta temática dos universais transposta aqui nas feições da questão do um e de suas partes internas, ou do corpo e seus atributos. Logo na continuidade da passagem recém-transcrita, Aristóteles introduz diretamente o tema da existência quando afirma:

> Das coisas que existem (1) umas são ditas de algum sujeito, mas não existem em nenhum sujeito. Por exemplo, homem é dito de um sujeito, a saber, de um certo homem, mas não existe em nenhum sujeito. (2) Outras existem num sujeito, mas não são ditas de nenhum sujeito (com 'num sujeito' quero dizer aquilo que existe em alguma coisa *não como sua parte*, e que *não pode existir separadamente daquilo que existe*). [101]

Aqui se entrelaçam dois fundamentais problemas das *Categorias* já anunciados isoladamente: de um lado o existente (enquanto sensível particular) como pressuposto ontológico desta metafísica em gestação de Aristóteles, e de outro o problema do existente enquanto unidade e a relação do existente ou a coisa particular sensível com suas partes constituidoras. Na nossa apreciação a diretriz central de Aristóteles é estabelecer o existente ou a coisa particular como parâmetro nuclear na compreensão do mundo natural que o circunda, e a partir desse existente investigar de que modo se dá a sua relação com os seus

[99] *Ibidem*, p. 37.
[100] *Ibidem*, p. 38.
[101] *Ibidem*, p. 38.

atributos, tanto no plano ontológico como no plano da linguagem.[102] Voltaremos oportunamente a esses problemas em nossa apreciação conclusiva das categorias. Por hora podemos afirmar que aqui se trata da relação entre o existente e suas partes e daquilo que é dito pela linguagem desse existente. É neste sentido que se entende a passagem acima transcrita onde o Estagirita afirma "das *coisas que existem* umas são *ditas* de *algum sujeito*..." enquanto que "outras *existem num sujeito*, mas não são *ditas* de nenhum sujeito...".[103] Aristóteles parece estar esclarecendo de antemão as possíveis combinações entre "coisa" (ou sujeito particular) e "linguagem", com o olhar direcionado em estabelecer uma base sensível para os gêneros supremos.

É por conta deste cuidado em esclarecer as relações entre coisa, dizer, e definição e as combinações possíveis desta tríade nas expressões linguísticas ou sentenças, que Aristóteles avança no capítulo três para a questão da relação ontológica das predicações e sua formatação lógica, isto é o caráter *ontológico da transitividade*, último estágio antes do tratamento específico das categorias. A predicação, segundo Aristóteles, é a reunião de um procedimento que arranca qualidades de um sujeito particular, um traço comum, o gênero, e estabelece uma ligação, isto é, uma transitividade entre a qualidade que se afirmou e o sujeito ou coisa de onde essa qualidade se origina. Sobre isto nos diz Aristóteles:

> Sempre que uma coisa se predica de outra, como de um sujeito, todas as coisas que são ditas daquilo que é predicado serão também ditas do sujeito. Por exemplo, homem predica-se de um certo homem, e animal predica-se de homem, e , por isso, animal predicar-se-á de um certo homem. [104]

Os três capítulos iniciais das *Categorias* contém, portanto, os contornos iniciais de uma consideração ontológica das relações entre as coisas ou sujeitos e a forma de designá-los pela linguagem. A questão de fundo em que repousa tais apontamentos nos parece, como enfatizamos a pouco, herdada da teoria dos Gêneros Supremos de Platão e da incapacidade

---

[102] O problema da relação entre o existente, da coisa sensível ou do *Isto* (um certo cavalo, um certo homem) e de seus atributos (cavalo branco, homem bom) é a forma assumida nas *Categorias* do problema dos universais ou dos Gêneros Supremos de Platão. Portanto, o problema dos universais em Platão assume a forma do problema entre o indivíduo e suas partes. Procuraremos explicitar ao longo da exposição que enquanto Platão separa os atributos (partes do objeto particular) da unidade, e toma-os como realidades independentes (o "branco em-si", a "bondade em-si", etc.), Aristóteles não aceita esta separação, e o ponto de partida para isto será considerar o indivíduo em sua unidade indissociável, e seus atributos como categorias que se referem à substância. Cf. ARISTÓTELES. *Metafísica*, Livro VII, cap.1.

[103] *Ibidem*, p. 38. (grifo nosso).

[104] *Ibidem*, p. 38. Poderíamos aqui aludir a esta conclusão ontológica da transitividade na sua formatação lógica, a partir do seguinte silogismo: Pedro é homem – homem é animal – Pedro é animal. Notemos aqui que a predicação animal foi transferida à Pedro pelo princípio da transitividade ontológica, base ontológica do silogismo lógico de Aristóteles, já que asseguramos que todo homem é animal.

desses gêneros em enfrentar o problema da relação da unidade com suas partes internas.[105] Quais seriam os limites da abordagem de Platão que motivaria em Aristóteles o ensaio de uma ruptura nas *Categorias*? Atentemos um pouco mais para este aspecto, pois nos será precioso na discussão da substância logo a seguir.

Se dissermos, por exemplo, que Pedro é um homem branco (no sentido de também poderíamos afirmar que Pedro é um homem negro), qual a relação última entre Pedro e o branco? O branco é o traço distintivo mais fundamental de Pedro? O que é o branco de Pedro? O branco pode existir sem Pedro como uma coisa?

Para encaminhar uma saída para este conjunto de problemáticas, Aristóteles precisou redefinir com mais rigor o lugar ocupado pelos objetos sensíveis particulares e os gêneros supremos que os caracterizam, numa espécie de alternativa ao modo de consideração de Platão. O caminho da ruptura com Platão a ser trilhado por Aristóteles aparece inicialmente nas *Categorias*, de acordo com as análises até aqui apresentadas, onde Aristóteles parece inclinar-se ao particular-sensível, e atinge um ápice exatamente nos capítulos quatro e cinco deste mesmo texto, quando Aristóteles enumera as dez categorias e dispõe a forma de referência recíproca que as categorias apresentam entre si, destacando o papel central da substância no interior do conjunto das dez categorias.[106] Vejamos o modo como isto ocorre.

No início do capítulo quatro das *Categorias* Aristóteles enumera o conjunto das dez categorias, incluindo nesse conjunto a substância. Aristóteles tem o cuidado de apontar imediatamente o caráter *sui generis* que cada categoria possui, no sentido de que são expressões que não possuem qualquer combinação, portanto não podem ser tomadas isoladamente para a construção de uma sentença lógica. Cada uma das categorias é, em certa

---

[105] Ver nota 16.

[106] A dissertação de Mestrado de Xavier, já referida anteriormente, traz como título e subtítulo "O conceito de Substância: algumas considerações sobre sua origem a partir da crítica da doutrina das Idéias de Platão e o dilema entre os sentidos do universal e do individual." Ao se referir à gênese da construção do conceito de substância nas *Categorias*, Xavier faz o seguinte comentário: "A posição de Owen é extremamente elegante e atraente, segundo ele, Aristóteles entrou na Academia aos dezessete anos e lá permaneceu por vinte anos, até a morte de seu mestre. Neste período Platão já havia elaborado sua doutrina das Ideias e estaria mais centrado em problemas de método e lógica, isso é expresso em diálogos como: *Teeteto*, *Parmênides*, *Sofista*, o *Político*, e o *Filebo*. Esses diálogos refletem o período em que a lógica nasceu na Academia, e o impulso que tanto Espeusipo quanto Aristóteles assumiram em suas investigações. Para Owen, é nesse período que se deve concentrar aquele que procura caracterizar a fase inicial de desenvolvimento do pensamento do Estagirita. É nesse período que é possível perceber o movimento crítico que se erguia na Academia com o amadurecimento da lógica e os consequentes problemas que começaram a ser evidenciados na doutrina metafísica platônica. Essa é a fase inicial do pensamento de Aristóteles, fortemente marcada por um movimento crítico com relação à teoria das Formas de Platão e influenciado pelo desenvolvimento do pensamento lógico na Academia. Com tal pano de fundo é que o Estagirita cria sua teoria das categorias e uma primeira abordagem da noção de substância como resposta a problemas encontrados no interior da teoria das Ideias de seu mestre e que a inviabilizariam." Cf. XAVIER, G. *O conceito de substância: algumas considerações sobre sua origem a partir da crítica da doutrina das Idéias de Platão e o dilema entre os sentidos do universal e do individual*. Dissertação de Mestrado. (Mimeo). Florianópolis, UFSC, 2013. p. 18.

medida, uma predicação generalíssima (não no sentido de gênero supremo, como em Platão) por indicar um dos modos possíveis pelos quais o ente sensível pode se apresentar, tanto isoladamente, quanto tomado em sua relação com outro objeto. Por exemplo, podemos observar a categoria quantidade, que pode significar infinitas situações de enumeração de um objeto particular, ou em sua relação com outros objetos particulares (uma maçã, ou uma maçã e duas peras, etc.). Acompanhemos como Aristóteles faz este anúncio enumerativo das categorias:

> Das expressões que são ditas sem qualquer combinação, cada uma significa ou uma substância, ou uma quantidade, ou uma qualificação, ou um relativo, ou onde, ou quando, ou estar numa posição, ou ter, ou fazer, ou ser afetado. Para dar apenas uma ideia, uma substância é, por exemplo: 'homem', 'cavalo'; uma quantidade: 'de dois côvados', de três côvados'...[107]

Se acompanharmos os exemplos ilustrativos acima dados por Aristóteles, cada um referido à categoria correspondente, os exemplos de substância são os substantivos (próprios ou comuns), ou seja, são as coisas ou objetos particulares, ou um conjunto maior de coisas particulares: substância pode designar este homem ou os homens em geral. Para esclarecer qual destes dois casos (o particular ou o geral) é mais indicado para designar a substância, Aristóteles esclarece, no início do capítulo cinco esta questão:

> Aquilo a que chamamos substância de modo mais próprio, primeiro, e principal é aquilo que nem é dito de um sujeito, nem existe em algum sujeito, como, por exemplo, um certo homem, ou um certo cavalo. Chamam-se substâncias segundas as espécies a que as coisas primeiramente chamadas substâncias pertencem e também os gêneros dessas espécies. [108]

Observemos com cuidado o seguinte aspecto da passagem acima transcrita: o modo próprio, primeiro e principal da substância é o ente sensível, particular, como *um certo homem*, ou *um certo cavalo*. Podemos inferir daí, embora não expresso diretamente desta forma pelo autor, que o modo *impróprio*, *segundo* e *secundário* da substância, ou seja, a espécie e o gênero são as substâncias segundas. Esta passagem se constitui numa das referências mais significativas das *Categorias*, se considerarmos esta obra de Aristóteles pela ótica de um ensaio de uma nova ontologia, ou de uma ontologia que pretende se desvencilhar do legado de Platão.

---

[107] Cf. ARISTÓTELES. *Categorias*, p. 39.
[108] *Ibidem*, p. 39.

Voltemos a um problema instigante das *Categorias*. Dissemos a pouco que uma das questões de fundo em que repousa as *Categorias*, é a tensão que se estabelece a partir de Platão em compreender a relação entre o indivíduo e seus predicados, ou, dito de outro modo, a incapacidade dos Gêneros Supremos de Platão em enfrentar o problema da relação da unidade com suas partes internas. Esta passagem recém-transcrita acrescenta um argumento, aos até aqui discutidos, para a elucidação desse problema, e sua novidade consiste em estabelecer duas frentes: por um lado, corrobora a força do particular-sensível como centralidade da categoria substância, seu sentido mais próprio, primeiro e principal; por outro lado, toma a noção de espécie e gênero como sentido segundo da substância. A questão que não está explícita aqui é "o que são espécies e gêneros?" Pelo menos duas respostas são possíveis: se seguirmos Platão, gênero e espécie são formas do Gênero Supremo, são exemplos de formas puras ou Ideias, seguindo Platão essas Ideias se antepõem diante do objeto particular determinando-o, ou seja, preexistindo ao objeto particular como forma pura supra-sensível; se nos afastarmos de Platão (como o faz Aristóteles) poderíamos considerar gênero e espécie não como Gêneros Supremos, mas como *predicações do sujeito*, ou seja, extensões de características comuns presentes nos objetos, nas coisas mesmas.

Temos aqui o seguinte divisor de águas: a substância (enquanto ente sensível, coisa particular) é o sentido primeiro, próprio e principal, enquanto que a espécie e o gênero são substâncias segundas, predicações amplíssimas que se estabelecem das coisas, formas de designação generalíssimas. É neste sentido que Aristóteles complementa estas informações:

> É evidente, pelo que foi dito antes, que o nome e a definição das coisas que são ditas de um sujeito *se predicam necessariamente do sujeito*. Por exemplo, homem é dito de um sujeito, a saber, de um certo homem, e é claro que o nome [HOMEM] se predica [DE UM CERTO HOMEM](pois predicarás 'homem' de um certo homem); e a definição de homem predicar-se-á de um certo homem (pois um certo homem é também um homem). De modo que tanto o nome como a definição predicar-se-ão do sujeito. [109]

Antes de avançarmos em direção ao problema da relação entre a coisa particular e suas partes, precisamos esclarecer, acompanhando os argumentos de Aristóteles nas *Categorias*, a seguinte questão: o que difere o gênero e a espécie, enquanto substâncias segundas, das demais predicações estabelecidas a partir do sujeito particular, tanto as predicações mais banais (como branco, negro, etc.), quanto as mais sofisticadas (as próprias categorias)? Para o Estagirita,

---

[109] *Ibidem*, p. 40. (grifo nosso).

> É com razão que, além das substâncias primeiras, as espécies e os gêneros são as únicas outras coisas que são chamadas segundas, posto que "elas são as únicas entre as outras que se predicam, que revelam a substância primeira. Pois se tivermos de dizer de um certo homem o que ele é, será mais adequado responder indicando a espécie ou o gênero (e mais informativo fazê-lo como 'homem' do que como 'animal'); mas indicar qualquer das outras coisas será deslocado – por exemplo, dizer 'branco' ou 'corre' ou qualquer dessas coisas. Deste modo, é com razão que estas são as únicas coisas que são chamadas substâncias. [110]

O problema das partes e do todo foi assumido em algumas passagens do nosso percurso analítico como uma das questões fundamentais na tessitura da obra. Esta questão, apesar de não ter sido referida explicitamente por Aristóteles até este momento de nosso exame, parece-nos funcionar como fio condutor na construção da ontologia do sensível nas *Categorias*, por motivos que neste momento da investigação assumem contornos mais claros. Lembremos dois aspectos recém-discutidos: em primeiro lugar estejamos atentos ao fato de Aristóteles ter escolhido como referência máxima de suas análises nas *Categorias*, a noção de substância, e reconheceu ainda o sujeito particular ou coisa sensível ou o isto como o sentido *próprio, primeiro e principal*, portanto o mais legítimo; em segundo lugar, não esqueçamos o fato de que Aristóteles só reconhece os predicativos de espécie e gênero como substâncias segundas, e delega às demais categorias a subsunção dos demais predicados (por exemplo, "branco" está inserido na categoria qualidade, "correr" está inserido na categoria ação, etc.). Como engendrar, a partir do que acompanhamos brevemente do texto de Aristóteles, ilações que permitam unir esses dois aspectos da substância (substância primeira e substância segunda) com o problema das partes e do todo (ou da unidade e suas partes) e o direcionamento ontológico das *Categorias*, reconhecido por alguns estudiosos? [111]

Conclusivamente podemos agora assumir alguns argumentos já delineados e discutidos, toma-los aqui de forma retrospectiva, conferindo-lhes outra disposição discursiva, bem como encaminhar outras sugestões analíticas, cercando-nos do cuidado de indicarem apenas vias interpretativas que ousamos em parte acompanhar (a partir dos estudos referidos) e em parte postular pautado no que apresentamos: 1) se Aristóteles desejava romper com a teoria dos Gêneros Supremos de Platão, e se as *Categorias* se constituem neste esforço de

---

[110] *Ibidem*, p. 41.

[111] Já nos referimos aos estudos de Owen, Bonnitz, Zingano e Xavier que fundamentam parte das posições aqui expressas, apesar de arriscarmos algumas intuições pautadas em apreciações livres, mantendo o texto-objeto como referência. Tais intuições são componentes do processo crítico- interpretativo, e os equívocos, evidentemente, são de nossa responsabilidade.

construção de uma alternativa viável, uma saída possível e razoável seria apostar o indivíduo particular como suprema e inviolável referência de uma compreensão de mundo (ontologia), de uma expressão do mundo (linguagem) de um conhecimento do mundo (epistemologia), e de uma possibilidade de aferição de juízo das sentenças que construímos sobre o mundo (lógica); 2) o grande limite de Platão, para Aristóteles estaria localizado na teoria das Ideias, ou seja, no procedimento analítico de autonomizar as partes de uma unidade ou coisa sensível, separando o objeto de suas partes, e considerando tanto objeto como suas partes constituidoras, bem como suas qualidades, quantidades, etc., portanto, *atributos*, *predicações*, considerando-as como gêneros supremos separados das coisas, entes destituídos da relação ontológica do indivíduo com suas partes; 3) na relação ontológica construída nas *Categorias*, Aristóteles assumiu uma nova solução para o problema do indivíduo e suas partes (atributos ou predicações): no indivíduo particular sensível (a coisa ou o isto) tomado como referência do existente, não é possível quebrar artificialmente o vínculo entre cada ente e seus atributos (não é possível separar um objeto de sua cor, por exemplo), não é possível separar as partes do todo e considerar esta separação simultaneamente como algo lógico e ontológico.

Para encerrar estas diretrizes conclusivas, deixemos o próprio Estagirita conduzir com elegância o ponto central que procuramos destacar nas *Categorias* no que tange o aspecto de uma ontologia do sensível, que faz do *isto* ou a coisa particular o cerne do conceito de substância:

> Todas as substâncias parecem significar um certo *isto*. No que respeita às substâncias primeiras, é incontestavelmente verdade que elas significam um certo *isto*: pois a coisa revelada é individual e numericamente uma. Mas, quanto às substâncias segundas, embora pareça, pela forma como são nomeadas – quando dizemos 'homem' ou 'animal' – que significam um certo isto, isso de fato não é verdade. O que elas significam é antes uma certa qualificação, pois o sujeito não é como uma substância primeira, mas homem e animal são ditos de muitas coisas. No entanto, não significam simplesmente uma certa qualificação como 'branco' o faz. Pois branco não significa nenhuma outra coisa senão a qualificação, enquanto a espécie e o gênero determinam a qualificação da substância – significam uma substância de um certo tipo. [112]

[112] *Ibidem*, p. 42.

Capítulo 3: Aspectos conceituais do contexto histórico-científico do surgimento da física quântica

As discussões até aqui apresentadas procuraram explicitar alguns pressupostos referentes à clarificação do significado e do sentido envolto nas principais categorias que nos serviremos ao longo de nossa pesquisa, assim como os pressupostos histórico-filosóficos referentes às principais matrizes gregas que instauraram o problema da objetividade. Passaremos agora ao último momento que formata nossa investigação dos pressupostos ao problema da objetividade, apresentando agora a discussão do contexto histórico-científico do surgimento da física quântica. Esta referência contextual não pretende buscar um tratamento exaustivo que contemple os amplos aspectos envolvidos na emergência da física quântica no final do século XIX, mas somente aqueles aspectos histórico-conceituais que possibilitam uma compreensão das questões mais próximas aos problemas que discorreremos ao longo de nossas investigações. Neste sentido, não nos deteremos especificamente na interpretação de Heisenberg sobre o início da física quântica – o que será objeto de discussão no início do sexto capítulo – pois o que nos interessa buscar apreender, de um modo superficial e abrangente, é um panorama dos principais nexos conceituais que dizem respeito aos problemas que discutiremos a partir da segunda parte de nossa pesquisa.

Seria possível indicar a característica fundamental da física quântica? Se alguém fosse inquirido a se pronunciar categoricamente diante da pergunta "qual a essência da física quântica?", será que a resposta seria uníssona? O interlocutor que se aventurar no enfrentamento desta indagação se encontra diante de um apanhado de possibilidades verossímeis, todas elas com ampla margem de respaldo diante do vasto manancial de alternativas consistentes. É possível, por exemplo, indicar a presença de quantidades discretas, como os *pacotes de energia* contemplados por Planck, ou pode-se indicar o destacado papel da *probabilidade* que identifica o caráter indeterminista aos fenômenos quânticos. É possível também apontar, como determinação essencial da física quântica, o *princípio da incerteza* de Heisenberg, segundo o qual a posição e o momento de uma partícula (por exemplo, o elétron), não podem ser determinados simultaneamente com precisão absoluta, ou ainda, é possível indicar o novo papel assumido pelo observador, que consiste em não poder ser separado do objeto que está sendo observado.[113]

---

[113] É exatamente com essa inquirição que o professor Osvaldo Pessoa Jr. inicia suas lições no livro que dedica às questões conceituais da física quântica: "Qual é a essência da Física Quântica?" O professor Pessoa Jr. elenca nove modos diferentes de se apontar o traço essencial da física quântica: a) quantidades discretas; b)

Diante das diversas vias caracterizadoras da física quântica, acima referidas apenas algumas destas alternativas, acolheremos a dualidade onda-partícula como a determinação fundamental dos fenômenos quânticos, e fazemos tal escolha com a convicção de que a dualidade onda-partícula, que trataremos nesta pesquisa como o fenômeno quântico por excelência, resguarda o segredo da matéria, no sentido de que seja a indicação de um traço ontológico ineliminável da natureza quântica, como poderemos observar durante as discussões que se seguirão. Trata-se de uma convicção, no entanto, do ponto de vista metodológico-expositivo, vislumbramos, nesta característica desconcertante da natureza, um substrato ontológico capaz de assumir a condição de fio condutor de nossa visada sobre a forma como o problema da objetividade se constitui e se articula no pensamento de Heisenberg. Vejamos a seguir algumas etapas do surgimento da física quântica, etapas mais intimamente relacionadas com o chamado "paradoxo onda-partícula", de modo a subsidiar nossas considerações ulteriores.

3.1 O surgimento da física quântica a partir da hipótese de quantização da energia por Planck: a primazia ontológica da concepção *corpuscular*

É consenso entre os historiadores e estudiosos da teoria quântica que a física quântica surgiu a partir da apresentação de um artigo na Academia de Ciências de Berlim, do físico alemão Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858 –1947), mais conhecido como Max Planck, em 14 de dezembro de mil e novecentos[114], cujo objetivo era elucidar um fenômeno que desafiava a compreensão da comunidade de físicos teóricos e experimentais daquela época, fenômeno conhecido como radiação do corpo negro.[115] O que Max Planck desejava obter a partir de seus

---

probabilidade; c) *princípio da incerteza*; d) observador não separado do objeto; e) paradoxo do "gato de Schrödinger", f) grandezas que não comutam; g) teorema de Bell; h) constante de Planck; i) dualidade onda-partícula. Assim como o professor Osvaldo o fez, nós privilegiamos o caráter dual onda-partícula como a característica fundamental da física quântica, por entender que este aspecto peculiar do universo microfísico resguarda o cerne da questão ontológica que nos interessa nesta investigação, quer seja, o problema da objetividade dos fenômenos quânticos. Cf. PESSOA JR., Osvaldo. *Conceitos de Física Quântica*, vol. I, p.1.

[114] Cf. PLANCK, Max. *On the Law of Distribution of Energy in the Normal Spectrum* ("*Para a teoria da lei de distribuição de energia no espectro normal*"), Annalen der Physik, vol. 4, p. 553 ff (1901).

[115] Segundo Pessoa Jr., "É bem sabido que a física quântica nasceu com a postulação, feita por Max Planck em dezembro de 1900, de que os 'osciladores' de corpos térmicos teriam valores discretos de energia, múltiplos inteiros da grandeza *hv*. O caminho trilhado até essa descoberta passou pelos importantes trabalhos teóricos de Kirchhof, Boltzmann, Wien e Rayleigh, e experimentais de Stefan, Paschen, Lummer e Rubens, entre outros.". Em nota, o professor Osvaldo Pessoa esclarece o uso de alguns termos por ele acima empregado, afirmando que "o termo *v* seria a frequência do oscilador, e *h* o que viria a ser chamado 'constante de Planck' ou 'quantum de ação' ". "Osciladores", diz o professor na sequência, "referiam-se a entidades microscópicas hipotéticas que vibrariam numa certa frequência que seria igual à da radiação emitida pelo corpo." O professor Pessoa Jr. completa a nota acrescentando que "o termo radiação se refere não só à luz, mas também à radiação infravermelha, que esquenta os corpos, e a outros tipos de ondas eletromagnéticas." Cf. PESSOA JR., Osvaldo Pessoa Jr., *O início da física quântica e seus caminhos possíveis*, p.1.

estudos em torno da radiação do corpo negro, era uma equação que permitisse descrever com sucesso os dados experimentais referentes às baixas e às altas frequências[116] de um corpo térmico que emite radiação eletromagnética quando aquecido. [117]

Segundo Nelson Studart, em sete de outubro de 1900, Max Planck recebeu em sua casa uma visita de seu amigo Heinrich Rubens (1895-1922), um físico experimental do Instituto Imperial Físico-Técnico, que lhe relatou seus últimos resultados acerca da radiação do corpo negro, resultados que contrariavam a teoria de Wilhelm Wien, com a qual Planck concordava. Nesta mesma noite, ainda de acordo com Nelson Studart, Planck escreveu um cartão-postal onde havia uma nova fórmula com previsão de dados empíricos para altas e baixas frequências de radiação. Dias depois seu amigo Rubens respondeu que a fórmula enviada por Planck se ajustava perfeitamente aos dados experimentais de que dispunha.

---

[116] O professor Joecir Palandi, retrata desta forma a relação entre as altas e baixas frequências de radiação eletromagnética e as cores observadas pelo olho humano: "Uma amostra metálica como, por exemplo, um prego, em qualquer temperatura, emite radiação eletromagnética de todos os comprimentos de onda. Por isso, dizemos que o seu espectro é contínuo. Se a amostra está na temperatura ambiente, as radiações eletromagnéticas emitidas na faixa do visível transportam tão pouca energia que não sensibilizam os olhos humanos. Se a temperatura da amostra é elevada até aproximadamente 850 K, apenas as radiações eletromagnéticas emitidas na faixa que corresponde à cor vermelha têm energias suficientes para sensibilizar os olhos humanos e a amostra parece ter uma cor vermelha escura. À medida que a temperatura da amostra aumenta, aumenta também, gradativamente, a quantidade de energia das radiações eletromagnéticas de todos os comprimentos de onda. A amostra apresenta, então, aos olhos humanos, depois da cor vermelha escura, em sequência, as cores vermelha viva, laranja, amarela, azul e, finalmente, branca. Espectros contínuos podem ser produzidos por sólidos, líquidos ou gases incandescentes, estes últimos mantidos a pressões muito altas. A temperatura da fonte pode ser determinada pela análise do espectro. A Mecânica Quântica nasceu em 1900, com um trabalho de Planck que procurava descrever o espectro contínuo de um corpo negro." Cf. PALANDI, Joecir; FIGEUIREDO, Dartanhan Baldez; DENARIN, João Carlos; MAGNANO, Paulo Roberto. *Física Moderna*. Santa Maria: Editora UFSM, 2010.

[117] Para facilitar o raciocínio em curso atentemos para a clara apresentação de Marieta Tunes Dantas sobre o pano de fundo teórico do surgimento da física quântica: "Em 1900, Max Planck formulou, inicialmente de modo apenas empírico, uma lei para o fenômeno da radiação, resultado do seu estudo sobre radiação térmica de corpos negros. O fenômeno em questão é bem conhecido e não pertencia, até então, às partes centrais da física atômica. Um corpo negro perfeito é "um corpo que absorve toda a radiação que nele incide e, consequentemente, (...) é também o mais poderoso emissor de radiação". Ele pode ser descrito como qualquer pedaço de matéria de superfície negra, por exemplo, uma bola, que seja oca e que tenha um pequeno furo. Devemos lembrar que aquecer um corpo significa, basicamente, aumentar a agitação dos átomos que o constituem (quanto maior a temperatura, maior a agitação dos átomos). A partir de uma determinada temperatura, qualquer pedaço de matéria emite radiação visível, cuja natureza muda de acordo com a temperatura: ele se torna incandescente, depois vermelho, e quando a altas temperaturas, branco, o que independe da cor ou superfície do material, e a radiação emitida é estudada para diferentes temperaturas do sistema. Até então pensava-se que a energia emitida por um corpo aquecido se comportava como onda eletromagnética, sendo emitida e absorvida de modo contínuo pelas menores partículas radiantes, os átomos e o fenômeno deveria poder ser explicado de acordo com as leis da radiação e do calor conhecidas. Porém, a tentativa de se obter esta explicação, no fim do século XIX por Lord Rayleigh e James Jeans, não havia sido bem sucedida." Cf. DANTAS, Marieta Tunes, *Heisenberg e a Filosofia Grega*. (Dissertação de mestrado). Rio de janeiro: PUC, 2005. Certificação Digital n° 0311027/CA, p.21.

Estava posto assim, na troca de correspondência entre amigos colaboradores, e sem que os interlocutores se dessem conta, o início de uma nova era na física. [118]

O desafio seguinte de Planck era encetar um significado físico consistente para sua recente descoberta, e foi o que procurou fazê-lo no artigo que publicou em catorze de dezembro do mesmo ano, pouco mais de dois meses após a troca de cartas com seu amigo Rubens, ocasião onde surgiu pela primeira vez a expressão *quantum* de energia. A hipótese arrolada na ocasião por Planck foi considerar de modo inovador, depois de anos de muitas tentativas mal sucedidas, e num ato de quase desespero, a energia como algo não contínuo, mas sim como constituída de um conjunto de partes mínimas ou pequenos pacotes.

Desse modo, Planck não seguiu os demais físicos de sua época, os quais concebiam a energia como uma forma de manifestação contínua da radiação eletromagnética, ou seja, não considerou a energia como uma onda eletromagnética contínua e ininterrupta que se propaga pelo espaço, mas sim como um conjunto de pequenas quantidades ou pacotes mínimos de energia, daí a utilização do termo *quantum* de energia, em referência ao termo grego que significa quantidade.

O grande dilema que se instaurou para Planck foi exatamente não aceitar as consequências decorrentes de sua hipótese, posto que tal atitude implicaria, por um lado, em negar a compreensão da energia como um fenômeno eletromagnético, de natureza contínua e ondulatória, compreensão amplamente aceita pela comunidade dos físicos de sua época, e fenômeno respaldado teoricamente pelas equações de James Maxwell, e, por outro lado, abraçar o caráter corpuscular da luz, hipótese também negada por Maxwell.

Foi então que, somente algum tempo depois de buscar soluções alternativas para o problema da radiação do corpo negro, Planck resolveu conjecturar a hipótese da existência, nos sólidos, de partículas em vibração, partículas que absorviam e emitiam luz. Por sua vez,

---

[118] Segundo o professor Nelson Studart, Planck escreveu ao amigo Heinrich Rubens, afirmando que havia chegado a nova fórmula através de uma "fortuita conjectura numa interpolação" dos dados empíricos para altas e baixas frequências de radiação. Posteriormente, continua o professor Nelson, ao buscar um significado à nova fórmula que descobrira, Planck admitiu que a "tarefa de dotar [a fórmula] de um novo significado físico" teria sido "o trabalho mais extenuante de toda minha vida". Por conta desse aspecto fortuito a que se referiu acima o próprio Planck, o professor Nelson Studart defende que "Essa sequência de eventos contradiz a versão usual apresentada em livros didáticos de que a teoria quântica surgiu da necessidade imperiosa de reformar a física porque os resultados previstos pela teoria clássica discordavam radicalmente dos obtidos experimentalmente. Tal história é um mito. A termodinâmica e a eletrodinâmica [duas das principais teorias clássicas] foram a base de inspiração de Planck. O resto veio da sorte, do 'ato de desespero' e da estreita cooperação entre um físico teórico competente, e experimentalistas engenhosos." Cf. STUDART, Nelson, *Max Planck: O revolucionário conservador*. In: Gênios da Ciência. São Paulo: Editora Duetto, 2010, p.14.

essa conjectura o obrigou a admitir que a energia distribuída entre essas partículas do sólido deveriam ser divididas em quantidades mínimas, denominadas *quantum* de energia.[119] Com efeito, somente algum tempo depois Planck se deu conta de que a sua hipótese de quantização da energia se tratava de uma viragem significativa na compreensão dos fenômenos naturais.[120]

A hipótese da quantização da energia não foi considerada seriamente pela comunidade científica do início do século XX, a despeito do fato de que pouco tempo depois sua teoria passou a contar com amplo respaldo da comunidade acadêmica, no que diz respeito à eficácia da comprovação empírica. Possivelmente, Planck resistia a uma aceitação definitiva de sua própria ideia enquanto esperava o surgimento de uma explicação alternativa, capaz de conciliar sua descoberta com a eletrodinâmica clássica que tanto respeitava. A novidade que ocorreu cinco anos depois, em 1905, não para convencer Planck de que teria se equivocado, mas para dar visibilidade ao seu feito, iria impactar de modo mais contundente a comunidade científica, a partir de um artigo publicado por um jovem físico alemão chamado Albert Einstein (1879 – 1956).

Em 1905, Einstein propôs uma solução para o chamado "efeito fotoelétrico", que consistia na incidência de luz em um chapa metálica, resultando na retirada de elétrons contidos na chapa metálica, como consequência da incidência da luz. Por que os elétrons eram arrancados da chapa? Como explicar a ação da luz sobre os elétrons? Tratava-se, como vimos com Planck, de uma situação inusitada ante o aparato conceitual clássico que considerava, a partir de Maxwell, a luz e as demais formas de radiação eletromagnética, um fenômeno meramente ondulatório, e a explicação da luz como fenômeno corpuscular, pleiteada pelo jovem Einstein. Esta contradição atinente ao comportamento da radiação, evidenciada pelo trabalho de Einstein publicado em 1905, instaurou o dualismo onda-partícula como o fenômeno mais desafiador para a compreensão do novo mundo quântico.

---

[119] Nas palavras de Roberto de Andrade Martins, "O cientista alemão [Max Planck] imaginava a existência nos sólidos, de certas partículas em vibração que absorviam e emitiam luz. Com base nessa hipótese, conseguiu explicar a fórmula que obteve, mas isso incluía a suposição de que a energia distribuída entre as partículas de um sólido devia ser dividida em certas quantidades mínimas, os quanta de energia. Além disso, ele precisou atribuir uma relação entre a frequência v dos osciladores – as partículas em vibração – e o valor mínimo de energia E capaz de ser distribuída entre eles: E=hv. A constante h, que depois se tornou conhecida como 'constante de Planck', tem unidade de energia multiplicada pelo tempo. Trata-se de um tipo de grandeza que já fazia parte do vocabulário da física, a ação, motivo que levou o cientista alemão a denomina-la 'quantum de ação'." Cf. Roberto de Andrade Martins, *O nascimento de uma nova física*, p.6.

[120] A este respeito o professor Roberto de Andrade Martins faz o seguinte comentário: "Em 1913, na carta em que propôs o nome de Albert Einstein como professor pesquisador, Planck comentou que a hipótese dos quanta de luz era um equívoco, mas que isso não deveria ser levado em conta." Cf. MARTINS, Roberto de Andrade. *Albert Einstein, um olhar para o microcosmo*. In: Gênios da Ciência. São Paulo: Editora Duetto, 2010, p. 24.

A hipótese da qual partiu Einstein em seu famoso artigo publicado em 1905, é ligeiramente distinta da hipótese a qual partira Planck cinco anos antes, embora ambas desaguem praticamente no mesmo resultado, com diferenças sutis – facilmente transpostas – no formato matemático de suas equações. Einstein focou sua atenção não na *energia* eletromagnética, como o fizera Planck, mas na própria *luz* (a qual não deixa de ser uma forma de radiação eletromagnética): para Einstein, a luz seria constituída de pequenas partículas, algo como "átomos de luz", ou *quantum* de luz. A questão fundamental, levantada por Einstein nesse artigo, foi indagar as razões da seguinte questão: por que a luz deveria ser considerada uma onda eletromagnética contínua que se espalha por todo o espaço, e não poderia se comportar de forma descontínua e discreta, como constituída de um conjunto de partículas, ou *quanta* de luz, já que a própria matéria (como, por exemplo, o átomo), é descontínua e constituída por unidades?[121]

Uma das razões da defesa de Einstein de uma teoria corpuscular para a luz, capaz de explicar certos fenômenos não contemplados pela teoria ondulatória de Maxwell, remete a sua aversão à ideia, presente no eletromagnetismo de Maxwell, da existência de uma substância denominada "éter", que atua como meio absoluto em relação ao qual as ondas eletromagnéticas se deslocariam no espaço. A ideia de uma substância cuja presença invisível atuava como suporte das ondas eletromagnéticas distribuídas no espaço, definitivamente não agradava ao jovem Einstein. Ao invés disso, Einstein se voltou para a antiga teoria corpuscular da luz e com ela mostrou que certos fenômenos relacionados à luz não poderiam ser descritos com a teoria ondulatória de Maxwell.

Para efeito de demonstração ilustrativa da proposta corpuscular da luz, formulada por Einstein, apresentaremos *an passant* a explicação dada por Einstein ao efeito fotoelétrico. Como vimos, a ideia de Einstein baseava-se na suposição da luz ser constituída por concentrações pontuais de energia, e se assim fosse cada partícula de luz poderia colidir com um elétron em uma placa metálica, transmitindo-lhe energia com o choque. Caso a energia fosse elevada o suficiente, seria possível, conforme demonstrou Einstein, que o elétron fosse

[121] Sobre esta questão o professor Martins trata nos seguintes termos: "Um dos trabalhos publicados por Einstein no "ano maravilhoso" de 1905, intitulava-se *Sobre um ponto de vista heurístico a respeito da produção e transformação da luz*. Nele, o cientista explora a ideia de que a luz possa ser constituída por partículas, ou quanta de luz, e levanta a questão: se a matéria é descontínua, constituída por unidades (átomos e outras partículas), por que a radiação seria contínua, distribuída por todo o espaço sob a forma de ondas? Na época, a resposta era imediata, pois alguns fenômenos luminosos (difração e interferência) só podem ser explicados supondo-se que a luz é uma onda. Albert sabia disso e admitia que a teoria ondulatória é adequada para explicar esses fenômenos, porém insistiu em explorar a teoria corpuscular." Cf. MARTINS, Roberto de Andrade, *Albert Einstein, um olhar para o microcosmo*. In: Gênios da Ciência. São Paulo: Editora Duetto, 2010, p. 24.

arrancado do metal, mas caso a energia não fosse alta o suficiente, o elétron permaneceria na placa. Somente dez anos depois de publicado o artigo contendo a explicação para o efeito fotoelétrico, uma experiência conduzida por Robert Millikan confirmou a previsão feita por Einstein e a eficácia de sua equação.[122]

3.2 A proposta dualista para a matéria formulada por de Broglie: a matéria como expressão ontológica da dualidade *onda-partícula*

Após os trabalhos publicados por Einstein os olhos da comunidade científica internacional passaram a considerar os fenômenos quânticos com curiosidade, mas, sobretudo com desconfiança, principalmente, por um lado devido à contraposição com as ideias clássicas de Maxwell,[123] que considerava a luz sob a perspectiva ondulatória, e, de outro lado, pelo caráter intransponível das características, ora ondulatórias, ora corpusculares da luz e demais formas de radiação. Afinal, como explicar que certos fenômenos óticos, como a difração e a interferência, apresentassem um comportamento ondulatório para a luz, e outros, como o efeito fotoelétrico, explicado por Einstein, tomassem um viés corpuscular para a luz? Esta situação instaurou um reboliço na comunidade acadêmica, e gerou um desconforto no solo de uma ciência que parecia caminhar inexoravelmente para a explicação de todos os fenômenos conhecidos. A dualidade onda-partícula gerou tanto desconforto a ponto de

> Uma decisão entre as duas teorias sobre a natureza da radiação competidoras não poderia ser forçada. Para a interpretação dos processos ópticos que envolviam a interação entre luz e matéria, a visão quântica corpuscular parecia indispensável, ao passo que fenômenos como a interferência e a difração pareciam requerer o aparato conceitual da teoria ondulatória da luz. Este estado de coisas foi bem caracterizado por Sir William Bragg, quando ele disse estarem os físicos usando, segundas, quartas e sextas, a teoria clássica, e terças, quintas e sábados, a teoria quântica da radiação.[124]

---

[122] *Ibidem*, p. 25.

[123] Segundo Martins, "Desde a formulação da hipótese de Einstein sobre a quantização da luz, em 1905, até a descoberta do efeito Compton, em 1922, 'poucos físicos teóricos, além do próprio Einstein, acreditavam que as partículas de luz proporcionavam uma base para pesquisa séria' (Thomas Kuhn). Segundo Bruce Wheaton, prossegue o professor Roberto de Andrade, a hipótese dos *quanta* de luz de Einstein não foi considerada seriamente pelos físicos teóricos durante aproximadamente 15 anos, pois parecia uma rejeição desnecessária da teoria clássica da radiação." Cf. MARTINS, Roberto de Andrade e ROSA, Pedro Sérgio. *História da teoria quântica: a dualidade onda-partícula de Einstein à De Broglie*, p.100.

[124] Cf. JAMMER, Max. *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, p. 165.

Para tentar elucidar esta situação embaraçosa e desconfortável referente ao caráter contraditório da radiação, que ora se apresentava como partícula (hipótese de Planck e Einstein), ora se apresentava como fenômeno ondulatório (segundo a postulação clássica de Maxwell), vários trabalhos foram postulados, e diferentes esforços foram desenvolvidos na década de 1920, com o intuito de buscar uma forma de compreender as contradições pertinentes ao mundo quântico, contradições, sobretudo, como dissemos, atinentes ao paradoxo onda-partícula. Dentre os destaques, no rol dessas tentativas de enfrentamento de tais problemas, salientamos duas diferentes formulações, ambas apresentadas em 1924: primeiramente a tentativa de Bohr, Kramers e Slater, denominada de teoria BKS, (que apresentaremos apenas como um contraponto da proposta seguinte), e, em segundo lugar a proposta que tentou superar o dualismo onda-partícula admitindo que a matéria enquanto tal – por exemplo, um elétron – apresenta, simultaneamente, o comportamento ondulatório e corpuscular, formulada por Louis de Broglie (1892- 1987). No próximo item focaremos o contributo do físico austríaco Erwin Schrödinger.

A teoria publicada conjuntamente por Bohr, Kramers, e Slater, denominada de forma abreviada por teoria BKS,[125] buscou resolver os paradoxos onda-partícula da radiação admitindo, em primeiro lugar, que é necessário assumir o caráter dualístico onda-partícula, como aspecto constituidor fundamental dos fenômenos quânticos, e, em segundo lugar, apontando que, caso considerássemos as ondas inerentes aos fenômenos da radiação – por exemplo, a luz – tais ondas não representariam a realidade, no sentido clássico de uma descrição matemática que corresponderia a uma situação ontológica da física experimental. Ao invés disso as ondas expressariam a probabilidade de ocorrência de um determinado fenômeno. O próprio Heisenberg nos explica com mais clareza estes aspectos a pouco citados da teoria encabeçada por Bohr:

> Eles [Bohr, Kramers e Slater] afirmaram, primeiramente, que a propagação ondulatória da luz de um lado, e sua absorção e emissão em quanta de outro, são fatos experimentais que deveriam ser a base de qualquer tentativa de clarificação. (...) Eles então introduziram a hipótese de que as ondas tinham a natureza de ondas de probabilidade: de que elas representam não a realidade no sentido clássico,

[125] Conforme Dantas, o programa da teoria BKS foi publicado por Bohr, Kramers e Slater, em um artigo intitulado *The Quantum Theory of Radiation*, publicado na Philosophical Magazine, 47 (January 1924), 785-802". Em alemão este artigo apresenta o título *Uber die Quantentheorie der Strahlung*, publicado na Zeitzchrift für Physik 24, 69-87 (1924). Cf. DANTAS, Marieta Tunes. *Heisenberg e a Filosofia Grega*. (dissertação de mestrado) Rio de janeiro: PUC- RIO, 2005. Certificação Digital n° 0311027/CA, p.31.

> mas antes a 'possibilidade' de uma tal realidade. A hipótese era de que as ondas definiam a probabilidade de que, em cada ponto, um átomo que estivesse lá presente emitisse ou absorvesse um quanta (h*v*) de luz. Esta idéia levou à conclusão de que as leis da conservação da energia e momento não deveriam ser verdadeiras para um evento singular, mas apenas para uma média estatística. Ainda que esta conclusão estivesse incorreta (as conexões entre os aspectos ondulatório e corpuscular da radiação eram ainda mais complicadas), a tentativa de interpretação feita por Bohr, Kramers e Slater continha características importantes da interpretação posterior correta. A mais importante delas foi a introdução da probabilidade como um novo tipo de realidade física "objetiva".[126]

Segundo relato do próprio Heisenberg, o legado teórico de Bohr, Kramers e Slater, apresentado em 1924, contribuiu mais do que qualquer outro trabalho naquele tempo para a clarificação da situação na teoria quântica. Trata-se, portanto, de um dos impulsionadores teóricos mais marcantes daquela conjuntura dos anos vinte, sobretudo para Heisenberg, por conta dos dois aspectos acima apontados, quer sejam, tanto pelo caráter probabilístico associado às ondas dos fenômenos ondulatórios, como pelo fato buscar uma ruptura com as noções clássicas de determinismo e causalidade, herdadas das respeitáveis matrizes de Isaac Newton e James Maxwell.

Aqui é oportuno adiantar que os dois traços determinantes do horizonte filosófico-interpretativo de Bohr e de seus colaboradores, influenciarão o pensamento do próprio Heisenberg, como veremos em considerações de capítulos ulteriores: de um lado, identificamos a recusa em concordar com contribuições teóricas que tratem dos fenômenos quânticos de forma a privilegiar uma fidelidade aos aspectos causais e descrições deterministas; de outro lado, reconhecemos um forte caráter interpretativo que confere aos fenômenos quânticos aspectos probabilísticos.

Esses dois traços são intimamente interligados, e acompanharão Heisenberg em momentos decisivos de sua maturação intelectual, incluindo aí as famosas relações de indeterminação de Heisenberg, objeto de investigação específica, como veremos mais adiante.[127] De fato, tomar a luz como fundamentalmente constituída de aspectos ondulatórios e corpusculares, deve ser entendido, como vimos no início da última citação, uma posição

---

[126] Cf. HEISENBERG, Werner. *The Development of the interpretation of the Quantum Theory*. In: *Niels Bohr and the Development of Physics*, p. 12-13, *apud* DANTAS, Marieta Tunes, *Heisenberg e a Filosofia Grega*. (dissertação de mestrado) Rio de janeiro: PUC- RIO, 2005. Certificação Digital n° 0311027/CA, p.32.

[127] O Capítulo cinco de nossa investigação tratará destas problemáticas.

ineliminável. Ocorre que existem dois modos possíveis, entre outros, de se afirmar que os fenômenos quânticos são constituídos de natureza dual onda-partícula: um modo pode reivindicar que tal estatuto dual é ontológico e pode ser descrito por leis causais físicas; o outro modo, postulado pela teoria BKS, assume que as ondas referentes ao fenômeno quântico da luz, não possuem correspondente ontológico, não indicam uma existência no sentido atribuído pela física clássica, mas representam, tão somente, como vimos a pouco, a *probabilidade* de que, em cada ponto do espaço, um átomo possa absorver ou emitir um *quanta* de luz, portanto não apontam para uma realidade, mas para a possibilidade de ocorrência de uma dada realidade. Este aspecto probabilístico reivindicado pela teoria BKS, confere, segundo apontou Heisenberg ao final da citação supra transcrita, "a introdução da probabilidade como um novo tipo de realidade física objetiva."[128]

O modo pelo qual enveredou Louis de Broglie, em 1924, se aproxima da primeira opção, de caráter ontológico, descrita no parágrafo anterior: a reivindicação do estatuto ontológico dos fenômenos quânticos a partir de uma descrição matemática que procure expressar aquilo que poderíamos denominar, utilizando o jargão da física clássica, de realidade microfísica. A hipótese de Broglie consistiu em considerar a própria matéria – por exemplo, o elétron – simultaneamente, como partícula e onda, e isto significa ampliar a abrangência do dualismo onda-partícula, antes associado apenas para os fenômenos da radiação – como no caso da luz – para o horizonte da própria matéria. Agora o próprio elétron e as demais partículas materiais constituidoras da natureza apresentam, segundo de Broglie, uma faceta dual.

---

[128] Estes dois aspectos apresentados pela teoria BKS, quer sejam, a realidade virtual (as ondas presentes nos processos quânticos não possuem natureza ontológica no sentido clássico), e o caráter probabilístico do comportamento ondulatório da luz modificaram radicalmente a compreensão dos fenômenos quânticos. Observemos as preciosas considerações de Chevalley, compiladas e traduzidas por Marieta Tunes, em torno destes desdobramentos: "Por meio dos conceitos que servem em física clássica para determinar uma 'realidade' física, podemos citar, em uma enumeração não ordenada, a localização espaço-temporal do objeto, a conservação de sua energia, a continuidade de sua evolução e a independência de seu comportamento no que diz respeito à observação. A mecânica quântica não deixará intacto nada além do princípio de conservação. Mas, em 1924, Bohr vai considerar a localização e conciliar continuidade e descontinuidade. A conservação da energia é menos fundamental a seus olhos do que a continuidade da radiação. (...) O malogro da teoria BKS, em convergência com outras dificuldades conduziu, em seguida, não ao abandono da noção de correspondência, mas ao deslocamento da questão da relação com os conceitos clássicos em uma direção próxima daquela na qual Pauli e Born já estavam engajados em 1923. Se não é a conservação de energia que está em questão, são as 'imagens intuitivas espaço-temporais'." Chevalley, citado por Marieta Tunes, arremata que "O campo virtual e a idéia de uma conservação apenas estatística são empregados em 1924 como os instrumentos de medida do território da física quântica." Cf. CHEVALLEY, Catherine. *Introduction*, In: *Physique Atomique et Connaissance Humaine*, p. 56, *apud* DANTAS, Marieta Tunes, *Heisenberg e a Filosofia Grega*. (dissertação de mestrado) Rio de janeiro: PUC- RIO, 2005. Certificação Digital n° 0311027/CA, p.32.

Um momento decisivo no percurso que culminou com a hipótese dualística para a matéria de Broglie, foi o seu envolvimento com os trabalhos referentes aos raios X, através do apoio intelectual de seu irmão mais velho que havia montado um laboratório particular, sem vínculo com nenhuma universidade, onde realizava experimentos com membros da comunidade de pesquisadores e estudantes. Quando foram descobertos em 1895, a natureza dos raios X era desconhecida. Segundo Roberto de Andrade Martins, os raios X "eram produzido quando elétrons acelerados dentro de um tubo evacuado (tubo de raios catódicos ou tubo de Crookes) batiam em qualquer superfície sólida."[129]

A questão de determinar a natureza dos raios X enveredou por tortuoso caminho desde a hipótese de se tratavam de ondas eletromagnéticas de curto comprimento de onda, hipótese defendida por alguns pesquisadores da época, até a hipótese de que poderiam ser partículas eletricamente neutras. Em 1907, o físico Johannes Stark apresentou uma teoria quântica para os raios X, no entanto essa teoria quântica ou corpuscular foi criticada em 1912, quando Walther Friedrich e Paul Knipping elaboraram um experimento, no qual os raios X atravessavam um cristal e produziram um padrão de interferência, característica dos fenômenos ondulatórios. O ponto culminante neste contexto histórico foi quando William Henry Bragg (1862-1942), uma referência nos estudos vinculados aos raios X, passou a afirmar que os raios X e a luz visível deveriam ser compreendidos mediante uma teoria que combinasse propriedades corpusculares e ondulatórias.[130]

Com a proposta de De Broglie, formulada em 1924, a história da teoria quântica atinge um patamar conceitual determinante: procura conciliar, pela primeira vez, uma formatação matemática elaborada, onde os fenômenos ondulatórios e corpusculares ganham uma importante unificação. Esta roupagem unificadora das contradições onda-partícula, que durante anos desafiou a comunidade científica, longe de se apresentar apenas como uma descrição formal, ao contrário, pelas mãos de De Broglie se buscou encontrar um estatuto ontológico para aquilo que ficou conhecido como "ondas de matéria". O esforço foi reconhecido anos mais tarde, quando, "a existência de propriedades ondulatórias no movimento de elétrons foi confirmada experimentalmente em 1927 por C. J. Davisson e L. H.

---

[129] Cf. MARTINS, Roberto de Andrade e ROSA, Pedro Sérgio Rosa, *Louis de Broglie: o físico que combinou ondas e partículas*. In: Gênios da Ciência. São Paulo: Editora Duetto, 2010, p. 46.

[130] Segundo Martins e Rosa, em 1913, Bragg escreveu uma carta para Ernest Rutheford onde escreveu: "O raio se desloca de um ponto para outro como corpúsculo, mas a disposição das linhas de deslocamento é governada por uma teoria ondulatória. Parece muito difícil de explicar, mas isso certamente é o que parece agora." Cf. MARTINS, Roberto de Andrade e ROSA, Pedro Sérgio Rosa, *Louis de Broglie: o físico que combinou ondas e partículas*. In: Gênios da Ciência. São Paulo: Editora Duetto, 2010, p.46.

Gerner, nos Estados Unidos, e por George Paget Thompson, na Escócia". Anos mais tarde "experimentos realizados por vários pesquisadores, com maior precisão e utilizando elétrons de alta velocidade confirmaram que a equação [de De Broglie] era válida no domínio relativístico [para altas velocidades], ou seja, não foi apenas a aproximação clássica (de baixas velocidades) que recebeu confirmação."[131] Em 1929, Louis de Broglie foi laureado com o prêmio Nobel pela comprovação experimental de suas ideias sobre as ondas de matéria, publicadas em 1924.

Não obstante o esforço para superar o misterioso caráter dualístico da radiação, agora extensivo ao tratamento dualístico da matéria, e da boa recepção de sua tese por parte de Einstein, as posições de Louis de Broglie em geral não foram bem recepcionadas, e, muitas vezes, até consideradas extravagantes pelos físicos da época, sobretudo por razões de, nessa mesma quadra histórica, isto é, entre 1925-1927, ter sido obscurecida por outra famosa formulação teórica, apresentada por Heisenberg, juntamente com Born e Jordan,[132] contribuição conhecida como "mecânica matricial". Segundo o professor Roberto de Andrade Martins, a mecânica matricial de Born, Heisenberg e Jordan, "aplicava uma matemática abstrata para o estudo dos fenômenos atômicos, sem compreender o que se passava dentro do átomo."[133]

3.3 A proposta ondulatória para a matéria formulada por Schrödinger: a matéria como expressão *matemática* do aspecto ondulatório

Para alguém pouco familiarizado com os percalços referentes às sutilezas do mundo quântico, que ainda buscava se firmar em bases mais consistentes – tanto no aspecto matemático-formal, quanto do ponto de vista da coerência conceitual de suas implicações filosóficas na compreensão da natureza – a teoria das ondas de matéria de De Broglie, parece, finalmente, dar solução para o paradoxo onda-partícula, um problema que parecia intransponível. Ocorre que uma descrição matemática que procure investigar aspectos tão ínfimos da natureza, que se debruça em descrever ocorrências que se passam em domínios microfísicos abissais, sempre provocará algum desconforto, quer no ponto de vista matemático-formal, quer no ponto-de-vista do manancial de dados experimentais que referendam tais posições.

---

[131] Cf. MARTINS, Roberto de Andrade e ROSA, Pedro Sérgio Rosa, *Louis de Broglie: o físico que combinou ondas e partículas*. In: Gênios da Ciência. São Paulo: Editora Duetto, 2010, p. 46.
[132] *Ibidem*, p. 53.
[133] *Ibidem*, p. 53.

A teoria das ondas de matéria de Louis de Broglie "ergueu uma ponta do grande véu", como teria dito Einstein em certa ocasião,[134] mas não sem o preço das sutilezas matemáticas e o peso da crítica de outras tradições acadêmicas afeitas a procedimentos experimentais distintos. O resultado da repercussão que se estabelece entre uma determinada proposta teórica e sua acolhida diante das diferentes searas acadêmicas afeitas a outras perspectivas investigativas – de caráter tanto experimental quanto teórica – é o confronto direto, no fundo parte do componente processual e dialogal necessário à maturação de posições antepostas. Foi exatamente isto que aconteceu com a recepção do pensamento de De Broglie, no período subsequente à publicação de suas ideias em 1924.

Um dos confrontos fundamentais que se estabeleceu em torno das ideias de Louis de Broglie foi capitaneado pelo grupo de Niels Bohr ao qual pertencia Heisenberg. Este grupo de pesquisa era afeito às tradições experimentais envoltas com a espectroscopia, diferente do grupo de pesquisadores ao qual se vinculava De Broglie, que, conforme vimos anteriormente se utilizava de experimentos provenientes da análise dos Raios X, montados no laboratório particular de Maurice De Broglie, irmão de Louis De Broglie. A questão de fundo, que fomentava parte dos espectroscopistas, residia nas chamadas descontinuidades ou saltos quânticos que ocorriam no interior das camadas atômicas, onde circulavam os elétrons, segundo o modelo atômico elaborado por Bohr em 1913.[135]

Neste modelo elaborado por Bohr, os átomos se comportavam de modo análogo ao que ocorre em um sistema planetário, com o núcleo do átomo ocupando o lugar que no sistema planetário corresponderia ao sol. Em torno do núcleo atômico circulariam os elétrons, ocupando regiões específicas, denominadas de camadas eletrônicas, do mesmo modo como os

---

[134] *Ibidem*, p. 52.

[135] Conforme Dantas, o modelo atômico de Bohr, formulado em 1913, possuía as seguintes determinações: "Para construir seu modelo atômico, Bohr admitiu, um átomo nuclear como o de Rutherford. De acordo com a mecânica clássica, o problema de um elétron orbitando em torno de um próton em um átomo (no caso do hidrogênio), sujeito apenas à força coulombiana, é inteiramente igual ao problema de Kepler de dois corpos na gravitação. Órbitas circulares ou elípticas são admitidas pela mecânica clássica e Bohr optou, por uma questão de simplicidade, por uma órbita circular. O elétron se move em uma órbita em torno do núcleo que exerce uma atração eletrostática sobre ele. Ele então postulou que, ao invés das infinitas órbitas aceitas pela mecânica clássica, haveria apenas um certo número de órbitas estáveis (ou seja, certos valores de r), que ele chamou de estados estacionários. Consequentemente, os átomos só poderiam existir em certos níveis de energia permitidos, com energias Ea, Eb, Ec, ... De acordo com a física clássica, um elétron em movimento deveria irradiar energia. Ele poderia irradiar, no entanto, em todas as frequências, produzindo um espectro contínuo, o que contrariava a experiência. Contrariando esta lei, Bohr postulou também que um elétron seria dinamicamente estável e, estando em uma destas órbitas reconhecidas, não emitiria energia. Não havia nenhuma explicação clássica para isto e ele não ofereceu nenhuma. Ele assumiu que a emissão ou absorção de energia por um elétron se dava apenas quando este elétron fazia uma transição descontínua de um destes níveis permitidos de energia (órbitas estacionárias) permitidas, a outro..." Cf. DANTAS, Marieta Tunes. *Heisenberg e a filosofia grega*. (dissertação de mestrado). Rio de janeiro: PUC- RIO, 2005. Certificação Digital n° 0311027/CA., p.121.

diversos planetas giram, em regiões específicas próprias, em torno do sol. O elemento problemático deste modelo pictórico se dá na passagem dos elétrons de uma camada para outra, ocasionando o chamado "salto quântico", que representava o elemento de descontinuidade no mundo quântico, algo jamais visto na física clássica de Newton e de Maxwell.

Segundo alguns estudiosos e especialistas, a descontinuidade e a dualidade onda-partícula constituem os dois problemas fundamentais da física quântica. Louis de Broglie havia proposto uma solução para o problema do paradoxo onda-partícula procurando atribuir à matéria tanto o comportamento ondulatório como o corpuscular, e mesmo assim, para dar sustentação e coerência matemática ás suas ideias, ele teve de se enredar com questões matemáticas referentes ao caráter ondulatório que acabaram por refrear as expectativas da comunidade científica e minar seus esforços ao ponto de abandonar posteriormente suas próprias ideias. E o que dizer das descontinuidades? Aonde as descontinuidades encontravam abrigo na teoria das ondas de matéria de Louis de Broglie?

Obviamente, nem toda teoria precisa compartilhar dos mesmos pressupostos de outra para poder reivindicar sua legitimidade, e por conta disso a teoria de Louis de Broglie poderia ter assegurado, naquela quadra histórica de 1924-1926, uma posição de destaque diante da comunidade de pesquisadores. Ocorre que, no domínio das ciências, se um determinado grupo opositor chamar atenção para um de conjunto de dados experimentais, e se, por acaso, esses dados do grupo opositor não forem contemplados pelo novo formalismo matemático que surgiu, isto sim pode implodir ou lançar ao plano secundário determinada proposta teórica. Foi isto que, acreditamos, marcou a postura do grupo de Bohr e Heisenberg em relação aos dados espectrais de que dispunham. Era como se, diante do grupo de Bohr a questão sempre imperava: qual o lugar da descontinuidade expressa nas raias espectrais na teoria da onda de matéria de Louis de Broglie? Vejamos, através de relatos do próprio Heisenberg, como estas tensões entre a nova proposta teórica, formulada por Schrödinger e sua recepção por parte do grupo de Bohr e Heisenberg. Segundo Heisenberg:

> Durante os primeiros meses de 1926, mais ou menos na mesma época em que proferi minha conferência em Berlim, Göttingen familiarizou-se pela primeira vez com o trabalho do físico vienense Erwin Schrödinger, que vinha abordando os problemas da teoria atômica por um novo ângulo. No ano anterior, Louis de Broglie, na França, chamara a atenção para o fato de que o estranho dualismo onda-

> partícula, que na época parecia impedir uma explicação racional dos fenômenos da luz, poderia estar presente no comportamento da matéria (por exemplo, dos elétrons). *Schrödinger levou essa ideia mais longe*, e, com uma nova equação de ondas, formulou a lei que rege a propagação das ondas materiais sob a influência do campo eletromagnético.[136]

Antes de seguirmos o curso da exposição de Heisenberg, examinemos, brevemente, um detalhe que nos parece relevante, destacado em itálico na parte inferior na passagem acima transcrita. Heisenberg afirma que "Schrödinger levou essa ideia mais longe", onde o termo "essa ideia", refere-se à ideia de Louis de Broglie em combinar o comportamento ondulatório e corpuscular na sua proposta teórica de ondas de matéria. Nessa ideia, como vimos a pouco, os elétrons seriam a parte corpuscular que seria "guiada" ou transportada por uma onda eletromagnética. O significado da expressão "levar essa ideia mais longe", acima destacada, precisa ficar mais consistente para compreendermos o que de fato Heisenberg deseja apresentar na sequência.

Quando Louis de Broglie apresentou seu modelo de ondas de matéria, junto com ele produziu aquilo que poderíamos designar de imagem pictórica dos eventos microscópicos que ocorrem ao nível dos fenômenos quânticos. Não é algo tão simples imaginar uma onda eletromagnética tridimensional "carregando" um elétron em sua extremidade mais avançada, nem mesmo as questões matemáticas internas permitem tal simplificação, mas o fato é que o modelo de Louis de Broglie permite sugerir, ainda que abstratamente, o comportamento íntimo da natureza com certo arrazoado imaginativo. Diríamos, nos termos de nossa visada investigativa, que o modelo de Louis de Broglie possui uma referência à objetividade *material*, ainda que tal referência seja bastante abstrata, o que permite a esse modelo, segundo nossa apreciação um maior apelo ao aspecto pictórico.[137]

O modelo matemático de Schrödinger difere do modelo de Louis de Broglie no sentido de uma extensão na utilização de ondas simples de De Broglie para sistemas mais

---

[136] HEISENBERG, Werner. *A parte e o todo*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2011, p. 88.

[137] É preciso lembrar a cautela com que devemos apreciar as distinções entre os diferentes contributos propiciados pelas teorias quânticas, no sentido de sobrevalorizar uma em detrimento de outra, por critérios alheios aos aspectos técnico-matemáticos internos. É preciso trazer à tona o fato de que existem dezenas de interpretações possíveis para os fenômenos quânticos, sem que haja fundamento experimental recente que privilegie definitivamente alguma em detrimento das outras, o que torna a discussão inteiramente em aberto. Todas as nossas apreciações que envolvam inferir aspectos ontológicos decorrentes de tratamentos matemáticos internos das teorias quânticas, ou da relação que uma teoria possui com outra, devem ser acompanhadas a certa distância, e nossa ânsia por extrair indicações ontológicas devem, igualmente ser consideradas criticamente quanto ao seu rigor efetivo.

amplos, decisão tomada por conta de questões matemáticas. No modelo de Louis de Broglie, o elétron, como exemplo de matéria corpuscular, podia ser associado a uma onda, como se fosse "carregado" por essa onda. Schrödinger se baseou no modelo de Louis de Broglie, com algumas diferenças, e dentre as mais importantes consta a eliminação da ideia da matéria ser conduzida por uma onda. Ao invés disto, Schrödinger adotou um conjunto de ondas formando um sistema de oscilação tridimensional em torno do núcleo atômico.[138]

No modelo de Schrödinger publicado no segundo artigo de 1925, as órbitas dos elétrons em torno do núcleo – ideia, conforme vimos anteriormente, presente no modelo de Bohr em 1913, e mantida no modelo de Louis de Broglie – perdem o sentido, e com isso o modelo de Schrödinger reconfigurou o conceito de matéria, privilegiando o conceito de onda, como se aquilo que anteriormente traduzíamos como matéria *corpuscular* – por exemplo, um elétron – fosse agora representado como matéria *ondulatória*, o que significa em termos ontológicos apresentar o elétron, por exemplo, como uma onda, e, em termos matemáticos, apresentar a objetividade material como um conjunto de ondas distribuídas pelo espaço, com frequências próximas, confinadas em uma região muito próxima.[139]

Voltemos ao fio condutor que referendava nossa investigação. Há pouco nos referimos à passagem onde Heisenberg afirmara: "Schrödinger levou essa ideia mais longe", onde a ideia, da qual tratara Heisenberg, é a ideia das ondas de matéria de Louis de Broglie. Conforme o que vimos na pequena digressão que tecemos, é possível enfrentar a seguinte

---

[138] O professor Roberto de Andrade Martins, juntamente com Sandro da Silva Livramento Machado, tratam da seguinte forma alguns dos aspectos físico-conceituais presentes na teoria de Schrödinger: "Na teoria de Schrödinger, desaparecem as órbitas dos elétrons, e o modelo simplificado de De Broglie perde o sentido. Não existem ondas descrevendo órbitas, acompanhando os elétrons. As ondas formam um sistema de oscilações tridimensional em torno do núcleo atômico, como as ondas acústicas estacionárias que podem existir em uma cavidade tridimensional. Mas que ondas são essas afinal? Seriam de caráter eletromagnético? No primeiro artigo o autor [Schrödinger] não quis discutir isso." Cf. MARTINS, Roberto de Andrade e MACHADO, Sandro da Silva Livramento. *Erwin Schrödinger: o escandaloso criador da mecânica ondulatória*. In: Gênios da Ciência. São Paulo: Editora Duetto, 2010, p. 60.

[139] A pergunta mais pertinente, Segundo Martins, após a publicação do primeiro artigo onde Schrödinger esboçou a sua teoria, em 1925, poderia ser assim formulada: "mas, que ondas são essas, afinal? Seriam de caráter eletromagnético?" No segundo artigo de Schrödinger, publicado em 1925, o físico vienense procurou examinar "a relação entre sua teoria ondulatória e o conceito de partícula", e postulou o que anunciamos a pouco: "aquilo que chamamos de partícula seria simplesmente um pequeno grupo de ondas que obedeceria às mesmas equações de um ponto material." O professor Martins continua suas considerações e afirma, na sequência, o seguinte: "No entanto, quando se estuda uma "partícula presa em certo sistema (como um elétron em um átomo), essa localização dada pelo pacote de onda [de Schrödinger] perde totalmente o sentido, porque o comprimento de onda pode ser da mesma ordem de grandeza da região onde a 'partícula' está confinada." Em vista do que foi dito, conclui o professor Martins: "Nesse caso, a 'partícula' estaria espalhada por toda região, e já não seria possível falar sobre sua localização." Cf. MARTINS, Roberto de Andrade e MACHADO, Sandro da Silva Livramento. *Erwin Schrödinger: o escandaloso criador da mecânica ondulatória*. In: Gênios da Ciência. São Paulo: Editora Duetto, 2010, p. 60.

pergunta: por que Heisenberg afirmou que Schrödinger levou a ideia de De Broglie mais longe?

Lembremos dois fatos importantes para nos ajudar a compreender a posição de Heisenberg, e compor uma resposta plausível à pergunta recém-formulada: em primeiro lugar, não esqueçamos que, na teoria de Louis de Broglie, a matéria – como o elétron, por exemplo – era "conduzida" por ondas eletromagnéticas (a ideia de "ondas de matéria"), e tais ondas de matéria circulavam em torno do átomo; e, em segundo lugar, lembremos que este fenômeno não ocorria na teoria de Schrödinger, posto que, segundo vimos a pouco, o que existe, na mecânica ondulatória de Schrödinger, é uma região constituída apenas por ondas que se deslocam em torno do átomo. Vejamos aonde isto vai chegar Heisenberg, a partir do seu próprio relato:

> Mas a interpretação física do esquema matemático [da teoria de Schrödinger] trouxe-nos graves problemas. Schrödinger acreditava que, associando partículas e ondas materiais, havia descoberto um meio de *eliminar os obstáculos que por tanto tempo vinha dificultando a compreensão da teoria quântica*. Segundo ele essas ondas materiais eram plenamente comparáveis a processos que se desenvolviam no espaço e no tempo, como as ondas eletromagnéticas ou as ondas sonoras. Ideias obscuras como *saltos quânticos e coisas parecidas*, desapareceriam por completo. Eu não tinha confiança numa teoria que contrariava nossa concepção de Copenhague, e fiquei perturbado ao ver que inúmeros físicos saudavam precisamente essa parte da doutrina de Schrödinger com um sentimento de libertação.[140]

A resposta à questão "por que Schrödinger *levou mais longe* as ideias de Louis de Broglie?" que formulamos acima, possui, segundo pensamos, um direcionamento certeiro: Segundo Heisenberg, Schrödinger teria conseguido "eliminar os obstáculos que por tanto tempo vinham dificultando a compreensão da teoria". Esse "passo a mais" de Schrödinger em relação à De Broglie, teria sido dado, portanto, porque Schrödinger teria eliminado as "ideias obscuras de saltos quânticos e coisas parecidas". Até aqui essas questões poderiam ser interpretadas como meros comentários de Heisenberg, o problema é que as ideias obscuras de saltos quânticos e coisas parecidas, a que se refere Heisenberg, se constituíam no coração da

[140] HEISENBERG, Werner Heisenberg *A parte e o todo*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2011, p. 88. (Os grifos inseridos no corpo da citação em itálico, bem como a parte inserida entre colchetes, são de nossa autoria).

compreensão dos fenômenos quânticos, de acordo com o grupo de Bohr e do próprio Heisenberg. Neste sentido, atentemos para o elucidativo apontamento de Heisenberg, em tom quase confessional:

> Ao longo dos anos, as muitas conversas que eu tivera com Niels Bohr, Wolfgang Pauli e outros tinham-me convencido de que é impossível construir um modelo descritivo espaço-temporal dos processos atômicos – *o elemento descontínuo que Einstein havia mencionado em Berlim como traço característicos dos fenômenos atômicos não permitia que se fizesse isso*. Tratava-se, é claro, de uma característica negativa. Ainda estávamos longe de uma completa interpretação física da mecânica quântica, mas tínhamos certeza de que era preciso nos afastar da representação objetiva de processos no espaço e no tempo. [141]

O coração da compreensão dos fenômenos atômicos pelo grupo de Bohr, do qual Heisenberg fazia parte, consiste em admitir a impossibilidade em construir um modelo descritivo espaço-temporal dos processos atômicos, justamente porque a descontinuidade é elemento determinante desses mesmos processos – assim como o paradoxo onda-partícula – com o agravante fato de que a descontinuidade proíbe a construção de qualquer modelo descritivo espaço-temporal dos processos quânticos. Vejamos como o argumento da existência da descontinuidade, enquanto característica fundamental dos processos atômicos, segundo Heisenberg, nos ajuda a acompanhar a interpretação do próprio Heisenberg em relação ao modelo descritivo de Louis de Broglie, e o modelo de Schrödinger.

Em relação à Louis de Broglie é possível inferir indiretamente o seguinte juízo: embora sua teoria tenha resguardado lugar para a descontinuidade – já que as ondas de matéria circulam em torno dos núcleos atômicos, e podem "saltar" de uma órbita eletrônica para outra (mantendo assim o elemento da descontinuidade inerente ao processo do "salto"), De Broglie teria se equivocado exatamente em *propor um modelo descritivo*, posto que segundo Heisenberg, é impossível construir um modelo descritivo espaço-temporal por conta da descontinuidade.[142]

---

[141] *Ibidem*, p. 89. (Os grifos inseridos no corpo da citação em itálico são de nossa autoria).

[142] É preciso anotar aqui, segundo sugestão do professor Osvaldo Pessoa Jr., que De Broglie não quer saltos quânticos em seu modelo, como a leitura do texto pode equivocadamente sugerir.

Em relação à Schrödinger o que ocorre, para Heisenberg, é mais grave, pois em sua mecânica ondulatória a ideia da descontinuidade é simplesmente negada, como se tal fenômeno sequer possuísse cidadania no círculo íntimo dos processos quânticos. A negação da descontinuidade, por parte de Schrödinger, foi o motivo de Heisenberg ter se sentido "perturbado" diante da calorosa recepção das ideias de Schrödinger no seio da comunidade científica, logo após a publicação dessas ideias. Neste sentido, Heisenberg afirma o seguinte:

> A interpretação de Schrödinger – foi essa a sua grande novidade – negou a existência dessas descontinuidades. Quando um átomo passava de um estado estacionário para outro, já não se dizia que ele alterava subitamente sua energia e radiava a diferença sob a forma de *quanta* einsteinianos de radiação. A radiação resultava de um processo muito diferente, a saber, da excitação simultânea de duas oscilações materiais estacionárias, cuja inferência dava origem à emissão de ondas eletromagnéticas. Essa hipótese pareceu-me ousada demais para ser verdadeira. Reuni todos os argumentos ao meu alcance para mostrar que as descontinuidades eram uma característica autêntica da realidade, por mais inconveniente que isso fosse. O argumento mais simples, é claro, era a fórmula da radiação de Planck, de cuja exatidão empírica ninguém podia duvidar, e que, afinal, levara Planck a seus *quanta* de energia discretos.[143]

Disposto a tratar de forma mais detida sobre as ideias de Schrödinger, Heisenberg se familiarizou com o novo formalismo do físico vienense e, de posse de um manuscrito onde havia desenvolvido um estudo de caso para o átomo de hélio, utilizando-se do formalismo de Schrödinger, rumou para Munique para assistir uma palestra proferida pelo próprio Schrödinger. O resultado foi frustrante, tendo Heisenberg ficado praticamente isolado na plateia ante o sucesso das demonstrações da nova teoria. Inconformado, relatou sua decepção para Bohr que, por sua vez, convidou Schrödinger a visitar Bohr em Copenhague. Após calorosos debates praticamente esgotarem as forças de ambos os lados da discussão, Heisenberg fortaleceu a convicção da importância da tentativa de compreensão ontológica dos fenômenos quânticos: "Nos meses seguintes [à conversa de Bohr com Schrödinger] a interpretação física da mecânica quântica foi o tema central de todas as conversas entre mim e Bohr."[144]

---

[143] *Ibidem*, p. 89.
[144] *Ibidem*, p. 93.

Parte II

Os problemas inerentes à objetividade dos fenômenos quânticos segundo a proposta interpretativa de Heisenberg

Capítulo 4: Os problemas inter-relacionados ao problema da objetividade dos fenômenos quânticos: a perda da referência material e a ênfase no formalismo matemático

Numa passagem que sintetiza com concisão dois aspectos centrais e intimamente interligados de seu pensamento, Heisenberg afirma que, para a ciência natural moderna, e entenda-se mais especificamente com isto o advento da física quântica a partir do final de 1900, "não há mais, de início, o objeto material, porém forma, simetria matemática."[145] De um lado, podemos reconhecer, com o advento da física quântica, o importante traço da perda da noção de materialidade, sugestionada a partir da perda da referência do objeto material; de outro lado, é possível reconhecer, em Heisenberg e em muitos físicos que fizeram parte desta mesma transição histórica, a substituição paulatina da noção de objeto material para as noções de forma e simetria matemática.

Examinemos um pouco mais de perto o que significa a perda da referência do objeto material. Na medida em que novos fenômenos vão sendo descobertos – conforme vimos no início do capítulo anterior, por exemplo, com a radiação do corpo negro, fenômeno cuja explicação por parte de Planck e Einstein, deu origem a física quântica – as antigas representações da natureza, baseadas na física clássica, começam a ruir. A consequência deste movimento transitório que avança a partir de 1900 e adentra as primeiras décadas do século XX, é a perda ou destituição progressiva da referência do objeto material, e a emergência de uma incompreensão do que seja a natureza em escala atômica. Podemos, com isso, interpretar a perda da referência ao objeto como uma *perda da capacidade de compreensão* da objetividade dos novos fenômenos quânticos, a partir do quadro conceitual da física clássica. Podemos ainda, por comodidade discursiva, remeter a esse fenômeno de *perda ou diminuição da referência ao aspecto material do objeto*, como perda da objetividade, isto é, perda da possibilidade de dizer o que a natureza (quântica) é. Lembremos que a questão que pauta nossa investigação e que serve como fio condutor de nossa pesquisa é compreender o verdadeiro significado dessa perda em Heisenberg.

Se examinarmos mais de perto esses dois aspectos nucleares do pensamento de Heisenberg, sugestionados na passagem acima referida, quer sejam, a noção de perda de objetividade provocada pela viragem da física clássica para a física moderna, e a consequente adoção de uma explicação de natureza eminentemente formal, nós veremos que esses dois

---

[145] Cf. HEISENBERG, Werner. *A descoberta de Planck e os problemas filosóficos da física atômica*, In: *Problemas da Física Moderna*. São Paulo: Editora Perspectiva,2011, p. 27.

aspectos podem nos fornecer pistas que nos levam ao epicentro da interpretação filosófica de Heisenberg acerca dos fenômenos quânticos. Antes, porém, de nos debruçarmos mais detidamente sobre cada um desses aspectos sugeridos por Heisenberg, apresentaremos o núcleo histórico-conceitual, a partir do qual emana tanto a perda da objetividade como a adoção de aspectos formais para caracterizar os processos atômicos, vistos agora em consonância com as articulações internas do pensamento de próprio Heisenberg. Neste sentido, apontaremos em seguida, algumas mudanças de rota, presentes na passagem da física clássica para a física quântica, que permitiram a viragem conceitual do arco que vai do materialismo do século XIX, para a descrição que privilegia o formalismo matemático do século XX, segundo a ótica das considerações de Heisenberg.

4.1 Os termos iniciais do problema da objetividade da natureza como o problema do "início de tudo o que existe na natureza"

O lado da passagem acima referida que trata da viragem da física clássica para a física moderna, contém uma alusão à inversão filosófica que ocorre com a interpretação da natureza desde os gregos até que a descoberta dos fenômenos quânticos no início do século XX. Como vimos na passagem aludida, Heisenberg acata implicitamente o desmonte do modelo de ciência que vigorou até o final do século XIX, modelo articulado sobre a noção central de matéria, e cuja matriz histórico-filosófica remonta ao materialismo antigo (principalmente de Demócrito).[146]

De outro lado, se acompanharmos o polo conclusivo da passagem em discussão, que aponta para uma forte tendência ao formalismo matemático, podemos reconhecer o modo como Heisenberg explicita a nova vertente interpretativa da natureza trazida á tona na primeira metade do século XX pela física moderna, notadamente a física quântica, quando afirma "não há mais, no início, o objeto material, porém forma, simetria matemática". Aproveitemos este argumento aparentemente despretensioso de Heisenberg, para formalizar os termos de nossa discussão em torno da objetividade dos fenômenos quânticos.

Qual o sentido da expressão "início" acima utilizada? A noção de "início", presente na passagem aludida, assume algo além de uma referência cronológica, alcançando o campo semântico próximo de "ponto-de-partida". Isto significa que, conforme entendemos, este

[146] Lembremo-nos que esse materialismo antigo de Demócrito e Epicuro forjou as linhas mestras do modelo de ciência do século XVII e XVIII, e, se avançarmos ainda mais a sua influência na linha do tempo, nós ainda o encontraremos presente nas teorias científicas mais maduras do século XIX, como, por exemplo, o eletromagnetismo de James Maxwell.

termo pode ser associado implicitamente aos dois contextos distintos da história da física: o início (ou ponto-de-partida) de tudo o que existe na natureza é a matéria para a física clássica, e o início (ou ponto-de-partida) de tudo o que existe na natureza é a forma (matemática) para a física quântica.

Esta noção de "início" com o sentido de ponto-de-partida, implicitamente utilizado por Heisenberg na passagem acima referida, nada mais significa do que uma forma sucinta de indagar sobre "de que é feito" tudo que existe na natureza. Podemos, portanto, formular de dois modos distintos, mas conservando o mesmo significado, a seguinte questão: *de que é feita* a natureza para o antigo materialismo de Demócrito e para a física clássica que vigorou até o fim do século XIX? Ou então a mesma questão pode se apresentar do seguinte modo: o que era o *início* de tudo o que existe para o Demócrito e para a física clássica? A resposta, para ambas as perguntas é a mesma: a matéria. Isto significa que indagar sobre o sentido do termo "início" remete à indagação "de que tudo é feito", ou, de outro modo, inquirir sobre qual *objetividade* determina em última instância a natureza, a partir de um momento histórico-científico específico.

Portanto, se considerarmos o sentido implícito que reveste a noção de início, trazido à tona a partir da referência acima, utilizada por Heisenberg, podemos considerá-lo, a partir deste viés interpretativo, como um termo próximo da noção de "início de tudo o que existe", e, deste modo próximo do problema de determinar qual objetividade constitui a natureza, nos termos que por vezes aqui privilegiamos. Deste modo, utilizaremos a indagação "o que é o início de tudo o que existe?", como equivalente à inquirição "o que determina a objetividade da natureza?". Tanto o termo "início", quanto o termo "objetividade" estão aqui assumidos no sentido da busca por aquilo que determina a natureza em última instância.

Esta digressão nos apresenta de um modo sutil a pergunta pelo início de tudo o que existe – ou a indagação pela determinação da objetividade da natureza – como proposta investigativa para a explicitação da seguinte questão: quais os aspectos internos, estabelecidos por Heisenberg, são responsáveis pela transformação radical pela qual a física experimentou com o advento da física dos fenômenos quânticos?

Conforme sabemos, para a filosofia antiga materialista e a física clássica dos séculos XVII, XVIII e XIX, o "início de tudo o que existe" era a matéria, enquanto que para alguns representantes da física moderna, notadamente de parte dos físicos ligados à compreensão dos fenômenos quânticos, entre os quais se inclui Heisenberg, "o início de tudo o que existe" não

pode simplesmente ser atribuído à concepção filosófica tradicional – antiga e moderna – de matéria, posto que a noção de matéria como algo corpuscular, maciço e indivisível será posta em cheque. O resultado desta transformação histórica da compreensão científica da natureza migrará da noção de *matéria* construída nos moldes do antigo materialismo, para uma compreensão da natureza próxima de uma *forma matemática*, no sentido de uma denúncia da impossibilidade de descrição dos fenômenos quânticos nos moldes da física clássica.

Isto significa em outros termos, que, para os físicos clássicos – cujo máximo expoente foi Isaac Newton (1642-1724) – a objetividade da natureza repousava em bases materiais, principalmente, como vimos, na antiga noção de matéria, cuja determinação fundamental repousava na noção de átomo de Demócrito. Tudo, para os físicos clássicos, derivava dos átomos, assim como, para alguns físicos alinhados ao novo modo de compreender a natureza, tudo o que existe na natureza pode ser tratado, em última instância como forma matemática, ou redutível a uma estrutura matemática, por exemplo, uma equação matemática.

Podemos, portanto estabelecer a seguinte analogia: indagar o início, ou o que é o mesmo, indagar do que são feitas as primeiras/últimas estruturas da natureza, é o mesmo que indagar qual a objetividade da natureza. Tomemos esta chave interpretativa para avançarmos na proposição de um problema que consideramos pertinente para a compreensão do pensamento de Heisenberg em relação à natureza filosófica dos fenômenos quânticos.

Se indagarmos mais amplamente sobre alguns aspectos internos envolvidos nessa transformação radical da física clássica para a física moderna, no tocante à mudança da concepção da matéria (física clássica) para a forma (física moderna) – entenda-se por física moderna, aqui neste contexto, apenas física quântica – , como relevante para compreensão da resposta de Heisenberg para a questão do início de tudo, podemos levantar a seguinte questão: quais aspectos estão interligados à viragem da noção de objetividade, na trajetória que interliga a *matéria* à *forma*, ou, dito de outro modo, quais aspectos estão inter-relacionados com a viragem histórica-filosófica que vai do moderno materialismo da física clássica (que parte da noção de matéria), para o novo idealismo da física quântica, na versão que acolhe Heisenberg (e que parte da noção de *forma*)? Eis o que nos ocuparemos doravante neste capítulo: os aspectos inerentes à compreensão dos fenômenos quânticos, a partir da ótica interpretativa de Heisenberg.

4.2 O problema da compreensão dos fenômenos quânticos em Heisenberg: a distinção entre capacidade de previsão e compreensão

Uma das facetas ilustrativas do refinamento de aspectos teórico-existenciais presentes na individualidade de Heisenberg, foi o intenso diálogo que travou, ao longo da vida, com personagens que se destacaram em diferentes campos do saber e da cultura, diálogos que marcaram decisivamente o processo de maturação de Heisenberg em diferentes fases, desde sua juventude até momentos tardios de sua maturidade. Era na interlocução privilegiada com personagens-chave do restrito círculo de cientistas que participaram na linha de frente das descobertas do recente campo da física quântica, que Heisenberg apreendeu e confrontou suas posições pessoais, engendrando as linhas mestras de suas próprias convicções filosóficas e teóricas em relação ao novo mundo dos fenômenos quânticos.

Em uma dessas interlocuções, partilhada com os amigos que faziam parte do Seminário de Sommerfeld sobre a teoria atômica de Bohr, Wolfgang Pauli e Otto Laporte, Heisenberg foi indagado por Pauli com a ironia provocativa própria do convívio entre jovens colegas, se havia finalmente compreendido a teoria da relatividade de Einstein, ao que Heisenberg respondeu lançando suspeição sobre o significado do termo "compreensão". O motivo da objeção frente ao significado do que seria "compreender algo", se situava na incômoda posição de Heisenberg em, por um lado reconhecer que dominava com certa facilidade o aparato matemático necessário para o domínio técnico dos termos teóricos em questão, e, por outro lado, não aceitava as consequências interpretativas decorrentes das formulações matemáticas einsteinianas. Nas palavras de Heisenberg:

> Foi assim que Wolfgang me perguntou – creio ter sido à noite, numa hospedaria em Grainau – se eu havia finalmente compreendido a teoria da relatividade de Einstein, que desempenhava papel tão importante no seminário de Sommerfeld. Só pude dizer que eu não sabia realmente o que significava "compreender" em nossa ciência natural. O aparato matemático da teoria da relatividade não me causava nenhuma dificuldade, mas isso não significava, necessariamente, que eu houvesse "compreendido" porque um observador em movimento, ao usar a palavra "tempo", referia-se a algo diferente de um observador em repouso. Aquilo me intrigava e me parecia incompreensível. [147]

[147] Cf. HEISENBERG, Werner. *A Parte e o Todo*. Rio de Janeiro: Ed. Contraponto, 2011, p. 41.

A reação de Wolfgang Pauli, interlocutor do diálogo em curso, ante a posição de Heisenberg acima transcrita, foi articulada para considerar o sentido de "compreensão" de uma teoria – no caso a relatividade de Einstein – levando-se em conta apenas os aspectos técnicos de sua descrição matemática, bem como a confirmação experimental dessa teoria. Para Pauli, portanto, a "compreensão" restringe-se ao domínio do aparato matemático envolvido na descrição de um determinado fenômeno, desde que exista a corroboração da mesma teoria pelas experiências que a confirmem. Heisenberg não se mostrou muito confortável com a posição esboçada por seu amigo Pauli, e o ponto de apoio que sustentou a objeção de Heisenberg consistiu em problematizar a relação entre a mudança de conceitos fundamentais construídos nas vivências cotidianas – como no caso da **noção corriqueira de tempo**, alterada radicalmente pela relatividade de Einstein, – e a linguagem expressa em forma de conceito, por exemplo, **o novo conceito de tempo relativo**, proposto por Einstein, conceito que utilizamos ao nível do pensamento teórico. Nas palavras de Heisenberg:

> Talvez eu possa me expressar desta maneira: nosso pensamento depende de esse conceito de tempo funcionar, de sermos capazes de operar com ele. Mas se o conceito ingênuo de tempo tem que ser modificado, já não sabemos dizer se a nossa linguagem e nosso pensamento continuam a ser instrumentos úteis. (...) Gostaria apenas de frisar que, todas às vezes que tentamos alterar esses conceitos fundamentais, nossa linguagem e nosso pensamento tornam-se vagos, e incerteza não combina com compreensão. [148]

A base da discussão entre os amigos Heisenberg, Pauli e Laporte, alunos do seminário de Sommerfeld, é estabelecer um critério capaz de resolver o dilema da relação entre linguagem cotidiana e linguagem científica: até que ponto é válido credenciar nossas percepções e intuições cotidianas, cristalizadas em nossa linguagem comum, como fonte de apreciação de teorias científicas, onde os conceitos cotidianos assumem contornos completamente distintos de nossas experiências corriqueiras?

---

[148] *Ibidem*, p. 42. O olhar agudo do professor Daniel Durante, orientador desta pesquisa, capturou um aspecto intrigante que não havíamos atentado: é curioso observar o modo como Heisenberg finaliza esta passagem indicando "incerteza não combina com compreensão". Como comentou Durante ao se defrontar com tal passagem, "é bastante surpreendente esta afirmação, vinda do criador do princípio da incerteza que nos ajudou a compreender bem melhor os fenômenos quânticos."

A discussão entre os amigos visava, portanto, indagar a validade da autonomia, para as questões de ciência, entre os conceitos fundamentais presentes em teorias revolucionárias, como ocorre com o conceito de tempo na teoria da relatividade de Einstein, e com nossas percepções cotidianas em relação a esses mesmos conceitos. No caso da teoria de Einstein, o que se rompera foi a tradicional crença na absolutidade do tempo, algo comum às nossas percepções cotidianas. O positivismo de Otto Laporte, o terceiro interlocutor envolvido na discussão em curso, representa um ponto de vista comum à época, que consiste em fundamentar a legitimidade de qualquer conceito em base puramente empírica, o que, segundo Otto Laporte, seria possível em termos do conceito de tempo na relatividade de Einstein, posto que por ocasião da teoria da relatividade, Einstein havia retomado a observação como fundamento do conceito de tempo. Segundo Heisenberg, Otto Laporte teria dito algo próximo dos seguintes termos:

> Só devemos usar palavras e conceitos que possam ser diretamente relacionados à percepção sensível, com ressalva, é claro, que podemos substituir a percepção direta por observações físicas complexas. Tais conceitos podem ser entendidos sem grandes explicações. O grande mérito de Einstein é justamente esse retorno aos fenômenos observáveis. Em sua teoria da relatividade, ele partiu, muito acertadamente, do pressuposto corriqueiro de que tempo é algo que se lê no relógio. Se você se ativer a esse significado corriqueiro, terá poucos problemas com a teoria da relatividade. Quando uma teoria nos permite prever corretamente os resultados de uma observação, ela nos dá toda a compreensão de que precisamos. [149]

As linhas gerais do ponto de vista de Otto Laporte, acima transcritas sintetizam as convicções muito comuns do positivismo vigente à época do debate em curso entre os amigos de Seminário, e podem ser nuclearmente enumeradas: a teoria deve se fundamentar em observações, a compreensão está atrelada ao sucesso da previsibilidade da teoria. Estas dupla ancoragem acima apontada para a teoria científica, aproximam equivocadamente, segundo Heisenberg, o par observação/previsão do significado próprio do que seja a compreensão.

Para objetar as posições de seu amigo Otto Laporte, e afastar os critérios positivistas para estabelecer o que seria a compreensão proporcionada por uma teoria científica, Heisenberg lançou mão de dois casos históricos, um colhidos na antiga história da

[149] *Ibidem*, p. 42.

astronomia, e outro na recente história da física. Em relação ao antigo testemunho da história da astronomia, Heisenberg colhe as seguintes lições no tocante ao que ele próprio acredita estar mais próximo do que seja a "compreensão" de um fenômeno natural:

> Através de exemplos históricos, procurei justificar minhas dúvidas sobre se capacidade de previsão e compreensão significam a mesma coisa. Ptolomeu partiu do pressuposto de que a terra era o corpo central e tratou as órbitas como ciclos e epiciclos superpostos. Isso lhe permitiu prever eclipses do sol e da lua com muita precisão; tanta precisão que, durante 1500 anos, sua doutrina foi considerada a base segura da astronomia. Mas será que Ptolomeu realmente compreendeu o sistema planetário? Não foi Newton, conhecendo a lei da inércia e introduzindo a força como causa da variação da quantidade de movimento, o primeiro a fornecer uma explicação apropriada para os movimentos planetários? Não foi ele o primeiro a compreender esse tipo de movimento? Para mim essa é uma questão crucial.[150]

O argumento histórico de Heisenberg, acima descrito, referido para distinguir compreensão e previsão, lança mão do conceito de causa como necessário para compor a compreensão de um fenômeno natural. Segundo esse argumento esboçado a pouco por Heisenberg, Newton compreendeu melhor os fenômenos planetários porque introduziu o conceito de força com o objetivo de determinar as causas do movimento dos planetas em torno do sol. A introdução do conceito de "causa" amplia, para Heisenberg, o poder de compreensão de uma teoria para além da pura descrição dos fenômenos, ou de sua capacidade de prever futuros eventos. Se ambos os conceitos – observação e previsão – fossem suficientes para aferir o grau compreensão de uma teoria (lembremo-nos de que a teoria de Ptolomeu durante 1500 anos conseguiu descrever os dados observados e prever, em sua época, eventos futuros, tais como eclipses solar e lunar), a teoria da gravitação de Newton não teria acrescentado significado qualitativamente distinto ante ao problema da compreensão de um fenômeno natural. A ideia de causa é, portanto, fundamental para Heisenberg ampliar a noção do que seria a compreensão de um fenômeno natural. No segundo exemplo histórico para inserir a noção de causa como aspecto crucial à compreensão de um fenômeno natural, portanto crucial a uma teoria física, Heisenberg se detém em comentar um exemplo mais recente da história da física, relacionado à história das teorias sobre a eletricidade:

---

[150] *Ibidem*, p. 43.

> No fim do século XVIII, quando os fenômenos elétricos passaram a ser mais conhecidos, os físicos puderam fazer cálculos muito precisos sobre as forças eletrostáticas que regem o comportamento dos corpos carregados, tratando-os como centros de força, à maneira da mecânica newtoniana, segundo aprendi nos seminários de Sommerfeld. Mas, somente quando o inglês Faraday modificou todo o problema e investigou os campos de força, isto é, a distribuição das forças no tempo e no espaço, surgiu uma verdadeira compreensão dos fenômenos eletromagnéticos e foram lançadas as bases em que Maxwell fundamentaria, mais tarde, suas fórmulas matemáticas.[151]

Novamente aqui se faz presente, nesta segunda incursão histórica de Heisenberg, acima transcrita, a noção de causa como algo fundamental a se inserir numa teoria científica para a correta compreensão de certos fenômenos naturais. Compreender um fenômeno natural envolve, pois, segundo Heisenberg, além da ancoragem observacional e a previsibilidade, a correta modificação do problema a ser solucionado, de modo a permitir uma nova abordagem que inclua a indagação das causas mais gerais que envolva a gama de fenômenos a ser compreendido. Após Heisenberg ser criticado por Otto Laporte, por introduzir a noção de causa como componente de uma teoria científica, ou como aspecto determinante da compreensão dos fenômenos naturais, Wolfgang Pauli intercedeu energicamente defendendo Heisenberg. A defesa da busca da causalidade dos fenômenos naturais por Pauli irá inserir uma nova diretriz para a compreensão que permitirá, segundo Pauli, investigar mais a fundo, importantes conexões envolvidas na compreensão teórica de eventos distintos na natureza. Vejamos como Heisenberg reconstrói a salvaguarda da noção de causa apresentada, na ocasião do debate, por Pauli:

> "Compreender" a natureza significa examinar mais de perto suas conexões, ter certeza de seu funcionamento interno. Esse conhecimento não pode ser adquirido por um fenômeno isolado, ou de um só grupo de fenômenos, mesmo que se descubra uma só ordem neles. O saber vem do reconhecimento de que incontáveis fatos da experiência estão interligados e, por conseguinte, podem ser reduzidos a um princípio comum. Nesse caso, a certeza se baseia nessa multiplicidade de fatos.[152]

---

[151] *Ibidem*, p. 44.
[152] *Ibidem*, p. 45.

A referência aos aspectos internos de uma teoria, bem como à capacidade de se referir a uma multiplicidade de fenômenos interligados, além da já citada busca pelas causas dos fenômenos naturais descritos por essa mesma teoria, acima indicada na tentativa de reprodução por Heisenberg do conteúdo proferido por seu amigo Wolfgang, motivou Heisenberg a modificar seu panorama inicial de suspeição da capacidade de compreensão de uma teoria quando essa teoria modifica conceitos consagrados pelo uso cotidiano, e construído a partir de nossas experiências corriqueiras – como é o caso da relatividade em relação à compreensão do novo conceito de tempo proposto por Einstein. A partir das posições de Pauli, Heisenberg admite incluir os novos conceitos construídos nas fornalhas teóricas dos novos empreendimentos investigativos, e passa a acatar a necessidade de engendrar novos conceitos para a compreensão de novos fenômenos, especialmente, como veremos na sequência, os novos fenômenos quânticos. Nas palavras de Heisenberg:

> - Então você acha – perguntei – que podemos confiar na teoria da relatividade porque ela nos ajuda a combinar numa categoria comum, ou a reduzir a uma raiz comum, uma grande profusão de fenômenos, por exemplo, da eletrodinâmica dos corpos em movimento? Como [no sentido de porque] essa coerência, estabelecida pela matemática, pode ser facilmente entendida, adquirimos o sentimento de ter compreendido a relatividade, mesmo que sejamos forçados a dar palavras "espaço" e "tempo" um sentido novo, ou digamos alterado.[153]

Lembremo-nos de pronto que inicialmente Heisenberg era resistente quanto à modificação de nossos conceitos fundamentais construídos pela percepção cotidiana. As considerações acima apontadas, de autoria de Wofgang Pauli, estabeleceram um marco decisivo para a mudança da posição inicial de Heisenberg: a partir das discussões com Pauli, Heisenberg percebeu que a compreensão teórica da natureza exige a modificação de conceitos consagrados no uso cotidiano. Tal perspectiva o motivou o suficiente para incluir também, no rol de constitutos legítimos para a construção da compreensão para além da formalidade teórica oriunda dos termos matemáticos, a busca de conexões internas que interligue a maior gama de fenômenos afins, bem como a possibilidade de alterar conceitos clássicos – tal como Einstein o fez com o espaço e o tempo em sua teoria da relatividade.

---

[153] *Ibidem*, p. 45.

Estas indicações de busca de refinamento do pensamento de Heisenberg no tocante ao que seria a compreensão de fenômenos naturais em geral, e da teoria da relatividade em particular, propiciará um movimento reflexivo mais direcionado para a busca de compreensão dos fenômenos quânticos. Se a teoria da relatividade de Einstein modificou o significado do tempo e do espaço, quais conceitos deveriam ser postos sob suspeição pelas teorias atômicas? O que estaria em jogo em relação à compreensão dos fenômenos quânticos?

4.3 O problema dos limites da linguagem intuitiva da física clássica para expressar as especificidades dos fenômenos quânticos

Na narrativa de suas incursões em torno do debate interpretativo e filosófico que acompanhava as conquistas teóricas da física quântica, Heisenberg percebeu com clareza, ao longo da vida, os principais momentos diretivos do seu amadurecimento intelectual. Muitos destes marcos referenciais para o pensamento de Heisenberg foram conquistados a partir de encontros com físicos que ocupavam a vanguarda das pesquisas quânticas, encontros cuidadosamente narrados pelo próprio Heisenberg, ocorridos desde sua época juvenil e continuando até sua plena maturação tardia.

Em outro desses encontros referenciais para o seu pensamento ocorreu com o prestigiado físico dinamarquês Niels Bohr, por ocasião de um conjunto de palestras proferidas por Bohr no verão de 1922, em Götingen. Segundo Heisenberg, ao final da terceira palestra o próprio Heisenberg levantou uma série de objeções sobre aspectos que envolviam as contribuições de Kramers, assunto que Heisenberg havia estudado no seminário de Sommerfeld que já comentamos anteriormente.

As dúvidas de Heisenberg chamaram atenção de Bohr ao ponto de estimular o físico dinamarquês a convidar Heisenberg para um passeio vespertino onde discutiriam com mais calma o tema em torno aspectos problemáticos do modelo atômico de Bohr- Rutherford, principalmente no que tange às semelhanças entre a imagem intuitiva do modelo atômico de Bohr e o modelo astronômico heliocêntrico com o sol ocupando o lugar central em torno do qual giram os planetas conhecidos. A questão avançava sobre um questionamento técnico-matemático, por parte de Heisenberg, que, de certo modo colocava em cheque aspectos centrais da teoria, mas repousava também no núcleo interpretativo do modelo atômico de Bohr, principalmente o aspecto da representação intuitiva do modelo que supunha um átomo constituído de um centro em torno do qual orbitavam os elétrons. A questão podia ser assim resumida: até que ponto é possível representar intuitivamente o átomo e suas partes

constituidoras? Em relação ao modelo atômico proposto por Bohr, em1913, e à imagem que o físico dinamarquês tinha do seu próprio modelo, Heisenberg deu o seguinte testemunho ao seu colega de seminário Wofgang Pauli um pouco antes do encontro com Bohr, por ocasião de uma discussão sobre a improvável razoabilidade das órbitas presentes modelo atômico de Bohr:

> Acho fascinante a física de Bohr, mesmo com as suas dificuldades. Com certeza, Bohr deve saber que está partindo de pressupostos que contém contradições, e, por isso, não podem corresponder à realidade. Mas ele tem um instinto infalível e usa esses mesmos pressupostos para construir modelos bastante convincentes dos processos atômicos. Bohr usa a mecânica clássica e a teoria quântica como um pintor usa os pincéis e as cores. Os pincéis não determinam o quadro, e a cor nunca é a realidade completa; mas, se conservar o quadro na mente, o artista pode usar o pincel para transmitir aos outros, não importa o quão inadequado forma sua imagem mental.[154]

Esta passagem traduz várias convicções que sintetizam o modo *pragmático* com o qual Heisenberg considera as teorias recentes da física atômica, consideradas a vanguarda da teoria atômica da época em questão, os anos em torno de 1922. Em primeiro lugar, Heisenberg considera que Bohr parte de pressupostos contraditórios, mas este fato, longe de invalidar sua teoria, apenas reconhece limites que não podiam ser ultrapassados naquele contexto epocal, mas mesmo assim tais contradições não desabonavam o intuito maior da teoria. Isto coloca um segundo aspecto interessante que repousa sobre a função mesma de uma teoria que procure dar conta de descrever fenômenos quânticos: para que serve uma teoria se o próprio autor supostamente desconfia de que parte de pressupostos contraditórios?

Para Heisenberg, a teoria científica que intenciona descrever o mundo atômico é um empreendimento apenas aproximativo e sugestional, próximo de uma nuance poética ou artística, como é o caso de um pintor que repassa para a tela a imagem que carrega consigo na intuição. Esta conotação artística e intuitiva é a entonação, conferida às palavras acima transcritas, onde Heisenberg afirma: “Bohr usa a mecânica clássica e a teoria atômica como um pintor usa os pincéis e as cores”. Em que medida o quadro pintado pela mescla da mecânica clássica com a teoria atômica é representativa das intuições de Bohr? Qual o limite da representação matemática – em forma de modelo teórico como o de Bohr – para descrever

[154] *Ibidem*, p. 49.

fenômenos quânticos utilizando-se da junção da linguagem clássica e da linguagem quântica? Aqui se encontra uma das questões centrais para a compreensão dos fenômenos quânticos em Heisenberg. Eis o que nos acrescenta Heisenberg, antes ainda do encontro com Bohr, sobre a feição artística da linguagem teórica da física atômica em geral, e das intenções de Bohr em particular:

> Bohr sabe exatamente como se portam os átomos na emissão de luz, nos processos químicos e em muitos outros fenômenos. Isso o ajudou a criar uma imagem intuitiva da estrutura dos diferentes átomos, uma imagem que ele só consegue transmitir aos outros físicos por meios inadequados, como as órbitas dos elétrons e as condições quânticas. Não é certo que ele mesmo acredite que os elétrons giram dentro do átomo. Mas está convencido da exatidão de sua imagem. O fato de ele ainda não conseguir expressá-la por meios linguísticos ou técnicas matemáticas adequadas não é um desastre. Ao contrário, aponta para uma tarefa extremamente sedutora.[155]

Para situar o problema dos limites da linguagem matemática no tocante à tentativa de construir modelos atômicos, e mais especificamente no que diz respeito ao uso da física clássica na descrição de fenômenos quânticos (lembremos, de passagem, da dificuldade em se utilizar expressões como "órbitas de elétrons", já mencionada em conversa anteriormente citada entre Heisenberg e Pauli), é importante reconhecer dois aspectos complementares nas palavras acima transcritas de Heisenberg: o primeiro aspecto centra-se no fato de que, para Heisenberg, não é certo que Bohr acredite que os elétrons giram dentro do átomo, e o segundo aspecto vincula-se ao fato de Heisenberg considerar que Bohr não conseguiu traduzir por meios linguísticos, ou por técnica matemática adequada, o modelo intuitivo que possui sobre o átomo. Por que Bohr não conseguiu traduzir em linguagem cotidiana e em imagem pictórica o que ele mesmo intuía sobre o movimento dos elétrons em torno do núcleo do átomo?

Em se tratando do modelo atômico de Bohr, o mais sofisticado para a época em questão – os idos de 1913 – já era evidente o quanto apresentava fragilidade em relação a pressupostos contraditórios, e problemas internos reconhecidos por Heisenberg, como, por exemplo, os recém-mencionados problemas envolvendo tanto o conceito de órbita, ou seja, o problema da compreensão dos processos internos a partir dos quais se desenvolve a transição dos elétrons no interior dessas órbitas.

---

[155] *Ibidem*, p. 49.

Tais fragilidades e limites internos foram confessados pelo próprio Bohr em ocasião do importante encontro que teve com Heisenberg[156], e a dificuldade central, alegada por Bohr ao longo do encontro, se situava na insuficiência da linguagem e conceitos da física clássica frente aos novos fenômenos atômicos. Segundo Heisenberg, Bohr teria afirmado algo próximo dos seguintes termos:

> Era uma tarefa sem esperança – disse ele ainda – muito diferente daquelas com que estávamos acostumados a lidar. Em toda física anterior, ou em qualquer outro ramo da ciência, se podia explicar um novo fenômeno através do uso de conceitos e métodos já disponíveis, reduzindo-os a fenômenos ou leis conhecidos. Na física atômica, porém, todos os conceitos anteriores revelaram-se insuficientes. A estabilidade da matéria nos mostra que a física newtoniana não se aplica ao interior do átomo; quando muito ela pode oferecer-nos uma orientação ocasional. Decorre daí que não há como existir uma descrição intuitiva da estrutura do átomo; todas essas descrições tem que se basear, necessariamente, em conceitos clássicos, que, como vimos, já não são aplicáveis.[157]

O ponto de partida para a construção do modelo atômico de Bohr, segundo Heisenberg, reside no problema da estabilidade da matéria, ou no que o próprio Bohr denominou de "milagre da estabilidade da matéria", mais especificamente o reconhecimento por parte de Bohr que a estabilidade da matéria seria algo completamente incompreensível para as leis da física clássica, notadamente o princípio fundamental da física newtoniana segundo o qual "todos os efeitos tem causas precisamente determinadas, e segundo o qual o

[156]Alguns dos problemas envolvidos na teoria atômica de Bohr foram reconhecidos logo de pronto pelo próprio autor, na conversa que tivera com Heisenberg, durante o famoso encontro que se deu após a terceira conferência ministrada por Bohr. No momento inicial do encontro reservado que tivera em Götingen em 1922, logo depois da conferência, Bohr teria dito a Heisenberg algo nos seguintes termos, segundo o testemunho do próprio Heisenberg: "Hoje de manhã – disse Bohr – o senhor expressou algumas restrições ao trabalho de Kramers. Devo dizer-lhe, desde já, que compreendo perfeitamente a natureza de suas dúvidas. Talvez deva explicar-lhe onde eu mesmo me situo. Basicamente, concordo muito mais com o senhor do que lhe seria possível supor; reconheço plenamente o quanto temos que ser cautelosos em afirmações sobre estrutura dos átomos. Talvez seja melhor que comece falando-lhe um pouco da história dessa teoria. Meu ponto de partida não foi, em absoluto, que o átomo seria um sistema planetário em pequena escala, e como tal, regido pelas leis da astronomia. Nunca entendi as coisas dessa maneira. Meu ponto de partida foi, antes, a estabilidade da matéria, um perfeito milagre, quando considerado do ponto de vista da física clássica." Cf. HEISENBERG, Werner. *A parte e o todo*. Rio de Janeiro: Editora Contraponto, 2011, p. 52.

[157] Cf. HEISENBERG, Werner. Rio de Janeiro: Editora Contraponto, 2011, *A parte e o todo*, p. 53.

estado atual de um fenômeno ou processo é inteiramente determinado pelo que o precedeu imediatamente, e apenas por ele."[158]

O problema central, portanto, consiste exatamente neste ponto cego da transição entre a linguagem da física clássica e os indícios experimentais oriundos das novas experiências realizadas em escalas atômicas: para o átomo ser estável é preciso compreender ou considerar essa estabilidade a partir de outros recursos conceituais que se afastem dos conceitos clássicos que envolvem o conhecimento das variáveis atuais para a determinação de um estado futuro, ou, de outro modo, o conhecimento das variáveis passadas para o conhecimento do estado atual de um sistema. Ocorre que tal conhecimento envolve a determinação, por exemplo, da posição e da velocidade de todos os objetos, no caso as partículas atômicas, tais como elétrons, que estão em movimento no evento em questão. Como aplicar a física clássica, que exige o conhecimento prévio de um sistema em sua integralidade, para eventos em escala atômica, onde não era possível admitir tal pressuposto?

É em função desta dificuldade em compreender os fenômenos quânticos a partir da física clássica, que Bohr esboçou desânimo quando, na passagem acima transcrita, atribuiu como "uma tarefa sem esperanças" a tentativa de interligar em uma teoria abrangente os vários experimentos que se desenvolveram ao longo da primeira década do século XX, a partir, sobretudo, da descoberta de Planck. Para Bohr, segundo Heisenberg, "qualquer um que tente desenvolver uma teoria assim [se utilizando de conceitos clássicos para compreender fenômenos quânticos] estará tentando o impossível" exatamente porque, "falta uma linguagem em que possamos nos fazer entender".[159]

O modelo atômico de Bohr, apesar de ter tido boa receptividade nos círculos acadêmicos na época de sua publicação, carecia desta perspectiva incontornável de apreciar numa linguagem antiga, eventos totalmente desconhecidos pelo público especialista, e esta discrepância entre uma teoria baseada em linguagem e os novos eventos atômicos recém-

---

[158] Heisenberg expõe nos seguintes termos a compreensão do que seria o "perfeito milagre" da estabilidade da matéria para Bohr: "Por 'estabilidade' – prosseguiu [Bohr] – refiro-me ao fato de as mesmas substâncias terem sempre as mesmas propriedades, de os mesmos cristais se reproduzirem, os mesmos compostos químicos, etc. Em outras palavras, mesmo depois de inúmeras alterações decorrentes de influências externas, um átomo de ferro continua a ser um átomo de ferro, com as mesmas propriedades de antes. Isso não pode ser explicado pelos princípios da mecânica clássica; não certamente se o átomo se assemelhar a um sistema planetário. Fica claro que a natureza tende a produzir certas formas (uso a palavra 'formas' no sentido mais geral) e a recriar certas formas, mesmo quando elas são perturbadas ou destruídas." Segundo Heisenberg, Bohr teria confessado que o problema da estabilidade da matéria seria uma contradição e que "Essa contradição me perturba há muito tempo." Cf. HEISENBERG, Werner. Rio de Janeiro: Editora Contraponto, 2011, p. 52 e 53.

[159] HEISENBERG, Werner. Rio de Janeiro: Contraponto, 2011, p.54.

descobertos, fez Heisenberg indagar Bohr sobre o sentido de uma teoria engendrada sob a voragem de tais limites. Bohr teria respondido algo nos seguintes termos: "Nesse tipo de situação uma teoria não pode 'esclarecer' nada, no sentido científico estrito habitual da palavra. Tudo o que ela tem esperança de fazer é revelar ligações. Quanto ao mais, ficamos tateando da melhor forma possível."[160] Diante da resposta sincera de Bohr, Heisenberg retrucou questionando qual o caminho a se tomar diante da inconformidade dos antigos conceitos em relação aos novos fenômenos, e como seria possível progredir rumo a uma superação deste impasse, ao que Bohr teria dito o seguinte, segundo Heisenberg:

> É provável que os paradoxos da teoria quântica, aqueles aspectos incompreensíveis que refletem a estabilidade da matéria, tornem-se mais claros a cada novo experimento. Se isso acontecer, restará esperar que, no devido tempo, surjam novos conceitos que de algum modo nos ajudem a apreender esses processos inexprimíveis do átomo. Mas estamos longe disso.[161]

A passagem acima transcrita, onde Heisenberg procurou reproduzir a esperança de Bohr no surgimento futuro de novos conceitos capazes de tornar mais claros, aspectos incompreensíveis inerentes à estabilidade da matéria, chamou a atenção de Heisenberg para uma conversa que tivera anos atrás com amigos de acampamento, onde, naquela ocasião, o amigo de nome Robert se detivera em considerações sobre a natureza da matéria. Robert havia defendido, naquela ocasião, a posição de que os átomos não seriam "coisas" no sentido intuitivo e tradicional que nos referimos a um objeto comum, como uma maçã, por exemplo. Vejamos como Heisenberg rememora a conversa que tivera com seu amigo Robert:

> A observação de Bohr fez-me lembrar do comentário de Robert em nossa caminhada perto do lago Starnberg, de que os átomos não eram coisas. Pois, ainda que Bohr acreditasse conhecer inúmeros detalhes da estrutura interna dos átomos, ele não via os elétrons dentro das camadas atômicas como "coisas", ou, pelo menos, não como coisas no sentido da física clássica, que trabalhava com conceitos como posição, velocidade, energia, extensão. Assim perguntei-lhe: - Se a estrutura interna do átomo é tão vedada às descrições, intuitivas, como o senhor diz, se realmente falta uma linguagem para lidar com ela, como podemos ter esperança de um dia compreender os átomos?

[160] *Ibidem*, p.54.
[161] *Ibidem*, p.54.

> Bohr hesitou um instante e disse: - Penso que seremos capazes de fazê-lo, mas, neste processo, teremos que aprender o que significa a palavra "compreender".[162]

As discussões e os desafios lançados por Bohr durante o encontro que tivera com Heisenberg pelo monte Haim, após a conferência de Bohr, ecoaram de forma profunda no processo de maturação do jovem Heisenberg, a ponto de Heisenberg reconhecer com certa ternura e respeito pela oportunidade e o tratamento digno que lhe deu Bohr em partilhar com honestidade intelectual suas mais íntimas posições científicas: "Esta caminhada – disse Heisenberg – teve repercussões profundas em meu desenvolvimento científico posterior. Talvez seja mais correto dizer que minha carreira científica começou naquela tarde."[163]

Aqui vale apontar os pontos fundamentais que balizaram os rumos dos anos juvenis do pensamento de Heisenberg: a incompreensível estabilidade da matéria frente à base teórica oferecida pela física clássica e a necessidade de uma nova linguagem conceitual capaz de propor um novo patamar de compreensão para os novos fenômenos quânticos. É esta a tarefa de buscar novo ferramental conceitual capaz de modificar o padrão clássico de compreensão, a que se proporá Heisenberg participar ativamente como protagonista.

---

[162] *Ibidem*, p. 54.
[163] *Ibidem*, p. 51.

Capítulo 5: O problema da objetividade dos fenômenos quânticos a partir dos aspectos ontológicos e epistemológicos presentes nas relações de Heisenberg

Neste capítulo iremos tratar de algumas questões conceituais reunidas em torno do objetivo de investigar delineamentos ontológicos e epistemológicos presentes nas relações de Heisenberg, e, para tanto, *assumiremos como ponto de partida e fio condutor de nossas investigações o comportamento dual onda-partícula da matéria*, ponto de partida que acreditamos possibilitar uma compreensão dos delineamentos de alguns aspectos conceituais e filosóficos presentes nas *relações de Heisenberg*.[164]

O comportamento onda-partícula presente em toda matéria, é, conforme vimos anteriormente, ao longo das discussões que apresentamos no capítulo três, é considerado por muitos físicos e filósofos que se dedicam a tais problemas como um fenômeno decisivo para fomentar parte considerável do debate em torno dos aspectos filosóficos que perpassam o mundo quântico.[165]

5.1 Aspectos histórico-conceituais introdutórios para a compreensão do problema da medição dos fenômenos quânticos

Conforme já salientamos em passagens anteriores ao longo de nossa exposição, um dos temas mais controversos e estimuladores do debate físico-teórico e físico-experimental, como também do debate filosófico-conceitual em torno dos aspectos ontológicos que subjazem a estrutura matemática da mecânica quântica, repousa na dualidade onda-partícula

---

[164] Devemos salientar que todo este capítulo será desenvolvido tendo como pano de fundo a segunda fase do pensamento de Heisenberg, que aqui denominaremos de positivista intermediária, fase que possui como marco referencial o encontro de Heisenberg com Einstein e a publicação do famoso *Princípio da Incerteza de Heisenberg*, também conhecido como *princípio de indeterminação*, ou, simplesmente, como *as relações de Heisenberg*. Essa fase se caracteriza pelo apego ao observado e a recusa em discutir mais detidamente aspectos filosóficos conceituais em torno dos fenômenos quânticos. Como dissemos em nota anterior, as fases do pensamento de Heisenberg não foram objeto de nossa investigação, de modo que nosso objetivo aqui é somente registrar os traços mais gerais de sua maturação intelectual de modo a situar minimamente o leitor em seu acompanhamento mais amplo em relação ao contexto genético-cronológico do pensamento de Heisenberg.

[165]A vinculação entre as relações de Heisenberg, a dualidade onde-partícula, bem como o modo como conceitualmente e historicamente se constituiu o enlace entre estas duas facetas da natureza serão logo adiante esclarecidas. Seguiremos inicialmente ao longo deste capítulo, algumas orientações interpretativas do professor Osvaldo Pessoa Jr. e posteriormente do professor Silvio Seno Chibeni, como mais adiante ficará explicitado. Adiantamos que o tratamento filosófico-conceitual envolvido no problema da medição dos fenômenos quânticos, bem como nas chamadas relações de Heisenberg que doravante trataremos, contou com a sustentação teórica conceitual destes reconhecidos especialistas no assunto, entre os mais respeitados em relação a essas temáticas, e que, mesmo seguindo algumas preciosas indicações por eles formuladas, reconhecemos que os problemas aqui envolvidos extrapolam em complexidade, riqueza e alcance a delimitação da abordagem aqui privilegiada, como bem demonstra os trabalhos destes pesquisadores. Portanto, nosso tratamento em torno destas temáticas visa tão somente abordar questões ontológico-metafísicas específicas que julgamos pertinentes para o curso de nossa investigação.

que caracteriza os fenômenos quânticos, caráter ambíguo que desafiou a compreensão do que de fato constitui a natureza ontológica dos fenômenos microfísicos, provocando um caloroso debate que se estendeu desde os primórdios da instauração da física quântica no início do século XX, alcançando, ainda hoje, o reconhecimento de se constituir um dos fenômenos mais desafiadores e provocativos da física quântica e de sua interpretação filosófica.

A questão central das controvérsias em torno da dualidade onda-partícula repousa em comportamentos contraditórios presentes em situações experimentais, onde ora a natureza assume um caráter ondulatório, onde a matéria se apresenta em forma de onda que se desloca no espaço, ora a natureza se apresenta como partícula. Como explicar situações tão distintas e contraditórias para o mesmo aspecto da natureza? Como compreender que um elétron, por exemplo, se comporte em algumas situações experimentais como uma onda, e em outras situações se comporte como partícula? Como conciliar a nível teórico tal contradição, e como traduzir tal contradição (ou aparente contradição) em termos filosófico-conceituais, de modo a possibilitar uma abordagem ontológica consistente dos fenômenos quânticos? Este foi um dos grandes desafios enfrentados pelas principais figuras representativas da construção da física quântica, e entre os personagens referenciais no enfrentamento da feição dual dos fenômenos quânticos encontra-se Werner Heisenberg, cujo legado remonta tanto uma participação de formulações físico-teóricas determinantes para a compreensão desta temática, como também no desenvolvimento de interpretações filosófico-conceituais, assumindo um destacado protagonismo para a determinação dos rumos subsequentes do paradoxo onda-partícula.

Para efeito de uma investigação mais consistente do que de fato está em jogo no mundo microfísico dos fenômenos quânticos, precisaremos buscar entender aspectos ontológicos decorrentes das contribuições físico-teóricas estabelecidas por Heisenberg no que ficou conhecido como as *relações de Heisenberg*, e, para tanto, precisamos em um primeiro momento acompanhar aspectos introdutórios fundamentais para a compreensão histórico-conceitual de um problema mais amplo chamado “problema da medição” ou do “problema do colapso da função de onda” em mecânica quântica. na verdade, se compreendemos corretamente o fio condutor que inter-relaciona essas duas questões, as chamadas relações de Heisenberg buscam exatamente enfrentar o problema da medição.

Como se tratam de questões técnicas que extrapolam nosso suporte formativo, iremos pautar nossa compreensão de algumas especificidades que envolvem tais problemas a partir das considerações reconhecidamente avalizadas de especialistas no assunto, como é o caso do

professor Osvaldo Pessoa Jr., cujas explanações elucidativas aqui privilegiadas, foram extraídas de um artigo de sua autoria desenvolvido no âmbito específico do tratamento da temática referida.[166]

Na abertura de considerações introdutórias do seu artigo, Osvaldo Pessoa Jr. nos aponta a dupla viragem provocada a partir do advento da física quântica no início do século XX, (principalmente a partir dos desenvolvimentos alcançados a partir da década de vinte do referido século), notadamente o que diz respeito à *radical modificação no modo como compreendemos a natureza*, bem como ao *novo papel desenvolvido pelo observador*.

Essa dupla viragem em nossa compreensão dos fenômenos naturais seriam alguns dos fatores responsáveis pela atenção dos filósofos aos novos desafios evocados pela pesquisa em física quântica. Segundo as palavras do professor Osvaldo Pessoa, a dupla novidade advinda dos fenômenos quânticos traz as seguintes diretrizes: "Por um lado, o determinismo inerente à física clássica foi substituído por uma descrição essencialmente probabilista [dos fenômenos naturais]; de outro, a doutrina positivista de se silenciar sobre o que não pode ser observado deu ao ato da medição um papel proeminente nos fundamentos da teoria."[167]

Para entendermos os dois direcionamentos apontados pelo professor Osvaldo Pessoa como responsáveis pelo recrudescimento da atenção dos filósofos, quer seja a descrição probabilista dos fenômenos quânticos (em detrimento do tratamento determinista da física clássica), e o problema da medição dos fenômenos quânticos (em detrimento da observação direta dos fenômenos clássicos sem a interferência do observador no ato da medição), precisaremos inicialmente explicitar algumas determinações inerentes ao ponto de partida estabelecido no início deste capítulo, ou seja, ao já alegado misterioso duplo caráter onda-partícula dos objetos quânticos (como elétrons, por exemplo), ou seja, precisamos nos debruçar em torno de algumas especificidades conceituais que envolvem a dualidade onda-partícula.

---

[166] Para cumprir o intuito de percorrer aspectos mais consistentes e técnicos exigidos na apresentação histórico-conceitual do problema da medição, algo que ultrapassaria os limites de nossa formação e de nossa visada metafísica, seguiremos de perto as argumentações do professor Osvaldo Pessoa Jr., especialista no tratamento do problema da medição em mecânica quântica, acompanhando o traçado presente na introdução de um de seus esclarecedores artigos voltado para esta temática. Cf. PESSOA JR., Osvaldo. *O problema da medição em Mecânica Quântica: um exame atualizado*. In: Cadernos de História e Filosofia da Ciência, UNICAMP, Série 3, n.2, julho a dezembro de 1992. pp. 177 a 184.

[167] Cf. PESSOA JR., Osvaldo. *O problema da medição em Mecânica Quântica: um exame atualizado. In: Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, UNICAMP, Série 3, n.2, julho a dezembro de 1992. p.177. [As inserções entre colchetes foram são de nossa autoria.]

Como preâmbulo aos problemas que envolvem a dualidade onda-partícula em física quântica, é oportuno comentarmos de passagem, que, para os contornos dos sistemas físicos descritos a partir da física clássica, ou seja, tomando como referência principalmente a mecânica de Newton e a eletrodinâmica clássica de Maxwell, existem dois conceitos basilares que regem os fenômenos descritos pela física clássica, quer sejam, o conceito de *partícula* e o conceito de *onda*. O termo *partícula* designa corpos materiais em geral que podem assumir propriedades como massa e carga elétrica, e que descrevem no espaço uma trajetória contínua, assumindo, para cada instante de tempo, uma posição e um momento atribuídos àquela partícula. Já o conceito de *onda* é utilizado para descrever uma perturbação ondulatória que se propaga ao longo do campo eletromagnético.[168] Em ambos os casos que circunscrevem a descrição clássica da natureza, ou seja, tanto na mecânica clássica como na teoria eletromagnética, a descrição completa de um sistema físico, ou seja, de uma específica situação experimental, consiste, para a partícula, em descrever uma trajetória espaço-temporal bem definida, e, no caso da onda, a descrição completa consiste numa variação com o tempo do campo eletromagnético espraiado por todo o espaço tridimensional.

Os sistemas clássicos acima referidos, ou seja, tanto o caso da partícula clássica como o caso da onda eletromagnética, podem ser descritos por leis e equações que permitem a previsão dos valores associados às grandezas físicas de posição e de momento, de modo que todo o sistema associado à partícula ou à onda evolui *deterministicamente*, ou seja, é possível que se conheça o estado presente ou futuro do sistema em um determinado instante de tempo, o que é efetivado através do clássico processo de medição. Isto significa que o ato de medição da posição e da velocidade de uma partícula, ou a descrição de uma onda eletromagnética não altera a trajetória da partícula, o comportamento da onda em questão. Portanto, se fosse possível descrever, por exemplo, o comportamento de uma partícula como o elétron, seguindo os pressupostos e leis da física clássica nós poderíamos prever num tempo presente ou futuro, qual seria exatamente a sua posição e sua velocidade ou momento (podemos tomar aqui, para efeito simplificador do raciocínio em curso, o momento como uma

[168]Para possibilitar o esforço necessário de uma rápida referência conceitual do comportamento dos sistemas clássicos, seguiremos de forma literal as argumentações do professor José Emílio Maiorino, preservando a clareza e a elegância de suas indicações. Cf. MAOIRINO, José Emílio. *O pensamento reducionista na filosofia de Niels Bohr*. In: Cadernos de História e Filosofia da Ciência, UNICAMP, Série 3, n.2, julho a dezembro de 1992. p. 229.

grandeza equivalente à velocidade, quando na verdade, em termos simplificados, o momento é o produto da massa pela velocidade).[169]

Podemos traduzir esta referida descrição clássica que permite, por um lado, determinar com fidelidade a posição e o momento da partícula a cada instante, e por outro descreve a variação no tempo do campo eletromagnético, a partir de duas referências conceituais: podemos afirmar que os sistemas clássicos *evoluem deterministicamente com o tempo*, e ainda afirmar que nos sistemas clássicos *o ato de medição não interfere ou modifica o fenômeno observado*. Estas duas características presentes nos fenômenos associados às partículas e às ondas eletromagnéticas, se constituíram até o final do século XIX como verdadeiros postulados clássicos pétreos, portanto indiscutíveis e inquestionáveis.

Voltemos ao texto do professor Osvaldo Pessoa Jr., e observemos o modo como a física quântica quebra ao meio os dois postulados clássicos acima referidos, inaugurando uma nova forma de compreensão dos chamados fenômenos microfísicos, o que representa uma viragem radical na abordagem da natureza em seus domínios mais ínfimos e elementares. Segundo Osvaldo Pessoa,

> A mecânica quântica pode ser estruturada da seguinte maneira. Um sistema fechado é descrito como um "estado" que evolui no tempo de maneira *determinista* (de acordo com a equação de Schrödinger). Ao contrário da mecânica clássica, este estado em geral fornece apenas as "probabilidades" de se obter diferentes resultados de uma medição. Após a medição, o sistema passa a se encontrar em um novo estado, estado este que depende do resultado obtido. Assim, pode-se dizer que no decorrer da medição o sistema evolui de maneira *indeterminista*. Esta transição tem sido chamada de "colapso do pacote de onda" ou "redução de estado", sendo descrita pelo postulado da projeção de von Neumann.[170]

Na sequência da passagem acima transcrita, Osvaldo Pessoa define os termos da emergência do problema da medição no cenário da física quântica, afirmando que o chamado problema da medição "surge da oposição entre uma evolução *determinista* regida pela equação de Schrödinger, e a evolução *indeterminista* descrita pelo postulado da projeção."[171] Se levarmos em consideração o conjunto da citação acima transcrita, observaremos uma novidade radical em relação aos fenômenos considerados pela física clássica. Há pouco vimos

---

[169] Nota sobre momento e massa das partículas (elétron)
[170] Cf. PESSOA JR., Osvaldo Pessoa Jr. *O problema da medição em Mecânica Quântica: um exame atualizado.* In: Cadernos de História e Filosofia da Ciência, UNICAMP, Série 3, n.2, julho a dezembro de 1992. pp. 177.
[171] *Ibidem*, p. 178. (grifo nosso).

como, na perspectiva da física clássica os fenômenos eram considerados sempre deterministicamente, ou seja, era sempre possível prever, a partir das equações clássicas, a posição e o momento de uma partícula qualquer. Agora, ao acompanharmos a narrativa do professor Osvaldo Pessoa, vimos acima que "após a medição o sistema passa a se encontrar em um *novo estado*, estado este que depende do resultado obtido."

Isto significa duas novidades em relação às antigas descrições clássicas: em primeiro lugar *a medição provoca uma indeterminação no sistema observado*, e, em segundo lugar, essa indeterminação agora será traduzida matematicamente pela descrição probabilista de se obter diferentes resultados para essa medição. A questão que urge ser formulada diz respeito à modificação de um estado determinista para um estado indeterminista: como um mesmo fenômeno, por exemplo, o deslocamento de um elétron, pode iniciar de um modo (determinista) e evoluir, com o tempo, para um modo completamente distinto (indeterminista)? O que acontece com o elétron no interior de seu deslocamento para modificar o seu comportamento?[172]

Antes de apresentar algumas referências que procuraram sugerir enfrentamentos teóricos para esta indagação recém-lançada, vejamos como geneticamente surgiu o problema da medição, anunciando dois momentos, no âmbito dos estudos da física teórica, que contribuíram para a formulação do problema da medição. Segundo Osvaldo Pessoa Jr., "a primeira formulação do problema da medição é em geral associada ao trabalho de von Neumann (1932), mas as raízes do problema se encontram nos primórdios da física quântica." Na sequência, diz o professor Osvaldo, "Tentaremos mostrar que o problema da medição é remanescente do paradoxo onda-partícula que afligia a física das radiações durante o primeiro quarto do século [XX]."[173]

Dois trabalhos expressaram as lacunas que a teoria clássica não alcançava: em 1897 o físico J. J. Thompson anunciou o chamado "paradoxo da quantidade" que indagava as razões

---

[172] Nas palavras do professor Pessoa Jr. esta passagem assume a seguinte diretiva: "O chamado *problema da medição* surge da oposição entre uma evolução determinista regida pela equação de Schrödinger, e a evolução indeterminista descrita pelo postulado de projeção. Esta oposição torna-se um problema quando se assumem duas hipóteses: 1) um estado quântico pode ser atribuído ao aparelho de medição macroscópico (podendo incluir o observador consciente); 2) o *sistema composto* (que inclui objeto e aparelho) pode ser considerado fechado em relação ao meio ambiente. Neste caso o sistema composto deveria evoluir de maneira determinista (pois seria um sistema quântico fechado), mas ao mesmo tempo estariam ocorrendo reduções de estado indeterministas durante as medições efetuadas pelo aparelho no objeto. Como conciliar estas duas posições contraditórias?" Cf. PESSOA JR., Osvaldo. *O problema da medição em Mecânica Quântica: um exame atualizado*. In: Cadernos de História e Filosofia da Ciência, UNICAMP, Série 3, n.2, julho a dezembro de 1992. p. 178. (grifo nosso).

[173] *Ibidem*, p. 179. [A inclusão referente ao século, escrita entre colchetes, é nossa.]

da seguinte questão: “por que apenas uma parcela ínfima de um gás é ionizada por raios X, já que seria de se esperar que todas as moléculas seriam igualmente afetadas pelo pulso de onda?”. Anos depois, em 1906, outro problema foi encontrado por W. H. Bragg, conhecido como “paradoxo da qualidade”, onde o autor indagava a seguinte questão: “dado que a frente de onda de um impulso de raios X se estende por uma área grande e apenas uma pequena parcela de sua energia deveria ser absorvida por uma molécula de gás, como é possível que toda energia do impulso seja absorvida por uma única molécula?”[174]

Notemos que em ambos os paradoxos acima descritos, tanto o paradoxo da quantidade como o paradoxo da qualidade, parece haver incongruência ou contradição entre a suposta *ação* proveniente dos *pulsos de onda dos raios X*, que se propagam por todo o espaço, e a *recepção da ação* por parte das *moléculas de gás*. Trata-se já, dos primeiros vestígios do paradoxo onda-partícula. A questão que subjazia a ambos os paradoxos poderia ser formulada nos seguintes termos: como explicar a interação de uma *onda que se propaga no tempo por todo o espaço* (ali representada pelos raios X), com *partículas que assumem posições específicas no espaço* (ali representadas pelas moléculas dos gases atingidos pelos raios X)? Em outros termos: o que são de fato as ondas e o que de fato é a matéria e como ocorre a interação entre onda e matéria? Estamos, segundo os apontamentos do professor Osvaldo Pessoa, diante do testemunho inicial dos primeiros experimentos que evidenciaram o paradoxo onda-partícula.

Passemos agora a tratar das possíveis soluções criadas para o enfrentamento do paradoxo onda-partícula. A primeira contribuição para elucidação do paradoxo onda-partícula se deu com a proposta de um modelo corpuscular para a luz, formulado por Einstein em 1905, seguido de interpretações corpusculares de alguns fenômenos físicos, dadas por Bragg e Stark. No entanto, segundo Osvaldo Pessoa, como esse modelo de Einstein não conseguia explicar o fenômeno da interferência, fenômeno observado, por exemplo, nos raios X em 1912, o modelo de explicação corpuscular da luz de Einstein se manteve temporariamente ignorado. Porém, ainda segundo o professor Osvaldo, “a confirmação experimental por Millikan da lei de Einstein para o efeito fotoelétrico, (1916), a observação do efeito fotoelétrico dos raios X e dos raios gama em 1921, e a explicação bem sucedida do efeito Compton a partir da mecânica clássica de partículas (1922), abriram o caminho para a

[174] PESSOA JR., Osvaldo. *O problema da medição em Mecânica Quântica: um exame atualizado*. In: Cadernos de História e Filosofia da Ciência, UNICAMP, Série 3, n.2, julho a dezembro de 1992, p.179.

segunda tentativa de elucidação da dualidade onda-partícula, desta vez de autoria do físico francês L. de Broglie”[175]

O passo seguinte para a formulação de um modelo quântico para a explicação da dualidade onda-partícula se deu com o surgimento da mecânica ondulatória proposta por Schrödinger (1926), onde os aspectos ondulatórios foram estendidos para toda matéria. Sobre esta nova tentativa de enfrentar o desafio de compor uma solução para o paradoxo onda-partícula, nos diz Osvaldo pessoa que “Com o surgimento da ‘mecânica ondulatória’ de Schrödinger e a evidência de que toda matéria exibe aspectos ondulatórios, os paradoxos da radiação foram estendidos para toda a matéria.”[176]

Com a contribuição de Schrödinger, segundo a qual toda matéria possui comportamento ondulatório, Osvaldo Pessoa nos lembra de outra questão que surgiu a partir de determinadas evidências experimentais: “Se toda matéria exibe aspectos ondulatórios, porque é que uma câmera escura de Wilson a radiação aparece como partícula com trajetórias bem definidas?”[177]

Aqui chegamos ao ponto que mais nos interessa no interior da narrativa que ora desenvolvemos neste item. Trata-se da tentativa de responder à pergunta apresentada no final do último parágrafo, sobre como é possível, numa câmera escura de Wilson, *a radiação aparecer como partícula com trajetória bem definida*. Segundo Osvaldo Pessoa, “a resposta que foi desenvolvida nos anos 1927-1928 atribui um papel especial para a *observação* na produção de mudança em sistemas atômicos.” Na continuação, Osvaldo Pessoa afirma que “Heisenberg foi talvez o primeiro a salientar o inevitável distúrbio causado pelo observador no sistema atômico [que está] sendo observado, ao justificar suas relações de indeterminação por meio da experiência de pensamento do microscópio de raios gama.” Será em torno destas questões que nos debruçaremos a partir de agora, buscando explicitar os aspectos ontológicos presentes nas chamadas *relações de indeterminação* de Heisenberg.

5.2 O problema da objetividade dos fenômenos quânticos presente nas *relações de Heisenberg* a partir da *interpretação epistemológica* dessas relações

Para que possamos nos adentrar na discussão de aspectos ontológicos presentes nas chamadas *relações de Heisenberg*, precisamos do suporte analítico de um estudioso do

[175] *Ibidem*, p. 179.
[176] *Ibidem*, p. 179.
[177] *Ibidem*, p. 179.

assunto, para que possamos compreender aspectos contextuais e conceituais que subjaz o aparato técnico do artigo onde Heisenberg enuncia suas famosas relações, e desta feita recorreremos a um artigo do professor Silvio Chibeni, que trata especificamente daquilo que está em jogo em termos ontológico-conceituais, nas chamadas *relações de Heisenberg*, relações também conhecidas como *princípio da incerteza de Heisenberg*.

Tal procedimento nos permitirá caminhar com mais segurança para além do aparato técnico-formal inerente aos argumentos físico-matemáticos do referido artigo de Heisenberg, e capturar vestígios de aspectos ontológicos que possam apontar suas considerações sobre a objetividade dos fenômenos quânticos. [178] Em primeiro lugar é importante apontar que a publicação onde primeiramente surgiu o texto inaugural do que ficou conhecido na literatura científica como as *relações de Heisenberg*, remonta a um artigo de Heisenberg publicado em 1927 na *Zeitschrift für Physik*, cuja versão em inglês recebeu o título *The physical content of quantum kinematics and mechanics*.[179]

Inicialmente iremos contextualizar *an passant* o pano de fundo histórico-conceitual que envolve a publicação das *relações de Heisenberg*, o que significa, antes de tudo, situar cronologicamente o artigo entre os principais fatos científicos de sua época, no tocante à produção teórica da nascente física quântica. De acordo com o professor Chibeni, menos de dois anos antes da publicação em 1927 do artigo de Heisenberg que ora nos ocupamos, o próprio Heisenberg havia, em 1925, formulado a primeira versão da mecânica quântica, e pouco tempo depois, ainda antes desse artigo vir a público, outra importante versão da mecânica quântica havia sido publicada por Schrödinger em 1926.

Neste intervalo de cerca de dois anos (1925-1927) entre a primeira versão da mecânica quântica de Heisenberg, até a publicação do artigo supracitado, publicado na *Zeitschrift*,

---

[178] O artigo do professor Silvio Chibeni (Departamento de Filosofia – IFCH – Unicamp) que estamos nos referindo tem como título *Certezas e incertezas sobre as relações de Heisenberg*. Acreditamos ser importante frisar que a procura pelo trabalho do professor Silvio Chibeni, assim como apontamos anteriormente com os encaminhamentos do professor Osvaldo Pessoa Jr., é referência acadêmica em se tratando de cada questão filosófico-conceitual específica aqui apontada na seara da física quântica. Também gostaríamos de salientar que, muita embora tenhamos nos servido dos trabalhos dos referidos professores, assumimos a responsabilidade por qualquer equívoco interpretativo, e, por último, que o fio condutor e a forma como assumimos os argumentos dos referidos autores, buscam respaldo em nossa autonomia argumentativa e visam atender nossa diretriz expositiva. Cf. CHIBENI, Silvio. *Certezas e incertezas nas relações de Heisenberg*, In: Revista Brasileira de Ensino de Física, v.27, n.2, p. 181-192, 2005.

[179] O título em português do artigo de Heisenberg, numa tradução livre, seria "*O conteúdo físico da cinemática e da mecânica quântica*". Estamos nos servindo da tradução inglesa formulada por Wheeler e Zurck, diretamente do texto em alemão publicado pela primeira vez em 1927 na *Zeitschrift für Physik* 43, p. 172-98. Cf. W. Heisenberg, *The physical content of quantum kinematics and mechanics*, trad. J.A. Wheeler e W. H. Zurck, in: *Quantum Theory and Measurement*, Princeton University Press, 1983, p. 62-84.

representou, segundo aponta Silvio Chibeni, uma intensificação ou "recrudescimento das discussões conceituais sobre o significado dos fenômenos quânticos e seu tratamento teórico."[180] É exatamente em função deste fortalecimento do interesse do significado ontológico dos fenômenos quânticos, que o artigo de Heisenberg publicado na *Zeitschrift* assume um importante viés na elucidação do aparato filosófico dos fenômenos quânticos por parte do próprio Heisenberg. Isto significa que, apesar do artigo sobre as *relações de Heisenberg* se ocupar de questões técnicas sobre aspectos físico-matemáticos da física quântica, é possível reconhecer, como procura fazê-lo Chibeni, aspectos de natureza ontológica, epistemológica e estatística presentes nas *relações de Heisenberg*.[181]

Um dos direcionamentos marcantes do artigo sobre as *relações de Heisenberg* é buscar apresentar argumentos que possibilitem ultrapassar a carência de significado ontológico presentes na incipiente produção teórica da física quântica, carência que representava uma aridez conceitual e denunciava certas contradições internas no tocante aos dois problemas fundamentais da nova física quântica, a saber, o problema da descontinuidade e o paradoxo onda-partícula. O professor Chibeni se referiu a esta preocupação de Heisenberg com a aridez ontológico-conceitual da nova física, apontando o fato de que já no início do artigo de Heisenberg, é salientado que a nova ciência, no caso a física quântica, apesar de ter aceitação imediata da comunidade científica envolvida com os fenômenos quânticos, sua interpretação física ainda estava "repleta de discrepâncias internas, que se manifestam nos argumentos sobre *continuidade versus descontinuidade*, e *partícula versus onda*." [182] Essas discrepâncias internas, continua Chibeni, "eram as mesmas que vinham assolando a física quântica desde o início do século, agravadas agora pelo fato de o novo formalismo – cujo

---

[180] Cf. CHIBENI, Silvio. *Certezas e incertezas nas relações de Heisenberg*, In: Revista Brasileira de Ensino de Física, v.27, n.2, p. 181-192. Seguiremos a contagem de páginas presente na versão online disponibilizada no site da UNICAMP, posto que, segundo consta no frontispício dessa versão "A versão publicada [na Revista Brasileira de Ensino de Física] contém diversos erros de impressão e adota sistema de referências diferentes deste original". Portanto, doravante indicaremos: Cf. CHIBENI, Silvio. *Certezas e incertezas nas relações de Heisenberg*, p.1.

[181] É exatamente este o intuito do artigo do professor Silvio Chibeni: buscar apresentar de modo conceitual as interpretações ontológicas, epistemológicas e estatísticas presentes nas relações de Heisenberg. No resumo do seu artigo o professor Chibeni anuncia: "O objetivo deste artigo é apresentar e discutir as famosas relações de Heisenberg, usualmente denominadas de 'princípio da incerteza'. A abordagem adotada é primordialmente conceitual, embora referências históricas sejam feitas para auxiliar a exposição. Distinguem-se três interpretações principais das relações, cada uma delas derivando de bases bem distintas e conduzindo a consequências físicas e filosóficas igualmente distintas." Cf. CHIBENI, Silvio. *Certezas e incertezas nas relações de Heisenberg*, p.1.

[182] Cf. CHIBENI, Silvio. *Certezas e incertezas nas relações de Heisenberg*, p.1.

poder preditivo se reconhecia prontamente – não contribuir para sua solução, muito pelo contrário."[183]

Como é possível perceber, Heisenberg procurava possibilitar, com a publicação de suas *relações* em 1927, lançar luz à compreensão de discrepâncias internas na nova teoria quântica, e tal exigência se situava principalmente na "revisão de conceitos cinemáticos e mecânicos"[184]. Esta é a chave para compreender o objetivo da publicação, por parte de Heisenberg, de suas famosas *relações* escrita no artigo em pauta. O que motiva nosso interesse neste momento de nossa investigação é explicitar aspectos vinculados ao problema da objetividade dos fenômenos quânticos em Heisenberg, decorrentes das interpretações ontológicas, e epistemológicas presentes neste artigo, sempre lembrando que o termo objetividade, no contexto de nossa escolha terminológica, nada mais representa do que aquilo que constitui, em última instância, a natureza dos fenômenos quânticos.

É curioso observar, antes de seguirmos nosso curso expositivo, que, em seu artigo de 1927, Heisenberg esteja preocupado com a "revisão de conceitos cinemáticos e mecânicos" para justamente enfrentar a aridez de referências ontológicas de sua própria formulação matemática da mecânica quântica, quase dois anos antes. Segundo Chibeni, "embora na formulação de sua versão da teoria Heisenberg tivesse mesmo deliberadamente evitado qualquer comprometimento ideológico – seguindo, pois, a onda filosófica anti-realista positivista da época – era evidente que até ele se ressentia da secura formal da teoria. [185]

O mote para uma procura, a título heurístico, de elementos ontológicos mínimos, presente no artigo de 1927, ou pelo menos uma preocupação com questões ontológicas que quebrassem a secura formal da sua própria teoria quântica, publicada em 1925, foi, conforme vimos a pouco, a "revisão dos conceitos cinemáticos e mecânicos", apontada pelo próprio

---

[183] *Ibidem*, p.2.

[184] Como veremos adiante, o que Heisenberg deseja, com a expressão "revisão dos conceitos clássicos e dinâmicos" é mostrar que certos conceitos da física clássica, como, por exemplo, os conceitos de posição e momento, não são compatíveis com o aparato teórico da física quântica, e, portanto, seu uso deve ser revisto. É exatamente este um dos motes centrais do artigo de Heisenberg em discussão.

[185] Na sequência o professor Chibeni completa seu comentário do seguinte modo: "Por mais que Bohr já viesse procurando justificar, por meio de argumentos diversos, a ruptura com a perspectiva realista típica da ciência até então, sentia-se difusamente que a elucidação de conteúdo físico da nova teoria não se poderia restringir ao mero fornecimento de regras de correspondência direta com os fenômenos, requerendo, ao menos a título de apoio heurístico, a introdução de elementos ontológicos mínimos. Tal exigência [de introdução de elementos ontológicos mínimos] se manifestava, em particular, quando da análise da revisão dos conceitos cinemáticos e mecânicos." É possível perceber com clareza, a partir das considerações tecidas pelo professor Chibeni, uma *sutil* mudança de atitude, por parte do Heisenberg das relações de 1927, do Heisenberg anti-realista ou positivista que produziu a primeira versão da mecânica quântica, em 1925, no sentido de uma procura "ao menos a título de apoio heurístico" de "elementos ontológicos mínimos." Cf. CHIBENI, Silvio. *Certezas e incertezas nas relações de Heisenberg*, p.2.

Heisenberg em seu artigo de 1927. Este é um ponto importante de nossa exposição, visto que vincula essa necessidade de revisão dos conceitos clássicos de *posição* e de *momento* (ou de velocidade), anunciada por Heisenberg nesse artigo de 1927, em conformidade com o que discutimos no item anterior. Isto significa que a revisão desses conceitos clássicos é uma exigência por conta das incongruências ou contradições interna dos próprios fenômenos quânticos, como por exemplo, as contradições presentes na dualidade onda partícula, assunto que abordamos anteriormente.

Por que esta questão da revisão dos conceitos clássicos, presente no artigo de 1927, escrito por Heisenberg, nos interessa? Porque é possível perceber, nas entrelinhas das contradições onda-partícula, apontadas pelo próprio Heisenberg, (um dos dois problemas centrais da física quântica o outro é o problema da descontinuidade), e da insatisfação com as "discrepâncias internas" da teoria quântica, também reconhecida pelo próprio Heisenberg, aspectos relevantes para o problema da objetividade dos fenômenos quânticos. Vejamos diretamente o artigo de Heisenberg, para melhor explicitarmos estas considerações.

Conforme salientamos, Heisenberg comenta no parágrafo inicial do artigo sobre as *relações de indeterminação*, escrito em 1927, o fato de que, embora a nova teoria tenha plena aceitação da comunidade científica, sua interpretação física ainda estava repleta de contradições internas que se manifestam nos argumentos sobre continuidade *versus* descontinuidade, e partícula *versus* onda. [186] Também já mencionamos que um dos aspectos destacáveis, presentes nesse mesmo artigo, consiste em reconhecer que essas discrepâncias internas vinham acompanhando a física quântica desde o início do seu desenvolvimento, e que tais insuficiências eram agravadas pelo formalismo da nova teoria, posto que, segundo vimos anteriormente com o professor Chibeni, "tal formalismo não vinha acomodado em nenhum quadro ontológico claro."[187]

---

[186] Na tradução em inglês, feita diretamente do alemão por Wheeler e Zurck, Heisenberg usa os seguintes termos: "The physical interpretation of quantum mechanics is still full of internal discrepancies, which show themselves in arguments about continuity versus discontinuity and particle versus wave. Already from this circumstance one might conclude that no interpretation of quantum mechanics is possible which uses ordinary kinematical and mechanical concepts." Cf. W. Heisenberg, *The physical content of quantum kinematics and mechanics*, trad. J.A. Wheeler e W. H. Zurck, in: *Quantum Theory and Measurement*, Princeton University Press, 1983, p. 62. [Doravante sempre faremos referência a essa tradução, apenas indicando a localização da página]

[187] Cf. CHIBENI, Silvio. *Certezas e incertezas nas relações de Heisenberg*, p.1.

O reconhecimento inicial das discrepâncias internas da nova física quântica permite Heisenberg assumir, como ponto de partida, uma estratégia pragmático-operacionalista, já no início de seu artigo sobre *as relações de indeterminação*. Segundo Heisenberg,

> Quando alguém quer ser claro sobre o que deve ser entendido pelas palavras "posição do objeto", por exemplo, do elétron (relativo a um dado referencial), então deve-se especificar experimentos definidos com ajuda dos quais se planeja medir a "posição do elétron"; caso contrário, estas palavras não tem nenhum significado. [188]

Esta compreensão operacionalista dos conceitos físicos, de viés positivista, que atrela o conceito à sua efetiva possibilidade operacional, ou seja, o conceito só ganha significado e sentido se atrelado a uma mensuração experimental, permite a Heisenberg estabelecer a experiência como um fio condutor ineliminável em termos de conjectura teórica, o que significa problematizar aspectos internos envolvidos no próprio processo de experimentação. É neste sentido que o professor Silvio Chibeni aponta, logo no início de seus comentários ao artigo de 1927 de Heisenberg, que ora discutimos, que, "embora para cada conceito mecânico tomado *individualmente* não haja, nem mesmo no domínio quântico, falta de experimentos capazes de lhe conferir legitimidade física, a *quantização* característica desse domínio impede que a posição e o *momentum* possam ser determinados experimentalmente *ao mesmo tempo* com precisão ilimitada."[189]

Este último ponto, levantado por Chibeni, diz respeito a um aspecto fundamental, em relação ao artigo de Heisenberg que agora nos ocupamos: as determinações peculiares aos fenômenos quânticos, por exemplo, o deslocamento de um elétron impede que posição e *momentum* possam ser estabelecidos com precisão ilimitada.[190] Por que isto acontece?

Para podermos acompanhar a resposta de Heisenberg para a questão "porque não é possível determinar *simultaneamente* a posição e o momento de um elétron?", recém-formulada, precisamos seguir a sugestão de Heisenberg e imaginar uma "experiência de

---

[188] Na tradução em inglês de Wheeler e Zuck, Heisenberg se utiliza dos seguintes termos: "When one wants to be clear about what is to be understood by the words "position of the object," for example of the electron (relative to a given frame of reference), then one must specify definite experiments with whose help one plans to measure the "position of the electron"; otherwise this word has no meaning." Cf. *Ibidem*, p.64.

[189] Cf. Silvio Chibeni, *Certezas e incertezas nas relações de Heisenberg*, p.7.

[190] Utilizaremos as indicações do professor Silvio Chibeni para nos ajudar a compreender os aspectos físicos do argumento de Heisenberg, e, para tanto, o professor Chibeni reforça que "é preferível seguir a apresentação mais completa feita por Heisenberg no seu livro de 1930."

pensamento" do microscópio de raios gama. Nesta experiência o que se quer é determinar a posição de uma partícula a partir de um microscópio que lança raios gama em direção à partícula que se deseja localizar a posição. Segundo Chibeni, se "o que se quer é determinar a posição de uma partícula livre (um elétron, por exemplo)" esse elétron deverá ser iluminado. [191] Neste caso, é um dado conhecido que a precisão de uma medida desse tipo será tanto maior quanto menor o comprimento de onda da radiação utilizada, portanto, é interessante que a partícula (no caso o elétron) seja iluminada por raios gama.

Nestes termos a experiência de pensamento de Heisenberg, se desenvolve, portanto do seguinte modo: uma partícula (no caso um elétron) se desloca livremente e é atingida com raios gama, a partir de um microscópio imaginário que lança raios gama, com o intuito de ser determinada a sua localização. Na sequencia do experimento, algum dos raios gama emitido pelo microscópio encontra o elétron e retorna para o microscópio com essa informação. O problema agudamente observado por Heisenberg, e que se constitui no argumento central do seu artigo, é que o fóton transfere *momentum* ao atingir o elétron, modificando – no momento do encontro entre o fóton de raio gama e o elétron – a posição e a velocidade do elétron. [192] Além disto, segundo Chibeni "esse momento não pode ser exatamente conhecido, visto que a direção do fóton espalhado fica indeterminada dentro de um ângulo." Deste modo, afirma Chibeni, "existirá uma incerteza no *momentum* final da partícula".[193]

Tanto a expressão *relações de indeterminação de Heisenberg*, como também a denominação *princípio da incerteza de Heisenberg*, ambas surgiram por conta da popularização, para o público científico e leigo, desta passagem extraída do artigo de 1927,

---

[191] Lembremo-nos que há pouco vimos a concepção operacionalista-positivista de Heisenberg, segundo a qual um conceito físico só possui significado se alguma experiência científica puder, de algum modo medir, mensurar o conceito. Essa concepção operacionalista aqui aplicada significa que a posição do elétron só pode ganhar sentido, se algum experimento puder detectá-lo, e isto só é possível se uma luz atingir o elétron e retorne a algum aparelho de medida com esta informação. No exemplo em curso, o instrumento de medida é o microscópio de raios gama, e a luz que atingirá o elétron é proveniente de uma fonte de raios gama. É por conta da fonte de luz ser proveniente dos raios gama que se justifica o nome do experimento de pensamento de Heisenberg.

[192] Apenas para efeito de acompanhamento do raciocínio, o *momentum* ou simplesmente "momento" é uma grandeza física que equivale ao produto da massa pela velocidade. Como a velocidade é uma grandeza vetorial, ou seja, é caracterizada por um módulo ou valor, direção e sentido, o momentum também é uma grandeza vetorial, portanto, ao ser atingido, o elétron modifica seu *momentum*, ou seja, é modificado o valor, a direção e o sentido do produto de sua massa pela sua velocidade, dificultando a precisão de sua localização exata. As relações de incerteza de Heisenberg, no artigo em pauta, tratam de estabelecer os limites da precisão da medida do *momentum* final do elétron. De acordo com Silvio Chibeni, essa incerteza é da ordem da constante de Planck: "como qualquer outro fator ligado a situações experimentais reais só pode contribuir aumentar tais incertezas, esse raciocínio [de Heisenberg] mostra que de fato seu produto [produto massa vezes *momentum*] está limitado por um mínimo da ordem da constante de Planck." Cf. Silvio Chibeni, *Certezas e incertezas nas relações de Heisenberg*, p.8. (Os termos entre colchetes são de nossa autoria).

[193] Cf. CHIBENI, Silvio. *Certezas e incertezas nas relações de Heisenberg*, p.8.

recém-apresentada, passagem que trata do experimento de pensamento do microscópio de raios gama, bem como das relações de indeterminação daí decorrentes, como pudemos a pouco acompanhar. Segundo Chibeni, esse artigo de Heisenberg de 1927, publicado primeiramente na *Zeitschrift*, pode ser interpretado de três modos distintos: a partir de uma interpretação ontológica, a partir de uma interpretação epistemológica, e a partir de uma interpretação estatística.

A passagem que acima tratamos, é apresentada no artigo de Chibeni como ilustrativa da interpretação epistemológica, ou seja, esse artigo de 1927 de Heisenberg pode ser interpretado em chave epistemológica, posto que, segundo Chibeni, "se o raciocínio [de Heisenberg, acima descrito, onde os raios gama colidem com o elétron mudando o seu momentum e provocando uma indeterminação na medida da posição e do momento do elétron] for aceito tais grandezas [posição e *momentum*] não poderão ser *determinadas experimentalmente* com precisão arbitrariamente grande. Trata-se, pois de incertezas (...) e incerteza é uma noção epistêmica, ou seja, relativa ao nosso conhecimento."[194]

É possível observar a partir dos aspectos ontológicos levantados no curso da exposição do experimento de pensamento referente ao microscópio de raios gama, que as passagens acima investigadas de fato permitem fundamentar considerações ontológicas diante de uma interpretação de viés epistemológico das *relações de indeterminação de Heisenberg*. Por conta deste vínculo ineliminável entre aspectos ontológicos presentes nos fenômenos quânticos e aspectos interpretativos em torno do tratamento matemático-formal desses mesmos fenômenos, procuramos desenvolver alguns esforços analíticos ao longo deste capítulo, para, em primeiro lugar embasar o ponto onde nos encontramos, e, em segundo lugar possibilitar o direcionamento que motiva nossa investigação: averiguar o argumento de Heisenberg, acima apresentado, a partir do ponto de vista da objetividade dos fenômenos quânticos. O problema pode ser colocado nos seguintes termos: em quais passagens significativas as *relações de indeterminação de Heisenberg*, apresentadas no artigo de 1927 da *Zeitschrift*, permitem apreciações sobre a *objetividade dos fenômenos quânticos*, na perspectiva de Heisenberg?

No nosso entendimento a passagem acima discutida, onde Heisenberg apresenta o experimento imaginário do microscópio de raios gama, possui traço bastante significativo quanto à questão da *objetividade dos fenômenos quânticos*, pois supõe o encontro ontológico

[194] Cf. CHIBENI, Silvio. *Certezas e incertezas nas relações de Heisenberg*, p.8.

de uma partícula em livre deslocamento (no caso em pauta, um elétron), com os fótons constituidores dos raios gama.

Quando Heisenberg assume, nos termos acima expostos, uma indeterminação na medida das grandezas envolvidas – posição e *momentum* – do elétron, significa que assume a existência ontológica de uma colisão entre o elétron e os raios gama que o atingiram, o que por sua vez transfere existência ontológica às partes envolvidas na colisão. Somente se tanto o elétron quanto e os raios gama existirem ontologicamente é possível dar curso ao argumento de indeterminação posto por Heisenberg.

Para aclarar um aspecto que consideramos fundamental, presente no argumento que ora apresentamos, salientamos o seguinte aspecto: afirmar que o elétron e os raios gama possuem existência ontológica não significa reduzi-los a uma noção de existência nos moldes da tradição que compreende a objetividade a partir da compreensão da matéria como algo rígido e delimitado no espaço – tal qual defende a noção atomista, noção, por exemplo, presente em Leucipo e Demócrito – mas nos permite sustentar *indiretamente* a existência de um fundo objetivo material para os objetos quânticos.[195]

O argumento acima engendrado se estrutura em sua feição mais elaborada nos seguintes contornos: no artigo que trata das *relações de Heisenberg* é possível inferir, a partir da plataforma do experimento de pensamento proposta pelo próprio Heisenberg, vestígio de implicação daquilo que denominamos de problema da *objetividade material dos fenômenos quânticos*, no sentido de que se *algo* colide com *algo* – no caso o raio gama colide com o elétron – é porque se considera a existência de um substrato objetivo material capaz de permitir a colisão e suas consequências físicas.

O que seria esse *algo* que colide com outro *algo*?[196] Poderíamos indagar a seguinte questão em relação à posição de Heisenberg acerca do estatuto da objetividade dos fenômenos

---

[195] Este ponto assume uma importância fundamental em nossa exposição, e será retomado de forma mais extensiva em nossa conclusão, propiciando importante suporte argumentativo para sustentação de nossa tese.

[196] Quando afirmamos que "algo colide com algo" estamos a reconhecer a ocorrência de um evento (choque) entre dois *entes* cujo estatuto ou qualidade do algo que se choca é desconhecido, ou seja, não se sabe precisar o que precisamente é aqulo que se chocou, mas é possível inferir indiretamente a sua existência – portanto sua condição de *ente* ontológico que existe, que é um algo, um que, um isto. Não é possível, evidentemente, determinar a natureza do que se chocou, mas o evento "choque" ou "colisão" é indiretamente comprovado pelo fato experimental irrefutável do desvio de posição, velocidade e *momentum* do objeto colidido (no caso, o elétron). Essa irrefutabilidade da aferição de existência do "algo" que se chocou é indiretamente deduzida do fato de que a modificação de posição, velocidade, e *momentum* do elétron jamais ocorreria do mesmo modo que se sucedeu ao "choque", caso o elétron se deslocasse sozinho e não fosse interceptado por "algo" alheio a si (no caso, a interferência do raio gama, modo capturado pelos aparelhos de medição do fenômeno.

quânticos: a noção de objetividade recém-exposta, a qual fundamenta as considerações de Heisenberg nas suas *relações de indeterminação*, se apoia na assunção de um caráter *apenas material* ou *corpuscular* para o elétron, para os raios gama, e para os demais entes constituidores dos fenômenos quânticos? É sobre isto que nos deteremos nas discussões que se seguem.

5.3 O problema da objetividade dos fenômenos quânticos presente nas *relações de Heisenberg* a partir da *interpretação ontológica* dessas *relações*

Como vimos ao longo das discussões do item anterior, as relações de Heisenberg foram, desde sua publicação, interpretadas de modos distintos – a partir de um viés epistemológico, ou a partir de um viés ontológico – dependendo das passagens que se deseje privilegiar do artigo publicado por Heisenberg em 1927, na *Zeitschrift für Physik*. Porém, em 1930, Heisenberg publicou um livro onde reelabora um dos argumentos presentes no seu texto de 1927 e introduz neste novo artigo o termo "desvio padrão", dando vazão para o surgimento de uma terceira forma de interpretar as suas *relações de indeterminação*, que acabou conhecida, a partir de Popper, como interpretação estatística.[197]

O item anterior procurou privilegiar no artigo de 1927, também conhecido como as *relações de Heisenberg*, passagens referentes à experiência de pensamento do microscópio de raios gama, o que permitiu emergir, segundo discutimos anteriormente, uma interpretação de viés epistêmico recém-abordada. Neste mesmo artigo de 1927 sobre as *relações de Heisenberg*, a interpretação epistemológica surge primeiramente, em termos expositivos, em relação à interpretação ontológica que nos ocuparemos a partir de agora, razão pela qual nos motivou a manter a ordem de apresentação original dos argumentos de Heisenberg presentes no texto de 1927.

---

[197] Em 1930, Heisenberg publicou um livro onde reelabora um dos argumentos presentes no seu texto de 1927 e introduz neste novo artigo o termo "desvio padrão", dando vazão para o surgimento de uma terceira forma de interpretar as suas relações de indeterminação, que acabou conhecida, a partir da reflexão de Popper, como *interpretação* estatística das relações de Heisenberg. Não nos deteremos na interpretação estatística, embora seja de grande relevância por ter suscitado a abertura de novas frentes no debate interpretativo e conceitual em torno do significado dos fenômenos quânticos, por considerarmos que, apesar de enriquecedores, se distanciariam de nosso propósito em curso, quer seja, evidenciar aspectos ontológicos e epistemológicos *diretamente* formulados por Heisenberg que possibilitem a compreensão de aspectos da objetividade. Cf. CHIBENI, Silvio. *Certezas e incertezas nas relações de Heisenberg*, págs. 3, 6 e 10.

A base dos argumentos desenvolvidos por Heisenberg que sustentam tanto a interpretação ontológica, como a interpretação estatística das suas *relações*, é construída a partir de encadeamento expositivo de ordem estritamente físico-matemática, exigindo do leitor-investigador uma compreensão e um desdobramento matemático-formal que fugiria de nosso alcance e objetivo. Todo o argumento ontológico repousa apenas no uso de uma determinada abordagem matemática, no caso a escolha, por parte de Heisenberg, da equação de Dirac-Jordan, para, a partir daí, alcançar as suas famosas relações de indeterminação. Por conta disto iremos nos concentrar em acompanhar argumentos de natureza conceitual, como já o fizemos no item anterior, no caso da interpretação epistemológica, procurando enxergar por sob as interpretações ontológicas e estatísticas que apresentaremos a partir de agora, argumentos que possibilitem subsidiar ilações sobre o problema da objetividade dos fenômenos quânticos.

O tratamento "ontológico" de Heisenberg emerge de forma mais clara, em seu artigo de 1927 que trata das *relações de indeterminação*, no momento em que considera os objetos quânticos representados por pacotes de onda. Este tênue viés ontológico embutido em suas *relações de indeterminação* é anunciado indiretamente por Heisenberg, a partir da escolha do referencial teórico que assume como fio condutor de sua exposição, quer seja, a teoria de Dirac-Jordan. Seguiremos a preciosa sugestão do professor Chibeni, que indica, como caminho conceitualmente mais seguro, o acompanhamento da formulação simplificada das relações de Heisenberg formulada por Bohr em 1928. Deste modo, seguir as indicações de Bohr é o caminho mais viável para driblar o tortuoso tratamento matemático de Heisenberg em seu artigo de 1927, e vislumbrar o significado ontológico-conceitual que repousa por sob o aparato físico-matemático assumido por Heisenberg em seu artigo.[198]

Vejamos, primeiramente, como Heisenberg apresenta o percurso a ser seguido em seu artigo. No anúncio do resumo do seu artigo de 1927, aqui em pauta, Heisenberg anuncia que "após definir os termos velocidade, energia, etc. para um elétron, de modo que esses termos permanecessem válidos na mecânica quântica", será mostrado que "as quantidades canonicamente conjugadas podem ser determinadas simultaneamente apenas com uma *indeterminação característica*", cuja indeterminação "é a base real para a ocorrência de

[198] *Ibidem*, p. 3.

relações estatísticas na mecânica quântica", e que "*sua* formulação matemática é dada pela teoria de Dirac-Jordan".[199]

Vejamos o resumo acima transcrito com pausa suficiente para compreendermos o significado do percurso escolhido por Heisenberg. Já vimos no item anterior que os conceitos clássicos de velocidade, *momentum*, etc. devem ser rediscutidos em se tratando de fenômenos quânticos, por conta do problema da natureza dual onda-partícula da matéria, e do problema da descontinuidade que ocorre ao nível microscópico em certos fenômenos quânticos.

Deste modo, Heisenberg propõe, em seu artigo de 1927 inicia as suas discussões a partir de uma redefinição do uso desses conceitos clássicos para ajustá-los ao uso quântico, por exemplo, para localizar a posição ou a velocidade de um elétron. Depois Heisenberg esclarece que determinar quantidades conjugadas, por exemplo, detectar simultaneamente a posição que ocupa o elétron, e sua velocidade, só é possível a partir de uma *indeterminação característica*, ou seja, não há como garantir uma medida com determinação ou certeza ilimitada, ou, em outros termos, nós nunca poderemos saber, com exatidão absoluta, simultaneamente, aonde o elétron se encontra (em um momento específico) e qual a sua velocidade.

Essa *indeterminação característica*, própria das medições de fenômenos quânticos associados a pares de grandezas conjugadas é, conforme apontou a pouco o próprio Heisenberg, *a base real para ocorrência de relações estatísticas da mecânica quântica*. Isto permite estender para a interpretação estatística o vínculo ineliminável com aspectos ontológicos dos entes quânticos, a exemplo do que procuramos apontar para a interpretação epistêmica das relações de Heisenberg. Deste modo, as três formas de interpretar as *relações de Heisenberg*, permitem estabelecer, indiretamente, considerações ontológicas, apesar do tratamento eminentemente formal dado por Heisenberg às suas *relações*.

---

[199] Na tradução em inglês esta passagem é apresentada do seguinte modo: "First we define the terms velocity, energy, etc. (for example, for an electron) which remain valid in quantum mechanics. It is shown that canonically conjugate quantities can be determined simultaneously only with a characteristic indeterminacy (§1). This indeterminacy is the real basis for the occurrence of statistical relations in quantum mechanics. Its mathematical formulation is given by the Dirac-Jordan Theory (§2)." Uma tradução livre para o português poderia assumir o seguinte arranjo: "Primeiro definimos os termos velocidade, energia, etc. (por exemplo, para um elétron) que permanecem válidos na mecânica quântica. É mostrado que as quantidades canonicamente conjugadas podem ser determinadas simultaneamente apenas com uma indeterminação característica (§1). Essa indeterminação é a base real para a ocorrência de relações estatísticas na mecânica quântica. Sua formulação matemática é dada pela teoria de Dirac-Jordan (§2)." Cf. Cf. HEISENBERG, Werner. *The physical content of quantum kinematics and mechanics*, trad. J.A. Wheeler e W. H. Zurck, in: Quantum Theory and Measurement, Princeton University Press, 1983, p. 62. (grifos nossos).

A diferença agora, em relação ao item anterior, é a natureza do argumento que Heisenberg se utilizará para alcançar seu objetivo de formular matematicamente o valor da *indeterminação característica* dos fenômenos quânticos: no item anterior o percurso foi o experimento de pensamento do microscópio de raios gama, o que possibilitou uma interpretação epistemológica das *relações*;[200] agora, conforme anunciamos a pouco, **o percurso escolhido por Heisenberg será a utilização da formulação matemática de Dirac-Jordan**, e esta nova via permitirá a emergência de uma interpretação primeiramente ontológica, e na sequência, intimamente ligada à interpretação ontológica, a aparição de uma interpretação estatística das *relações de Heisenberg*.

Para compreendermos porque a formulação matemática utilizada por Heisenberg no seu artigo sobre as *relações de indeterminação* de 1927 contém, implicitamente, pressupostos conceituais para uma interpretação ontológica e estatística das relações de Heisenberg, devemos agora recorrer, por sugestão do professor Chibeni, à forma simplificada do artigo de Heisenberg apresentada por Bohr em 1928. O artigo de Bohr deixa claro, segundo Chibeni, que "a *demonstração* [das relações de indeterminação que Heisenberg procura desenvolver no seu artigo] se baseia se baseia na dualidade onda-partícula, fortemente sugerida pelos peculiares fenômenos quânticos investigados desde o início do século XX."[201]

O argumento simplificado de Bohr assume um determinado ponto de partida, para chegar, por outro caminho – evitando demasiado entrave matemático – às mesmas relações que Heisenberg chegara, em seu artigo de 1927. Esse ponto de partida, assumido por Bohr, foi assim anunciado pelo professor Chibeni: "Partindo, pois da suposição de que os objetos

---

[200] A questão aqui em jogo já foi abordada no item anterior, porém cabe aqui uma rápida rememoração para facilitar o acompanhamento do raciocínio que desejamos desenvolver. Vimos no item anterior que, para compreender com clareza os limites da aplicação na física quântica de certos conceitos provenientes da física clássica, tais como posição e velocidade, por exemplo, de um elétron, é necessário, primeiramente, segundo Heisenberg, definir experimentos quânticos onde tais conceitos possam ser aplicados. Ocorre que para se detectar *simultaneamente* a velocidade e a posição de um elétron é necessário que uma fonte de luz atinja esse elétron e retorne a algum aparelho de medição para que seja feita a detecção dessa posição e velocidade. Mas ao ser atingido por alguma forma de radiação – no caso já discutido, lembremos que a fonte de radiação era constituída de raios gama – o elétron modifica instantaneamente sua posição e velocidade. Quando se refaz a experiência procurando apurar o nível precisão de uma medida (por exemplo, a posição), automaticamente se eleva o nível de imprecisão da outra medida (por exemplo, o *momentum*).

[201] O professor Chibeni faz as seguintes observações na sequência da passagem acima transcrita: "Do ponto de vista formal, a noção central aqui é a de "pacotes de onda", ou como prefere Bohr, campos ondulatórios ("wave fields"), que seriam formas de representação matemática dos estranhos objetos quânticos." Cf. CHIBENI, Silvio. *Certezas e incertezas nas relações de Heisenberg*, p.4. [as informações acrescidas entre colchetes na citação anterior, transcrita no corpo do texto, são de nossa autoria]

quânticos, *qualquer que seja sua natureza exata, são representáveis por pacotes de onda*, chega-se facilmente a uma versão das relações de Heisenberg".[202]

É possível agora, após a exposição da alternativa de Bohr, a qual objetivava simplificar a compreensão matemática das *relações de Heisenberg*, vislumbrar com mais clareza o sentido conceitual do caminho da equação escolhido por Heisenberg em seu artigo de 1927: a escolha de Heisenberg em seguir a partir da equação de Dirac-Jordan foi conferir um tratamento de verniz ontológico para uma compreensão eminentemente formal da natureza, ou, de outro modo, procurar referências ontológicas no próprio aparato formal ondulatório para explicar aspectos quânticos – no caso as próprias relações de indeterminação – ainda desconsiderados pela comunidade científica da época.[203]

Se lançarmos um olhar mais inquiridor, é possível supor a origem da motivação pela qual Heisenberg assumiu, em seu artigo de 1927, o aparato matemático das equações de Dirac-Jordan. O exercício desta consideração poderia arriscar a busca de uma resposta para a seguinte pergunta: Heisenberg poderia igualmente assumir como pressupostos para as suas *relações de indeterminação* aspectos das equações de Broglie, e a de Schrödinger?

A resposta para tal conjectura repousa seu fundamento exatamente no ponto onde todas as formulações citadas – ou seja, as equações de Dirac-Jordan, de Broglie e Schrödinger – possuem base conceitual comum, quer seja, a perspectiva ondulatória da matéria, ou ainda, o fato de que assumem a representação ondulatória como a base das suas formulações matemáticas. É por isso que, do ponto de vista conceitual, acreditamos ser igualmente possível utilizar o aparato de Dirac-Jordan, como o fez Heisenberg em sue artigo de 1927, mas também utilizar a noção central de pacotes de onda para representar os entes quânticos, como o fez Bohr em sua tentativa de simplificar os cálculos de Heisenberg, posto que ambos os diferentes percursos desaguam no mesmo resultado matemático, e foi exatamente isso que Bohr procurou evidenciar em seu artigo que simplifica os cálculos de Heisenberg.

Portanto, a interpretação ontológica das chamadas *relações de Heisenberg*, segundo nos aponta o professor Chibeni, decorre da escolha do referencial matemático da equação de Dirac-Jordan, cuja base matemática assume o pressuposto ondulatório como referência descritiva dos entes quânticos. Mas por qual razão Heisenberg procurou articular as suas

---

[202] Cf. CHIBENI, Silvio. *Certezas e incertezas nas relações de Heisenberg*, p.6. (grifo nosso).

[203] O professor Osvaldo Pessoa Jr. apresenta outra via interpretativa que se opõe a linha de argumentos que desenvolvemos no esteio destas considerações em curso. Segundo o professor Pessoa, Schrödinger teria adotado o formalismo de Jordan porque este seria mais elegante do ponto de vista matemático.

relações de indeterminação a partir de um ponto de partida matemático que privilegia a representação ondulatória dos fenômenos quânticos?

O que acreditamos constituir uma possível resposta para a questão acima formulada pode ser assim anunciado: o exame ontológico dos fenômenos quânticos por parte de Heisenberg é a chave para compreensão do procedimento metodológico de suas *relações de indeterminação*. Em outros termos, o que Heisenberg procurou indiretamente indagar, em termos conceituais, em suas relações, poderia assumir a feição da seguinte pergunta: o que aconteceria intimamente com os entes quânticos caso esses entes fossem constituídos de natureza eminentemente ondulatória?

Conforme vimos no item anterior, ao avaliar os aspectos ontológicos presentes na interpretação epistemológica, um ente quântico qualquer, como um elétron, por exemplo, pode ser localizado ou ter mensurado sua velocidade, caso seja detectado por alguma forma de radiação que o atinja e retorne com a informação do choque para algum aparelho de medição. Esta compreensão presente no fenômeno da medição da posição e da velocidade do elétron reuniu, conforme vimos anteriormente, a percepção ontológica da existência de partículas e ondas no domínio dos fenômenos quânticos.

Ao assumir o referencial teórico da equação de Dirac Jordan, Heisenberg manteve o estatuto ontológico conferido aos entes quânticos, ao enfatizar o caráter ondulatório do par onda-partícula. Embora a ênfase no caráter ondulatório pareça modificar o argumento desenvolvido na experiência de pensamento do microscópio de raios gama, o tratamento físico-matemático ondulatório significa que a pressuposição ontológica “onda-partícula” subsiste por sob a escolha do referencial matemático da equação de Dirac-Jordan, por parte de Heisenberg. Este viés ondulatório consiste, conforme vimos, em pensar os entes quânticos a partir do formalismo de Schrödinger ou de Broglie.

Capítulo 6: O materialismo e o idealismo como as matrizes conceituais norteadoras para a compreensão da objetividade dos fenômenos quânticos em Heisenberg

Para apresentarmos argumentações cujo propósito consiste em anunciar as relações entre a emergência dos novos fenômenos quânticos no início do século XX, e suas relações com matrizes filosóficas gregas, seguiremos as indicações de Heisenberg, a partir de uma conferência de sua autoria, realizada em um Encontro Mundial de Energia Atômica, em Genebra, cuja interlocução reunia uma plateia de professores e pesquisadores em física atômica e em filosofia, interessados no debate filosófico-epistêmico em torno da interpretação do mundo microscópico dos fenômenos quânticos.[204]

O objetivo mais amplo da conferência Heisenberg, neste Encontro Mundial de Física Atômica, era apresentar as conexões históricas que estabelecessem alguns traços aproximativos e distintivos entre a filosofia antiga, a física clássica e os novos fenômenos quânticos, bem como as especificidades de alguns aspectos interpretativos presentes na própria compreensão de Heisenberg em torno dos fenômenos quânticos.[205] O objetivo mais específico de Heisenberg nesta palestra era apresentar dois campos distintos de problemas apresentados por Planck em função de sua descoberta da quantização da energia: um desses problemas diz respeito à ontologia grega antiga e se refere à essência da matéria na polarização materialismo-idealismo, e o outro problema gira em torno de questões epistêmicas, cuja matriz remete à Kant.

O ponto de partida para as análises de Heisenberg, neste encontro em Genebra, consistiu na crise da física clássica, cuja datação, conforme já discutimos, retrocede ao final do século XIX, bem como nas novas possibilidades teóricas de superação desta crise a partir

---

[204] Devemos salientar que todo este capítulo será desenvolvido tendo como pano de fundo a terceira fase do pensamento de Heisenberg, que aqui denominaremos de idealista tardia, fase que possui, como marco referencial principal, a aproximação de Heisenberg com as ideias filosóficas de Platão, tendo Heisenberg, eventualmente, se aproximado de Aristóteles, mas, segundo pensamos, sempre resguardando um viés idealista. Essa fase, segundo acreditamos, se iniciou após o final da Segunda Guerra Mundial, em 1945, e se estendeu até a morte de Heisenberg em 1976, e se caracteriza pelo recurso em aludir a possibilidade de referência matemática para discutir mais detidamente aspectos filosóficos conceituais em torno dos fenômenos quânticos, no caso, como veremos, para tratar da conversão da energia em matéria (partículas elementares). Segundo relato do próprio Heisenberg, desde a juventude sempre existiu de sua parte uma admiração em relação ás ideias de Platão, notadamente ao *Timeu*, objeto de leitura precoce por parte de Heisenberg, porém é neste momento tardio de seu pensamento que essa admiração e influência manifestam seus efeitos mais notórios, como poderemos observar ao longo deste capítulo. Como dissemos em nota anterior, as fases do pensamento de Heisenberg não foram objeto de nossa investigação, de modo que nosso objetivo aqui é somente registrar os traços mais gerais de sua maturação intelectual para situar minimamente o leitor em seu acompanhamento mais amplo em relação ao contexto genético-cronológico do pensamento de Heisenberg.

[205] Cf. HEISENBERG, Werner. *A descoberta de Planck e os problemas filosóficos da física atômica*. In: Problemas da Física Moderna. São Paulo: Editora Perspectiva, 2011, p. 10.

da hipótese quântica de Planck, hipótese formulada como resposta ao problema da radiação do corpo negro. O foco principal da explanação de Heisenberg foi o debate interpretativo-conceitual dos fenômenos quânticos propiciado pelos trabalhos subsequentes à hipótese de quantização da energia proposta por Planck, foco a partir do qual nos apoiaremos para apresentar as principais linhas de força presente nos argumentos de Heisenberg. Heisenberg apresenta os seguintes termos iniciais de suas posições nesta conferência:

> A física moderna e, em especial a teoria quântica descoberta por Planck, cujo centenário de nascimento se comemora neste ano, levantou uma série de questões muito gerais, concernentes não só a problemas estritamente físicos, como também relacionados ao método das ciências naturais e à natureza da matéria. Tais questões levaram o físico a reconsiderar os problemas filosóficos que pareciam estar definitivamente resolvidos no estreito quadro da física clássica.[206]

Esta novidade instaurada pela descoberta do quantum por Planck, segundo Heisenberg, resultou em dois problemas fundamentais para os desdobramentos da interpretação dos fenômenos quânticos: o primeiro problema, de natureza ontológica, está relacionado à determinação da essência da matéria, problema que remete suas raízes "à velha questão dos filósofos gregos de como é possível reduzir a princípios simples, a variedade e a multiplicidade dos fenômenos que envolvem a matéria", e o segundo problema, de natureza epistemológica, remete aos questionamentos inaugurados por Kant e indaga "até onde é possível objetivar as nossas observações da natureza – ou a nossa experiência sensorial em geral – ou seja, determinar a partir dos fenômenos observados, um processo objetivo independente do observador". Trataremos, a partir de agora, de cada um desses problemas recém-referidos por Heisenberg.

6.1 Materialismo e idealismo antigo: as matrizes filosóficas que serviram de referência conceitual para compreensão dos últimos constituintes dos fenômenos quânticos

A filosofia antiga grega foi responsável, segundo Heisenberg, por inaugurar, a partir de especulações pautadas em observações de fenômenos cotidianos, a indagação em torno dos menores constituintes do mundo natural, maturando, ao longo de séculos de inquirições, suas apreciações em duas frentes antitéticas de propostas, quer sejam, o materialismo e o dualismo,

[206] *Ibidem*, p. 10.

dois “conceitos opostos que exerceram a mais poderosa influência no desenvolvimento ulterior da filosofia”. Os herdeiros mais representativos desse processo investigativo são, de um lado, o materialismo de Leucipo e Demócrito, e de outro, o idealismo de Platão.

O materialismo antigo de Demócrito e Leucipo construiu a noção de átomo como uma das mais significativas conquistas especulativas, e que viria tardiamente, no sopro dos ventos renascentistas, a se tornar um dos conceitos fundamentais para a arquitetônica conceitual da ciência moderna, se transformando numa poderosa ferramenta de apoio à interpretação dos fenômenos naturais. As formulações filosóficas antigas de Demócrito e Leucipo estabeleceram os marcos referenciais do materialismo, delimitando de modo bastante preciso as balizas que nortearam a noção do átomo como menor parte constituidora da natureza. Segundo Heisenberg,

> A teoria atômica fundada por Leucipo e Demócrito considerava as menores partículas de matéria como “aquilo que existe” no sentido mais estrito. Tais partículas foram consideradas indivisíveis e imutáveis. Eram eternas e unidades últimas; por isso eram chamadas átomos e não necessitavam nem tinham qualquer explicação ulterior. Não possuíam outras propriedades que não as geométricas. Segundo os filósofos, os átomos eram dotados de forma definitiva. Estavam separados entre si pelo espaço vazio e, graças às diferentes posições e movimentos neste espaço vazio, podiam produzir uma ampla variedade de fenômenos, mas não tinham cor nem cheiro ou sabor, e muito menos temperatura ou outras propriedades físicas, que nos são familiares.[207]

As posições de Heisenberg acima referidas delineiam com clareza as determinações ontológicas que especificam a noção do que seja o átomo para os materialistas antigos, ou “aquilo que existe no sentido mais estrito”: partículas eternas, indivisíveis, imutáveis, unidades últimas de tudo o que existe na natureza, dotadas apenas de forma geométrica, separadas entre si pelo espaço vazio e produzindo, com sua disposição e arranjo espacial tudo o que existe na natureza. Não há como desconsiderar o amplo alcance desta antiga noção materialista de átomo como força conceitual capaz de explicar, com um conjunto relativamente reduzido de determinações, tudo o que havia sido considerado como mistério na natureza. No entanto, para além das determinações ontológicas, Heisenberg sugere indícios de

[207] *Ibidem*, p. 11.

uma tensão que perpassa essa noção de átomo acima descrita, tensão que reside nas consequências epistemológicas que ultrapassam a noção de átomo como coisa indestrutível, invisível, e imutável. Esta sugestão da existência de uma tensão na concepção antiga do átomo se apresenta quando Heisenberg finaliza o comentário acima transcrito sobre o materialismo antigo, afirmando que "esses átomos constituíam o verdadeiro núcleo objetivamente real da matéria e de todos os fenômenos."[208]

É possível reconhecer , segundo nossa compreensão, uma linha tensional entre o aspecto ontológico do átomo (suas características como "núcleo objetivamente real da matéria") e o aspecto epistêmico daí decorrente (sua condição de "verdadeiro núcleo objetivamente real da matéria"). No primeiro polo da tensão, o ontológico, estamos diante de um conjunto descritivo de características supostamente presentes na noção de átomo (partículas eternas, indestrutíveis, imutáveis, etc.), no outro polo estamos aferindo uma apreciação axiológica e postulando uma condição que ultrapassa o próprio plano metafísico-especulativo das características do átomo. Guardemos estas supostas indicações de Heisenberg da existência de uma tensão interna no materialismo antigo, posto que oportunamente a ela iremos retornar quando discutirmos, um pouco mais adiante, a quebra da condição do átomo antigo como "verdadeiro núcleo objetivamente real da matéria" com o advento da física atômica.

Outra postulação filosófica antiga, referencial para a compreensão da natureza, segundo Heisenberg, remete às especulações metafísicas de Platão, particularmente presente no *Timeu*. A proposta de Platão diverge diametralmente daquela materialista de Leucipo e Demócrito acima aludida. Trata-se em Platão, segundo Heisenberg, de conceber a própria matéria como constituída de formas geométricas, portanto, a determinação última da natureza não seria material, mas sim uma forma geométrica pura. Nas palavras de Heisenberg,

> Para Platão, de outro lado, as menores partículas da matéria são, por assim dizer, apenas formas geométricas. Considera as menores partículas dos elementos idênticas aos corpos regulares da geometria. Como Empédocles, admite que os quatro elementos são terra, água, ar e fogo. Concebe as menores partículas do elemento terra como cubos, e as menores partículas do elemento água como icosaedros; identicamente, imagina como tetraedros as partículas elementares do fogo, e como octaedros, as do ar. A forma é característica para as propriedades do elemento. Em

[208] *Ibidem*, p. 11.

> contraste com Demócrito, em Platão as partículas menores não são inalteráveis ou indestrutíveis; ao contrário, podem ser resolvidas em triângulos ou ser reconstruídas a partir de triângulos.[209]

A proposta de Platão, segundo Heisenberg, é considerar as menores partículas como constituídas por formas geométricas puras, destituídas de materialidade, o que confere um caráter matemático às últimas estruturas que subjazem à tudo o que existe na natureza. Esta novidade, historicamente só antecipada por Pitágoras, recoloca em patamares totalmente diversos o problema da determinação dos aspectos últimos da pluralidade natural, reposicionando, assim como já fizera Pitágoras, a matemática no epicentro da reflexão sobre a natureza. Para Heisenberg, "nessa teoria [de Platão], portanto, elas [as partículas menores] já não são denominadas átomos", já que "os próprios triângulos deixam de ser matéria, pois não possuem dimensões espaciais". Na sequencia, Heisenberg conclui que, "em Platão, no limite mais baixo das séries das estruturas materiais, não existe efetivamente algo material, mas uma forma matemática, se preferirdes, uma construção intelectual". No desfecho das suas considerações sobre Platão, Heisenberg enfatiza o caráter matemático do idealismo do velho mestre grego, e anuncia categoricamente:

> A raiz última a partir da qual o mundo pode ser uniformemente inteligível é, segundo Platão, a simetria matemática, a imagem, a ideia; esse conceito é, portanto, denominado idealismo.[210]

Estas duas formas antitéticas grego-antigas, materialismo e idealismo, que serviram de referência filosófica para compreensão dos últimos constituintes natureza, encontram-se curiosamente repostas no debate contemporâneo ao tempo de Heisenberg, pertinente à determinação do que seria o fundamento último da natureza. É, de fato, surpreendente que, passados quase dois mil e quinhentos anos de desenvolvimento filosófico-tecnológico-científico, o debate sobre o que determina em última fronteira a natureza, ainda orbite em torno de duas polaridades amplamente conhecidas da antiga filosofia naturalista grega. Nas palavras de Heisenberg,

---

[209] *Ibidem*, p.12.
[210] *Ibidem*, p. 12.

> É digno de nota que a velha questão do materialismo e do idealismo tenha surdido novamente numa forma bem definida, graças à física atômica moderna e, particularmente, à teoria atômica. Antes da descoberta do quantum de ação de Planck, as modernas ciências naturais exatas, a física e a química, eram orientadas segundo um ponto de vista materialista. No século XIX os átomos da química e os seus constituintes, hoje denominados partículas elementares, eram considerados os únicos entes efetivamente existentes, o substrato real de toda a matéria. A existência dos átomos dispensava qualquer explicação ulterior.[211]

Muito embora a hipótese atômica tenha se consolidado como explicação referencial para a física e química, sobretudo dos meados ao final do século XIX, como nos indicou Heisenberg na passagem acima transcrita, estabelecendo uma hegemonia das posições sobre os constituintes últimos da natureza, e os átomos como "os únicos entes efetivamente existentes", a descoberta de Planck em torno dos fenômenos da radiação marcaram uma ruptura definitiva nos velhos moldes materialistas de considerar o problema da natureza da matéria. Mas o que Heisenberg salienta como a grande novidade para a física do início do século XX?

A grande novidade de Planck, segundo Heisenberg, residia especificamente na consideração do caráter descontínuo da radiação, sugerindo, através de sua descoberta, que a energia emanada pelo aquecimento do corpo negro pudesse ser considerada um somatório de pequenos pacotes ínfimos de energia, denominados quantum de energia. Esta ideia da descontinuidade da radiação, ou da "quantização da energia" era inteiramente nova, como pudemos acompanhar ao longo do terceiro capítulo desta pesquisa, e provocava uma fissura com os antigos padrões de descrição dos fenômenos da radiação descritos pelas teorias clássicas do final do século XIX. Para Heisenberg, a descontinuidade atribuída por Planck aos fenômenos da radiação era indicativa de traços mais profundos da natureza, aspectos reveladores de uma estrutura matemática intimamente relacionada aos fenômenos quântico-naturais. Segundo Heisenberg,

---

[211] *Ibidem*, p.12.

> Entretanto, Planck descobriu nos fenômenos de radiação uma qualidade de descontinuidade que parecia relacionada de modo surpreendente com a existência de átomos, mas, por outro lado, não poderia ser explicada com base na existência destes. Semelhante característica [descontinuidade], revelada pelo quantum de ação, conduziu à ideia de que a descontinuidade, assim como a existência do átomo, poderiam ser manifestações conjuntas de uma lei fundamental da natureza, de uma estrutura matemática da natureza, e que a sua formulação poderia conduzir a uma compreensão unificada da matéria, que os filósofos gregos haviam procurado.[212]

Era evidente, para Heisenberg, que as novas impostações teóricas apresentadas por Planck, notadamente o caráter descontínuo da radiação e a introdução de uma constante como uma referência aos aspectos quantitativos desse caráter mínimo da radiação, confluíam, por um lado, para a destituição do velho materialismo grego, renovado pela física clássica que prevaleceu até o final do século XIX, e, por outro lado, para o revigoramento das antigas posições idealistas gregas, representadas por Platão. Esta referência ao idealismo de Platão, como aporte filosófico-natural antigo capaz de ir além do velho materialismo, e capaz de ser reconhecido na interpretação conceitual dos novos fenômenos quânticos, é fundamental para Heisenberg:

> A existência dos átomos, por conseguinte, não constituía, talvez, um fato último, incapaz de explicação ulterior. Essa existência poderia ser atribuída, como em Platão, à ação de leis da natureza matematicamente formuláveis, isto é, ao efeito de simetrias matemáticas. [213]

6.2 A motivação reflexiva de Heisenberg em uma aposta decisiva na determinação das leis matemáticas para explicar a existência dos átomos

Mas em que aspecto mais específico, presente na lei da radiação de Planck, repousa a motivação de Heisenberg numa aposta decisiva na "ação de leis da natureza matematicamente formuláveis" para explicar a existência dos átomos? Por outro lado, em que medida a nova lei de Planck difere das leis naturais formuladas pela física clássica?

---

[212] *Ibidem*, p. 12.
[213] *Ibidem*, p. 12.

Uma rápida menção no parágrafo anterior apontou dois aspectos inovadores e relevantes, trazidos à tona pela lei da radiação de Planck, quer sejam, o caráter descontínuo da radiação, bem como à introdução, por parte de Planck, de uma constante que estabelecia a escala do limite mínimo para o quantum de radiação. Essa constante presente nas equações de Planck, conhecida como constante de Planck, se constitui como uma segunda novidade de relevância significativa, além do destacado caráter descontínuo da radiação. É sobre este ponto específico em torno da constante de Planck, que Heisenberg extrai uma distinção entre as antigas leis da física clássica, a exemplo das leis de Newton e as novas propostas de interpretação da natureza provenientes pela descoberta de Planck.

Conforme já mencionamos *an passant*, a constante de Planck aponta para a quantidade mínima a partir da qual a radiação se apresenta em pacotes ou quantum de energia. A questão da ruptura da descoberta de Planck, referida por Heisenberg, passa pela compreensão do estatuto da constante de Planck frente às demais constantes já conhecidas da física clássica. A novidade agora aponta para o fato de que a constante de Planck diz respeito a uma característica de toda natureza e não se restringe como na física clássica anterior a Planck, à propriedade de objetos, tais como a massa ou a força que atua entre dois corpos, ou seja, na física clássica as constantes se referiam a eventos isolados da natureza. Segundo Heisenberg,

> A lei da radiação de Planck também difere de modo bem característico das leis da natureza previamente formuladas. Embora as leis anteriores da natureza, por exemplo, a mecânica newtoniana, contivessem as chamadas constantes, essas constantes se referiam às propriedades dos objetos, por exemplo, à sua massa ou à intensidade da força que atua entre dois corpos ou a algo semelhante. Por outro lado, o quantum de ação de Planck, que é a constante característica na sua lei de radiação, não representa propriedade de objetos, mas propriedades da natureza.[214]

Um terceiro aspecto fundamental para Heisenberg oriundo da descoberta do *quantum* de Planck (o primeiro aspecto é o já referido carácter de descontinuidade da radiação, e o segundo aspecto fundamental é a recém-mencionada constante de Planck como propriedade da natureza), repousa na indicação indireta, novamente trazida à tona pela própria constante de Planck, da existência de diferentes escalas na natureza. De um lado, teríamos, segundo Heisenberg, a escala dos acontecimentos cotidianos, lugar onde as leis da mecânica de

[214] *Ibidem*, p. 13.

Newton conseguem descrever os fenômenos corriqueiros que nossa percepção reconhece nas suas mais variadas formas, como a queda de um objeto ou o deslocamento de um móvel. Por outro lado, teríamos os fenômenos microscópicos que ocorreriam no nível de grandeza atômico, fato que nos deixa sem referências perceptivas, e que abandonam nossa intuição à própria sorte, o que pode contaminar nossas considerações interpretativas. Vejamos como Heisenberg apresenta a terceira novidade trazida pela descoberta do quantum de Planck, novidade referente à existência de diferentes escalas (microscópica e macroscópica) na natureza:

> [O quantum da ação de Planck] Estabelece uma escala na natureza e demonstra, ao mesmo tempo, que, sob [certas] condições onde os efeitos são muito grandes em comparação com o quantum de ação de Planck (como ocorre em todos os fenômenos da vida cotidiana), os fenômenos naturais tomam um caminho diferente em relação aos casos em que os efeitos são da ordem do tamanho atômico, ou seja, do quantum de Planck. Enquanto as leis da física anterior, por exemplo, da mecânica newtoniana, seriam, no fundamental, igualmente válidas para todas as ordens de grandeza (o movimento da Lua em torno da Terra deve obedecer às mesmas leis que a queda de uma maçã da árvore, ou o desvio de uma partícula alfa que rasa o núcleo de um átomo), a lei da radiação de Planck prova pela primeira vez que há escalas na natureza e que fenômenos em diferentes graus de grandeza não são necessariamente do mesmo tipo.[215]

A indicação indireta de Planck em relação à existência de diferentes escalas na natureza foi posteriormente corroborada, nos anos seguintes, pela teoria da relatividade restrita de Einstein, onde, segundo Heisenberg, a velocidade da luz não assumiu a propriedade de uma "substância especial" representada pelo éter, mas sim uma "propriedade do espaço e do tempo, ou seja, uma propriedade geral da natureza". De acordo com Heisenberg, Einstein nos apresentou uma nova constante de medida da natureza, o que significa dizer, a exemplo do que fizera Planck com sua constante alguns anos antes, que velocidade da luz não se refere apenas enquanto medida de velocidade de objetos específicos, mas, antes, se apresenta como uma manifestação da forma de ser da natureza enquanto tal.

Atrelada à descoberta do *quantum* de Planck e à sucessiva descoberta da relatividade restrita de Einstein é possível, segundo Heisenberg, inferir consequências significativas em

[215] *Ibidem*, p. 14.

relação aos aspectos matemáticos e aos aspectos interpretativos de ambas as descobertas, consequências que dizem respeito à discrepância entre, de um lado, o limite de nossas intuições cotidianas e, por outro lado, a exigência de refinamento de nossas capacidades interpretativas diante das novidades conceituais exigidas tanto pela descoberta de Planck, como pela descoberta de Einstein.

O problema que motiva as consequências acima referidas reside no fato de que, para Heisenberg, enquanto a plena compreensão do aparato técnico-matemático ajudou a refinar a interpretação dos fenômenos relativísticos, fenômenos que ocorrem próximo da velocidade da luz (e distante de nossas percepções diárias), os fenômenos quânticos, ao contrário, permaneceram com obscuridades interpretativas numa ordem de dificuldade bem mais expressiva. Para Heisenberg:

> Depois de aclarada a estrutura matemática da teoria da relatividade restrita, tornou-se logo possível (...) analisar o significado físico dessas relações matemáticas. Isto foi feito de modo tão cabal que abriu possibilidades ao completo entendimento dos aspectos da natureza conectados com a velocidade da luz como constante de medida. As muitas discussões em torno da teoria da relatividade evidenciaram claramente que nossos conceitos profundamente arraigados dificultaram a compreensão da teoria, mas as objeções foram rapidamente superadas. Era, entretanto, muito mais difícil compreender as relações físicas ligadas à existência do quantum de ação de Planck.[216]

A Quais dificuldades se referiu Heisenberg quando afirmou que “era, entretanto, muito mais difícil compreender as relações físicas ligadas à existência do quantum de Planck”, no final da citação recém-transcrita? A dificuldade acima referida diz respeito a um desafio relacionado aos fenômenos quânticos, quer seja, ao caráter estatístico do tratamento matemático desenvolvido para descrever esses fenômenos. O tratamento físico-matemático do caráter estatístico dos fenômenos quânticos foi proposto pela primeira vez, segundo Heisenberg, em 1924 por Born, Kramers e Slater, e o apontamento fundamental desta nova diretriz teórica de descrição dos fenômenos quânticos apontava para uma inversão radical no tratamento probabilísticos dos eventos microfísicos. Segundo Heisenberg:

---

[216] *Ibidem*, p. 14.

> Não obstante, o trabalho de Born, Kramers e Slater continha o conceito decisivo de que as leis da natureza determinam não a ocorrência de um evento, mas a probabilidade de um evento verificar-se, e que essa probabilidade deve estar ligada a um campo de onda que obedeça a uma equação de onda matematicamente formulável.[217]

As consequências conceituais desta abordagem probabilística dos fenômenos quânticos são desconcertantes para os antigos padrões descritivos da física clássica, onde era perfeitamente possível a predição do movimento de um dado objeto (como por exemplo, determinar com precisão a posição e a velocidade de objetos em movimento, como a lua, ou uma maçã). A partir do tratamento estatístico de Born, Kramers e Slater, segundo Heisenberg, "as leis da natureza, formuladas em termos matemáticos, não mais determinam os próprios fenômenos, mas a possibilidade de ocorrência, a probabilidade de que algo ocorrerá."[218]

Duas questões emergem de modo desconcertante para os físicos ainda afeitos ao tratamento clássico que descrevia com precisão o movimento de objetos particulares (como a lua e a maça acima referidas). De um lado temos um amplo respaldo experimental decorrente das previsões desta nova teoria, fato que serviu para impulsionar a adesão do novo tratamento probabilístico dos fenômenos quânticos no seio da comunidade científica da época. Este respaldo experimental do caráter probabilístico da teoria de Born, Kramers e Slater pode ser ilustrado por Heisenberg quando afirma que "o fato dessa interpretação estatística reproduzir exatamente a situação experimental foi comprovado em muitas investigações". De outro lado emerge uma questão mais delicada, anunciada por Heisenberg como "o problema da compatibilidade dessa interpretação estatística com o grande cabedal de experiências colididas na chamada física clássica"[219], o que para Heisenberg era um problema "muito mais difícil". Por que o problema de compatibilizar a nova interpretação estatística dos fenômenos quânticos com as antigas experiências descritivas acumuladas pela física clássica se apresentava "muito mais difícil"?

Esta incompatibilidade entre a nova roupagem estatística dos fenômenos quânticos, formulada por Born, Kramers e Slater, e as antigas descrições da física clássica representa um ponto chave no redirecionamento dos esforços para compreensão da natureza. Para

---

[217] *Ibidem*, p. 15.
[218] Ibidem, p. 16.
[219] *Ibidem*, p. 17.

entendermos esta questão, Heisenberg desenvolve o seguinte argumento: até antes do surgimento da hipótese quântica de Planck e da primeira versão teórica mais elaborada da descrição estatística por Born, Kramers e Slater, a física clássica associava a ocorrência de um fenômeno físico ao comportamento pontual de um macro objeto (a lua, ou a maçã) ou de um micro objeto (o átomo ou uma molécula). A este respeito, Heisenberg nos diz o seguinte:

> Todas as experiências dependem de uma relação inequívoca entre a observação e os fenômenos físicos em que ela se baseia. Se, por exemplo, medimos a linha espectral de uma frequência definida com uma grade de difração, tomamos como dado que os átomos de uma substância radiante devem ter emitido luz com essa frequência. Ora, se uma chapa fotográfica é escurecida, supomos que ela foi atingida naquele ponto por raios de partícula de matéria. Destarte, a física, coligindo dados experimentais, utiliza-se da determinação inequívoca dos eventos, e assim encontra-se, aparentemente, como que oposta à situação experimental no campo atômico e à teoria quântica. E nesse ponto que é posta em causa a inequívoca determinação dos eventos. [220]

A nova situação experimental no campo atômico, bem como a nova base teórica estatística trazida à tona pela teoria quântica de Born, revela um distanciamento das antigas relações inequívocas entre observação e fenômenos físicos: não é possível mais, à luz dos novos parâmetros teórico-experimentais, garantir qual micro objeto físico provocou um determinado fenômeno observado. No exemplo mencionado na passagem acima por Heisenberg, é impossível determinar qual partícula específica de matéria provocou o escurecimento de um ponto específico da chapa metálica. Qual seria a saída para que esta nova plataforma teórico-experimental, advinda do caráter estatístico da mecânica quântica proposta por Born, ultrapassasse a antiga relação causal da física clássica que vinculava cada evento com o objeto que o provocou?

Segundo Heisenberg, o problema da inconsistência entre as experiências acumuladas na física clássica, onde sempre era possível determinar o objeto, ou a partícula que provocava um dado efeito, e a nova descrição estatística oferecida pela recente física quântica, repousa na insuficiência dos antigos conceitos da física clássica para o enfrentamento teórico dos novos desafios experimentais, o que em última instância significa uma insuficiência simultânea de nosso aparato intuitivo ainda baseado nas antigas relações causais da física

[220] *Ibidem*, p. 16.

clássica, reinantes até o final do século XIX, bem como dos limites conceituais da física clássica.

Isto significa que a descoberta de Planck, em 1900, e a formulação estatística da mecânica quântica proposta por Born, Kramers, e Slater, em 1924, concorreram para o enfraquecimento tanto do primado da determinação causal pertinente ao par objeto-causador e efeito-causado, par conceitual que vigorou praticamente desde o atomismo de Leucipo e Demócrito na Grécia antiga, como também para o enfraquecimento de nossa base intuitiva formulada a partir das experiências da antiga física clássica. Nas palavras de Heisenberg o apontamento do descompasso entre os conceitos e intuições atrelados à antiga física clássica, e os novos desafios postos pelos recém-descobertos fenômenos quânticos assume a seguinte expressão:

> Nesses campos da física atômica boa parte da antiga física intuitiva fica por certo perdida. Não apenas a aplicabilidade dos conceitos e leis da mencionada física, mas toda a representação da realidade que serviu de base às ciências naturais exatas até a época atual da física atômica. Com a expressão "representação da realidade" designamos aqui o conceito de que há fenômenos objetivos que ocorrem de maneira definida no espaço e no tempo, sejam ou não observados. Na física atômica, as observações não podem mais ser observadas de uma maneira tão simples; isto é, não é possível referi-las a algo que se verifica objetivamente ou de modo descritível no espaço e no tempo. [221]

Como é possível observar a partir do apontamento de Heisenberg na parte final da passagem acima transcrita, não é possível observar os novos fenômenos quânticos "de uma maneira tão simples", isto é, como se fossem ainda pertinentes ao par intuitivo-causal clássico, ou, nas palavras de Heisenberg, como se pudéssemos concebê-los sob a ótica da relação causa e efeito de um fenômeno "que se verifica objetivamente ou de modo descritível no espaço e no tempo." A quebra desta possibilidade de verificação e de descrição no espaço e no tempo de um objeto ou uma partícula em movimento, referidos por Heisenberg na passagem acima transcrita, próprios dos empreendimentos da física clássica, põe em relevo a discussão dois problemas centrais para a investigação que ora desenvolvemos: existe uma objetividade própria dos fenômenos quânticos independentemente do que observamos? A

[221] *Ibidem*, p. 20.

representação teórica dos fenômenos quânticos consegue alcançar a objetividade dos fenômenos quânticos? Vejamos o que podemos extrair das indicações recém-referidas de Heisenberg.

As indicações de Heisenberg na passagem acima transcrita estabelecem dois planos distintos para o problema da objetividade: o primeiro plano assume a impostação ontológica conferida pela física clássica à natureza. Neste plano ontológico, de domínio da física clássica, a natureza possui estatuto ontológico próprio, independente da observação, e a teoria captura os fenômenos como são em si, reproduzindo o comportamento pontual de cada fenômeno e descrevendo matematicamente a relação causal, que é antes de tudo ontológica. A objetividade, no plano ontológico da física clássica é considerada a partir do conceito clássico de "representação da realidade", isto é, "o conceito de que há fenômenos objetivos que ocorrem de maneira definida no espaço e no tempo, sejam ou não observados". É importante salientar que Heisenberg não apresenta o seu pronto aval ao conceito de "representação da realidade", mas o considera admissível como conceito em termos amplos, ou seja, em termos de domínio da física clássica.

O segundo plano de reflexão, plano que podemos designar como epistemológico, gira em torno da seguinte questão: Heisenberg considera possível aplicar o conceito clássico de "representação da realidade" aos fenômenos quânticos? É possível considerar a objetividade própria dos fenômenos quânticos, a partir da noção de objetividade construída pela física clássica? De outro modo, é possível importar a concepção clássica e aplicá-la a uma descrição completa dos fenômenos quânticos no espaço e no tempo? Como já visto anteriormente, a resposta de Heisenberg, a ambas as questões recém-formuladas, é negativa em função do que já apontamos anteriormente. Isto significa que os fenômenos quânticos não podem ser observados "de uma maneira tão simples", portanto, como nos diz Heisenberg ao fim da citação acima transcrita, não é possível referir as observações "a algo que se verifica objetivamente ou de modo descritível no espaço e no tempo".

O pano de fundo em que Heisenberg apoia a sua argumentação de não reconhecer a objetividade dos fenômenos quânticos nos moldes da "representação da realidade" oriunda da física clássica é a distinção entre *natureza* e *ciência da natureza*, o que pode ser traduzido, pela designação acima referida, como a distinção entre *plano ontológico* e *plano epistemológico*. Segundo Heisenberg, no âmbito da física clássica a natureza pode ter uma objetividade própria, ou seja, a natureza, tomada em *macro* situações – situações que

ultrapassam o domínio quântico – pode assumir certos traços característicos independentes da observação. Neste âmbito da experiência pautada por nossas intuições cotidianas é igualmente possível postular uma descrição de objetos em termos de causa-efeito como, por exemplo, descrever com sucesso a posição e a velocidade de um objeto como a lua, ou a maçã. No entanto, no âmbito dos fenômenos quânticos, onde a observação direta de cada partícula se torna mais difícil, Heisenberg rechaça a antiga descrição clássica, posto que, para ele, no âmbito dos fenômenos quânticos, *a ciência da natureza não pode mais alcançar a descrição completa dos fenômenos observados*.

Esta dificuldade em observar diretamente o que faz cada partícula, introduz o importante problema dos limites históricos da ciência, tomando como referência o caso específico da física quântica como representação historicamente construída pelo homem para explicar a natureza. Para introduzir a temática da ciência como representação histórica, Heisenberg aponta a seguinte digressão:

> Resta acrescentar que a ciência da natureza não lida com a própria natureza, mas de fato com a ciência da natureza, tal como o homem a considera e a descreve. Isso não introduz um elemento de subjetividade na ciência natural. Não pretendemos de forma alguma que as ocorrências no universo dependam de nossas observações, mas assinalamos que a ciência natural se encontra entre a natureza e o homem, e que não podemos renunciar ao uso da intuição humana ou das concepções inatas.[222]

Heisenberg aborda, nesta passagem acima transcrita, um aspecto decisivo para a explicitação dos limites da física clássica em relação aos desafios inerentes à compreensão dos fenômenos quânticos: não é o cientista (no caso, o físico quântico) que introduz o elemento subjetivo na ciência natural, ou seja, não é a física quântica, como nova forma de compreensão da ciência natural em relação aos fenômenos microscópicos, que impõe uma dependência do mundo (atômico) em relação às observações e medições aferidas pelos cientistas. Trata-se, no entanto, de reconhecer o limite de nossa capacidade intuitiva e experimental em descrever espaço-temporalmente a ação específica de cada partícula ao nível quântico, portanto trata-se de reconhecer os limites próprios de uma atividade humana, de uma nova forma histórica assumida pela ciência natural, representada pela física quântica.

[222] *Ibidem*, p. 20.

Para Heisenberg, a *centralidade epistêmica* historicamente construída pela nova física quântica não repousa na tentativa de fazer com que a natureza corresponda às formas matemáticas propostas pelas teorias quânticas, mas sim em apresentar a roupagem matemático-estatística da apropriação possível dos fenômenos atômicos.

A descrição estatística do mundo quântico ainda provoca a ruptura, segundo Heisenberg, das explicações da natureza de inspiração materialista, as chamadas "filosofias materialistas", de vertente tanto antiga quanto moderna. Para Heisenberg, as explicações materialistas da natureza sempre se orientaram historicamente no sentido da diretriz determinante do materialismo em aspirar uma descrição cabal das menores partes da matéria, o que equivale a afirmar a realidade dos objetos (tais como árvores ou pedras) fundada na possibilidade expressão do caráter descritivo individual de cada partícula constituidora desse objeto num dado fenômeno natural. A este declínio do materialismo imputado pelas novas descrições estatísticas das teorias quânticas, nos diz Heisenberg:

> Semelhante caráter da teoria quântica [caráter estatístico dos fenômenos quânticos] já torna difícil seguir inteiramente o programa da filosofia materialista e descrever as menores partículas de matéria, as partículas elementares, como a realidade verdadeira. À luz da teoria quântica, tais partículas elementares não são mais reais no mesmo sentido dos objetos da vida cotidiana, árvores ou pedras, mas se apresentam com abstrações derivadas da matéria real da observação, no verdadeiro sentido.[223]

Heisenberg apresenta um aspecto ainda mais comprometedor do edifício analítico-conceitual do antigo materialismo, aspecto que foi calcado em longa série de base experimental acumulada nas primeiras décadas do século XX, e que remete ao seguinte apontamento: as partículas elementares, antes consideradas os últimos constitutos da matéria e de tudo que há, por um lado não são mais reconhecidas como eternas e imutáveis, mas transmudam-se umas nas outras, e por outro nem sequer podemos garantir que sejam elas mesmas as últimas partículas, ou se são compostas de outras partículas menores ainda não observadas. A este respeito nos diz Heisenberg:

[223] Ibidem, p. 20.

> Entrementes, nos últimos vinte anos o desenvolvimento da física atômica conduziu-nos para ainda mais longe dos conceitos fundamentais da filosofia materialista na acepção antiga. Experiências mostraram que os corpos que devemos considerar indubitavelmente como as menores partículas de matéria, as chamadas partículas elementares, não são eternos e inalteráveis, como Demócrito supunha, mas podem transmudar-se um no outro. No caso, naturalmente, cumpre primeiro estabelecer as nossas bases para descrever essas partículas elementares como as menores partículas da matéria. Do contrário, poderíamos acreditar que as referidas partículas se compõem de outros corpos menores, que por sua vez seriam eternos e inalteráveis.[224]

Como a física moderna pode contribuir concretamente para a elucidação desta aporia que consiste em uma de duas alternativas possíveis, de um lado a estranha via da infinita divisão sucessiva das partículas em partículas cada vez menores, e de outro lado, a via materialista do encontro das supostas últimas partículas indivisíveis da natureza? Segundo Heisenberg, a física atômica não pode recorrer a instrumentos que dilacerem as partículas, cindindo-as ao meio como o faria uma faca, restando o único recurso possível de fazê-las chocar-se entre si, o que de fato é tentado em aceleradores de partículas, que basicamente consistem em túneis quilométricos onde, no interior dos quais, viajam partículas elementares com propulsão poderosa o suficiente para permitir uma colisão, já que essas partículas viajam em direção contrária umas às outras, provocando choques que ocorrem com altíssimas velocidades. O choque entre si das partículas resulta num conjunto de outras partículas elementares, gerando situações experimentais que permitem investigar o resultado qualitativo oriundo do processo de alta aceleração. De acordo com Heisenberg,

> Descobriu-se que a cisão [entre as partículas] pode ocorrer, sem dúvida. Às vezes, de um choque desse tipo origina-se um grande número de partículas e, de um modo surpreendente e paradoxal, as partículas oriundas da colisão não são menores do que as partículas elementares que foram rompidas. Elas próprias são novamente partículas elementares. Esse paradoxo tem explicação no seguinte fato: segundo a teoria da relatividade a energia é conversível em massa. As partículas elementares às quais os aceleradores forneceram grande quantidade de energia cinética, com a ajuda dessa energia, conversível em massa, [as partículas elementares] podem gerar novas partículas elementares. [225]

[224] *Ibidem*, p. 21.
[225] *Ibidem*, p. 22.

O paradoxo do choque entre as partículas no interior dos aceleradores de partículas, referido por Heisenberg na citação recém-transcrita, pode ser resumido nos seguintes termos: as partes resultantes da quebra das partículas elementares não são necessariamente menores do que a unidade representada pela partícula inicial. Este aparente absurdo, que pode ser explicado, segundo Heisenberg, pela possibilidade de conversão entre massa e energia prevista pela teoria da relatividade de Einstein, expressa, mais uma vez, o caráter contra sensitivo da física moderna, reforçando a ideia anteriormente mencionada da quebra de nossa ancoragem intuitiva cotidiana por parte da física quântica. Heisenberg procura aqui novamente nos lembrar do fato de que os aspectos experimentais dos fenômenos quânticos afastam-nos da base sensorial com a qual costumamos lidar com fenômenos macroscópicos corriqueiros, tais como o movimento da lua, ou a queda de uma maçã.[226]

A conversão de partículas elementares em outras partículas elementares a partir da colisão (por exemplo, de partículas como prótons) no interior de aceleradores, demanda a utilização de altas quantidades de energia cinética fornecida pelos aceleradores às partículas em movimento, energia em quantidade alta o suficiente para permitir a ruptura da estrutura da qual é feita a partícula (o próton, no caso do exemplo sugerido). O que se depreende, para Heisenberg, deste esfacelamento de partículas provocado pelo choque em altíssimas velocidades, é bastante significativo, posto que

> Podemos exprimir esse fenômeno [fenômeno da conversão de partículas elementares em outras partículas elementares no interior dos aceleradores de partícula] do seguinte modo:

[226] É preciso anotar aqui a observação feita pelo professor Osvaldo Pessoa Jr. ao se deparar com esta passagem: o chamado "paradoxo do choque" não significa que a parte é maior que o todo, e que, apesar da conversão da energia em massa, há, ao final do processo, conservação de energia. Segundo ainda observou o professor Pessoa, se entendemos bem a sua colocação, na teoria quântica de campos existe a admissão da criação de partículas a partir do "vazio" ou do "vácuo", pois ambos possuem energia, já que as partículas podem surgir a partir da flutuação da energia. Estas observações enriquecem o acompanhamento do raciocínio em curso em duas direções possíveis, segundo assim o entendemos, e assumindo o risco de possíveis equívocos: em primeiro lugar, se a teoria quântica de campos estiver correta não existe o vazio absoluto, pois é possível a "criação" de matéria pelo "vazio" ou "vácuo", posto que ambos, como foi dito, possuem energia. Isto significa que Parmênides estava certo no sentido de sua premissa "o Ser é", e o não-ser não é" indicar a inexistência do vazio ou do nada. De acordo com esta possibilidade de flutuação de energia do vácuo, segundo Pessoa Jr. o próprio espaço possui substancialidade. Nos termos que privilegiamos, entendemos – por nossa conta e risco – que o espaço possui *objetividade material* para a teoria quântica de campos, no sentido de que o espaço, para essa teoria, não ser um puro nada, o que, segundo pensamos é um impedimento para se pensar o espaço como pura idealidade, apenas como formas matemáticas (*objetividade ideal*). Em segundo lugar, também assumindo o risco de nossa apreensão, pensamos que se há criação de partículas a partir do vazio, como indicado, isto pode tornar mais complexo o entendimento da conversão matéria-energia no interior dos aceleradores de partículas.

> todas as partículas elementares são compostas da mesma substância, isto é, energia. [As energias] Constituem as várias formas que a matéria deve assumir a fim de tornar-se matéria. No caso reaparece o par de conceitos, "conteúdo e forma" ou "substância e forma", da filosofia aristotélica. Energia não é apenas a força que mantém o "todo" em movimento contínuo; é também – como o fogo na filosofia de Heráclito – a substância fundamental do que é feito o mundo. A matéria origina-se quando a substância energia é convertida na forma de uma partícula elementar.[227]

A energia representa, portanto, para Heisenberg, aquilo que constitui, em última instância, as últimas unidades da matéria, portanto, de acordo com o raciocínio de Heisenberg, a energia constitui as partículas elementares, ou, de outro modo, as partículas elementares são formas de expressões da energia. A energia se encontra, para Heisenberg, na posição correspondente àquela ocupada pela substância de Aristóteles, e, do mesmo modo como ocorre com a substância em Aristóteles, onde a substância é composta por forma e matéria, e onde a forma é que se manifesta em diversos modos assumidos na diversidade da matéria, a energia, para Heisenberg, se manifesta nos modos assumidos pelas vinte e cinco partículas elementares conhecidas até então pela comunidade científica da época em questão.

Para Heisenberg, existem fortes indícios experimentais de que essas partículas elementares – lembremo-nos da alusão acima de que "todas as partículas elementares são constituídas da substância originária *energia*" – podem ser descritas por certas estruturas matemáticas fundamentais. Isto significa, de acordo com Heisenberg, que as vinte e cinco partículas elementares até então conhecidas são "consequências de uma lei fundamental matematicamente exprimível da qual as partículas elementares são uma solução". Assim as partículas elementares assumem o caráter de *solução possível de uma lei fundamental da natureza expressa em linguagem matemática*. Para Heisenberg,

> As partículas elementares são, pois, as formas fundamentais que a substância energia deve assumir a fim de converter-se em matéria, e tais formas básicas precisam de algum modo ser determinadas por uma lei fundamental em termos matemáticos.[228]

[227] *Ibidem*, p. 23.
[228] *Ibidem*, p. 25.

Esta compreensão de Heisenberg que intenciona reduzir as vinte e cinco variações das partículas elementares até então conhecidas a uma lei fundamental expressa em linguagem matemática, não considera as estruturas matemáticas como realidades últimas ontologicamente existentes, mas sugere *que o caráter qualitativo do que seja a matéria em seus últimos constitutos só seja possível alcançar epistemologicamente, ou seja, através da abordagem abstrata e formal da matemática*.[229] Mas afinal, Heisenberg está mais alinhado aos materialistas antigos, por exemplo, Demócrito, ou aos idealistas antigos, por exemplo, Platão?

A compreensão do lugar que Heisenberg ocupa no espectro filosófico que vai do materialismo antigo de Demócrito ao idealismo de Platão precisa ser considerada a partir do que denominamos de *pragmatismo de Heisenberg*. Esta designação encerra em si todos os desdobramentos anteriores que perfazem a posição filosófica de Heisenberg, no sentido do reconhecimento dos limites da física clássica em compreender a objetividade própria dos fenômenos quânticos. A disposição frequente, repetidas vezes empreendida por Heisenberg, vai também apontar os limites da compreensão da natureza também presente na física quântica – basta lembrarmos dos limites apontados pelo ato da medição nas relações de Heisenberg – e culmina na compreensão de física quântica e dos fenômenos atômicos, como o resultado de um momento histórico-científico específico, referente às primeiras décadas do século XX.

Este contexto histórico-científico que compreende a crise da física clássica e as primeiras décadas da física quântica, período aqui amplamente discutido, forjou em Heisenberg um posicionamento reflexivo que exigia uma correspondente coerência do seu alinhamento filosófico, no sentido de um refinamento de sua interpretação dos fenômenos quânticos. Isto se dá, segundo Heisenberg, por conta dos limites técnicos do aparato tecnológico de medição dos fenômenos quânticos, pois, apenas a título ilustrativo, é impossível sequer descrever concomitantemente a exata posição e velocidade de uma partícula quântica elementar.

---

[229] Uma das ancoragens desta descrição matemático-formal do substrato "energia", substrato que subjaz as partículas elementares, pauta-se, segundo Heisenberg, em duas condições decorrentes de processos experimentais: em primeiro lugar, a indicação da existência de simetrias em procedimentos experimentais que envolvem as partículas elementares - simetrias que devem estar presentes em uma equação fundamental da matéria - e, em segundo lugar, essa equação fundamental deve conter, segundo Heisenberg, pelo menos três constantes universais, a saber, a constante de Planck, a velocidade da luz, e um comprimento universal da ordem do número dez elevado à potência negativa onze.

Mas como conciliar o alegado *pragmatismo de Heisenberg* frente a sua disposição de situar a energia como o substrato último da matéria, energia, como vimos a pouco, responsável por dar forma às vinte cinco partículas conhecidas à época de Heisenberg? Compreender a energia como última "fronteira" da natureza não seria uma atitude própria de alguma forma de materialismo? Aqui está o ponto nodal da questão. Situar a energia como último constituinte da matéria não aproxima Heisenberg de uma variante do materialismo, pois, segundo Heisenberg, essa energia só pode ser alcançada a partir do *conhecimento matemático*, de uma descrição puramente matemática, de uma espécie de lei natural fundamental escrita em linguagem matemática.

O ponto de chegada de nosso empreendimento analítico pode então clarificar a *atitude pragmática de Heisenberg*: o que está em jogo não é mais o que a natureza é em suas entranhas ontológicas, mas a descrição epistemológica pela via da formalização matemática. A atitude que buscava representar matematicamente "o que a natureza é" era própria de um impulso materialista da física clássica, impulso que poderíamos qualificar de *horizonte ontológico de significação da natureza*, o que, conforme acompanhamos ao longo da segunda parte deste trabalho, se mostrou insuficiente para interpretar os fenômenos quânticos.

A atitude correta, para Heisenberg, oriunda do amadurecimento penoso trazido pela complexidade e contraditoriedade dos fenômenos quânticos, é buscar apenas representar matematicamente a natureza, sem com isso supor estarmos tratando "o que a natureza é". Este novo impulso inaugura um novo horizonte que poderíamos qualificar de *horizonte epistemológico de significação da natureza*, que defendemos estar presente em Heisenberg a partir do reconhecimento dos limites epistemológicos, ou seja, *nos limites inerentes ao conhecimento dos fenômenos quânticos* não por conta tanto do limites do aparato tecnológico disponível para esta empreitada – por exemplo, o limite de energia necessária à aceleração das partículas elementares, nos aceleradores de partícula – mas principalmente como expressão das especificidades inerentes aos fenômenos quânticos – tais como a descontinuidade e o caráter onda partícula, para nos limitar àquelas de que tratamos algumas vezes – por franco reconhecimento que a totalidade desta especificidades simplesmente escapam de nossa mediação conceitual totalizante, só podendo ser sugestionada minimamente através do formalismo matemático.

Em caráter conclusivo para o tratamento da questão da objetividade dos fenômenos quânticos, diríamos que a interpretação de Heisenberg dessa questão deve ser conduzida de

um modo sério e sem preconceito, através de uma chave interpretativa que reconheça no seu pragmatismo o resultado de uma longa maturação, aqui apresentada de forma apenas aproximada. É por conta do estatuto altivo de seu pragmatismo, cujos traços mais marcantes são o cuidado, o rigor e a coerência, que suas posições filosóficas encontram ressonância no delineamento filosófico presente nas posições de Platão, sem nos esquecermos de que a aproximação ao velho mestre expressa o seu próprio pragmatismo e carrega consigo o horizonte epistemológico de significação da natureza, acima expostos:

> Independentemente da decisão última, podemos mesmo afirmar agora que a resposta final estará mais próxima dos conceitos filosóficos expressos, por exemplo, no *Timeu* de Platão do que [mais próximas] dos antigos materialistas. Tal fato não deve ser mal compreendido como um desejo de rejeitar de maneira muito leviana as ideias do moderno materialismo do século XIX, o qual, uma vez que pode trabalhar com toda a ciência natural do século XVII e XVIII, abarcou um conhecimento muito importante de que carecia a antiga filosofia natural. Não obstante, é inegável que as partículas elementares da física de hoje *se ligam mais intimamente aos corpos platônicos do que aos átomos de Demócrito*.[230]

Ao final da exposição de sua palestra, Heisenberg sintetiza as linhas gerais de sua interpretação filosófica dos fenômenos quânticos afirmando que as partículas elementares são, em última análise, *simples representações de estruturas matemáticas que buscam expressar os limites de nossa compreensão da natureza microscópica*. Deste modo, esta concepção de Heisenberg que compreende as partículas elementares como estruturas matemáticas o *aproxima* – sem, no entanto, coincidir – com a visão de Platão sobre os últimos constituintes da natureza, como sendo as figuras geométricas. No entanto, Heisenberg acreditava que a tarefa de determinar o aspecto definitivo da estrutura matemática que se apresente como a lei fundamental para o conhecimento da natureza, ainda estaria posta em pleno curso pelo amplo desenvolvimento do aparato teórico e tecnológico de seu tempo, bem como também acreditava que poderemos vir a encontrar tal estrutura fundamental num futuro não muito distante.

---

[230] *Ibidem*, p. 26. (grifo nosso).

Conclusão

Uma das tarefas mais difíceis da "engenharia de construção textual" é ordenar a disposição das partes que constituem uma pesquisa de modo a funcionarem como as engrenagens de uma máquina que deverá se movimentar, de preferência com certa harmonia e de forma conjunta, o que por sua vez obriga cada parte interna a reproduzir esta lógica, e funcionar em prol da teleologia para qual o mecanismo foi criado. Em filosofia isto é um desafio para a reflexão. Acreditamos que os dois lugares mais indicados para anunciar esta tarefa, apresentando macro aspectos de seus mecanismos internos, estão localizados na introdução e na conclusão, cada um deles assumindo uma função diferente, uma anunciativa e outra demonstrativa, respectivamente. Em função disto, e de outras motivações menos nobres, Hegel tinha um profundo respeito para com o prefácio dos livros, fato reconhecido por seus prefácios apresentarem, de forma antecipada, algumas discussões que hoje estão presentes na introdução e na conclusão de um trabalho acadêmico, ou seja, o vislumbre das engrenagens da máquina, conferindo-lhe também a perspectiva do todo que ele tanto primava.[231]

Em nossa conclusão priorizaremos as engrenagens referentes à segunda parte desta pesquisa, no entanto, não podemos nos esquecer em momento algum, que os pressupostos discutidos possuem, como função precípua, exatamente preparar o solo conceitual de onde estamos sempre assentados. Procuraremos não apenas apresentar os principais resultados a que chegamos com toda tessitura argumentativa, mas também reapresentá-los e demonstrá-los a partir dos argumentos que se encontram no corpo do trabalho. É o momento de por o mecanismo em funcionamento a partir da teleologia para o qual foi concebido, e do que já apresentamos de suas engrenagens internas.

---

[231] Manuel J. Carmo Ferreira, responsável pelo compilamento, tradução e um estudo introdutórios de uma obra dedicada aos prefácios de Hegel, apresentou o modo irônico pelo qual o próprio Hegel considerava a importância dos prefácios: "A via régia habitual na filosofia é ler o prefácio e as recensões, para obter uma ideia aproximada da Coisa." (Hegel, *Fenomenologia do espírito*). Na sequencia Ferreira complementa: talvez justamente por isso cuidou tanto desses textos liminares que se converteu em peças fulgurantes e em acesso obrigatório à compreensão daquilo que em cada um dos escritos estava essencialmente em questão," Mais adiante Ferreira complementa: "Os Prefácios [de Hegel] em sue conjunto, articulam-se quer funcional, quer tematicamente, de modo mais ou menos expresso, segundo uma tríplice preocupação: a intenção pedagógica de iniciar o leitor no tratamento propriamente científico dos problemas, o projeto sistemático que sustenta a exposição filosófica, e a intervenção na atualidade nunca descurada, sob a forma de um debate cultural, por vezes acentuadamente polêmico, cujos interlocutores nos passam muitas vezes despercebidos; a referência crítica ao contexto histórico imediato é uma chave de inteligibilidade destes textos." Cf. HEGEL, G. W. F. *Prefácios*. Tradução, introdução e notas de Manuel J. Carmo Ferreira. Lisboa: Imprensa Nacional Casa da Moeda, 1990, p. 11.

O princípio expositivo capaz de conferir a função ordenadora de um texto é fazê-lo orbitar em torno de seu problema central ou nuclear, que, após devidamente contextualizado e anunciado passa a ser conduzido por um fio condutor ou um conjunto de fios condutores, cuja função ao longo da exposição é explicitar as facetas do problema central. Esse fio condutor, em nossa opinião, pode ser apresentado como um problema, ou um conjunto de problemas a serem resolvidos. O problema central e os fios condutores estabelecidos assumem a condição de suportes inelimináveis para a tentativa de conferir coerência entre as partes, atuando também internamente, dentro de cada parte do conjunto, conferindo a desejável (e quase nunca atingida) harmonia, que nada mais é do que o sentido de unidade da obra como um todo.

Nas considerações introdutórias, apresentadas ao longo do início de nossas considerações, buscamos contextualizar e anunciar tanto o problema central, quanto os fios condutores que possibilitariam a resposta do problema central, evidenciando a trama argumentativa que iríamos desenvolver. Vamos agora rememorá-los brevemente, retirando-os das considerações introdutórias onde se encontram, repondo também o anúncio da tese que orientou nosso trabalho, para, a partir disto, chegar ao lugar próprio da conclusão, e indagar sobre os resultados aonde desaguam o problema central e os fios condutores, isto é, discutir o ponto-de-chegada, bem como examinar se esses resultados sustentam a tese que defendemos.

A questão central que norteou a nossa tese, e que atuou como *elemento motivador* de nossa pesquisa, foi anunciada, primeiramente, de um modo mais elementar na *Introdução* desta pesquisa, do seguinte modo: de que tudo é feito, para Heisenberg? Podemos refazer este problema, explicitando-o e tornando-o mais rigoroso, levando em conta a terminologia que desde o início privilegiamos: qual tipo de objetividade subjaz à interpretação de Heisenberg dos fenômenos quânticos? Ou ainda, de um modo equivalente, poderíamos perguntar: qual concepção de objetividade está presente em Heisenberg, quando ele considera o estranho comportamento do mundo quântico?

Este problema, no entanto, passa a assumir uma feição *filosófica* quando nos deparamos com o impulso de Heisenberg em se alinhar com o pensamento metafísico de Platão, como vimo a pouco, no final do capítulo seis[232], e, através deste viés, identificar a estrutura matemática como resposta última para a pergunta “de que tudo é feito”.

[232] No final do capítulo seis, a pouco apresentado vimos, a título ilustrativo, a seguinte passagem: “Não obstante, é inegável que as partículas elementares da física de hoje se ligam mais intimamente aos corpos platônicos do

Neste caso, em função da própria resposta filosófica *idealista* de Heisenberg, modificamos os termos iniciais da questão e passamos a buscar investigar as razões, através das quais, Heisenberg escolheu a matriz idealista de Platão como contraponto à matriz materialista moderna presente nas formulações da física clássica. Esse problema se configura como ponto central de nossa investigação, e assume o seguinte formato filosófico, cuja resposta é o objetivo de nossa pesquisa: por que Heisenberg escolheu a matriz idealista de Platão para compor sua compreensão dos fenômenos quânticos?[233] O que desconfiamos e defendemos, quando problematizamos as próprias escolhas filosóficas de Heisenberg, é que sua confessa adesão ao idealismo de Platão, não é capaz de explicar e nem de exaurir a caracterização da própria posição filosófica (de Heisenberg) em torno dos constituintes últimos da natureza atômica.

Deste modo, a pesquisa procurou investigar a possibilidade de se indagar o significado do idealismo de Heisenberg, ou, em outros termos, o significado de sua escolha filosófica de se aproximar da metafísica de Platão para compreensão da objetividade dos fenômenos quânticos. Os fios condutores que foram responsáveis por servir de costura e coesão para a construção da argumentação foram apresentados na nossa *Introdução* em forma de problemas: 1) O idealismo de Heisenberg nega a existência de um "fundo objetivo" para os fenômenos quânticos? 2) O idealismo confesso de Heisenberg é capaz de explicar a efetiva posição filosófica de Heisenberg frente a questão da objetividade? 3) Quais as razões que levaram Heisenberg a se aproximar de Platão?

A tese que defendemos ao longo da exposição de nossa investigação, também apresentada na *Introdução* desta pesquisa, pode ser formulada, de forma sucinta, nos seguintes termos: o problema da objetividade dos fenômenos quânticos, em Werner Heisenberg, se situa entre a matéria e a forma. Em termos mais explícitos, poderíamos estendê-la, afirmando que o problema da objetividade dos fenômenos quânticos em

---

que aos átomos de Demócrito." Também vimos, anteriormente, a seguinte passagem: "Tal como os corpos regulares de Platão, as partículas elementares da física moderna são definidas por condições matemáticas de simetria; não são eternas e invariáveis, e, portanto, dificilmente podem ser chamadas de "reais" na verdadeira acepção da palavra. São antes simples representações daquelas estruturas matemáticas fundamentais a que se chega nas tentativas de continuar subdividindo a matéria; representam o conteúdo das leis fundamentais da natureza." Cf. HEISENBERG, Werner. *Problemas da física moderna*. São Paulo: Editora Perspectiva, 2011, p.26.

[233] Na *Introdução* desta pesquisa anunciamos a questão central que norteia nosso trabalho em forma de problema, indagando as razões pelas quais um físico da estatura de Heisenberg, leitor atento não só dos gregos, mas também dos filósofos modernos, e figura participativa determinante na construção e nos debates conceituais em torno da física quântica, se aproxima, em alguns aspectos, do projeto metafísico de Platão para compor suas convicções filosóficas sobre o problema da objetividade dos fenômenos quânticos.

Heisenberg somente é corretamente compreendido a partir de uma chave interpretativa que reconheça a tensão interna que se estabelece entre dois aspectos complementares, ambos os aspectos presentes no mundo quântico: de um lado, Heisenberg admite indiretamente a existência de uma base material, ou a existência de um "fundo objetivo" para os fenômenos quânticos, e, de outro lado, Heisenberg assume diretamente aspectos matemáticos formais intrínsecos aos fenômenos quânticos. Vejamos, com base no problema central, na tese e nos fios condutores aqui privilegiados, quais os pontos de chegada de nossa pesquisa, a partir das conclusões resolutivas que dão acabamento a investigação que aqui desenvolvemos.

A primeira conclusão que procuraremos anunciar prontamente é que existe um fundo objetivo-material indiretamente admitido por Heisenberg, presente nos fenômenos quânticos, ou, mais especificamente, existe a admissão indireta de um caráter material presente nos os fenômenos atômicos que compõe o objeto de estudo da física quântica. Em outros termos, com o uso de um teor mais filosófico-materialista, existe um "algo objetivo", ou, caso quisermos nos apropriar das categorias filosóficas gregas, entes materiais ontologicamente existentes que constituem tudo o que existe, perpassando, portanto, os fenômenos quânticos.

Esta é a primeira conclusão a ser anunciada, pois ela serve de suporte fundamental para nossa compreensão do sentido específico dado por Heisenberg ao idealismo de Platão, ou seja, essa conclusão nos permite vislumbrar o significado dado por Heisenberg à estrutura matemática, no momento em que Heisenberg a prioriza como a última instância caracterizadora da objetividade dos fenômenos quânticos, como veremos mais adiante. Esta conclusão pode ser fundamentada em pelo menos três momentos cruciais do texto.

O primeiro suporte argumentativo que permite reivindicar a legitimidade da ideia da existência indireta de um fundo objetivo subjacente aos fenômenos quânticos, em Heisenberg, ocorre no tipo de tratamento analítico que Heisenberg impõe aos antigos conceitos da física clássica, evidenciando o limite do vocabulário da física clássica, que se utiliza de conceitos como "velocidade", "energia" e "extensão", para compreender os novos fenômenos quânticos. Este argumento se situa no interior de uma questão apresentada por Heisenberg quando de seu primeiro encontro com Bohr, em Göttingen, e lhe transmitiu algumas objeções à forma como a estabilidade dos átomos foram postuladas por Bohr, discussão que procuramos apresentar no interior do quarto capítulo desta pesquisa.[234]

---

[234] Esta passagem encontra-se discutida no Capítulo 4, pág. 78, desta pesquisa. A seguir a reproduzimos passagem na íntegra para a facilitação da visualização e acompanhamento do raciocínio: "A observação de Bohr

Naquela ocasião, Heisenberg lembrou uma conversa que tivera anos atrás com Robert, seu colega de caminhada, conversa desenvolvida nas cercanias das montanhas e bosques onde frequentemente acampavam com outros jovens. Naquela ocasião juvenil, Robert objetou a respeito da imagem do modelo atômico de Bohr, formulado em 1913, que era veiculada nos livros de ciência, alegando que os átomos não eram "coisas". A objeção que Heisenberg fizera a Bohr, por ocasião do seu primeiro encontro com Bohr, no verão de 1922, seguia na mesma direção de um comentário feito por Robert, amigo de Heisenberg, quase dez anos antes durante uma caminhada. Pensando no comentário de Bohr, Heisenberg lembrara que "ainda que Bohr acreditasse conhecer inúmeros detalhes da estrutura interna dos átomos, ele não via os elétrons dentro das camadas atômicas como 'coisas', ou, pelo menos, *não como coisas no sentido da física clássica*, que trabalhava com conceitos como posição, velocidade, energia, e extensão".

Se Heisenberg tivesse afirmado que Bohr não via os elétrons como coisas, nada poderíamos inferir deste comentário, mas a salvaguarda acrescentada por Heisenberg em seguida, onde é acrescentado o comentário acima transcrito em itálico, *não como coisas no sentido da física clássica*, e ainda, na sequência, acrescido ilustrativamente alguns dos conceitos da física clássica que corroboram e conferem conteúdo ao comentário, aí sim estamos diante de um argumento indireto que nos permite cogitar a possibilidade da existência de um fundo objetivo para os fenômenos quânticos. Por que acreditamos que o comentário de Heisenberg é apresentado como prova indireta da existência de um "fundo objetivo" para os fenômenos quânticos?

Por dois motivos plausíveis, mas que, em nossa opinião, não quebram a consistência do argumento. Em primeiro lugar, o argumento, acima referido, não expressa a opinião de Heisenberg, mas a opinião de Bohr. Sabemos, no entanto, conforme inquirições que foram apresentadas ao longo do capítulo quarto desta pesquisa, as opiniões de Heisenberg e de Bohr servem ao propósito de convergência para destituir o estatuto de legitimidade da física

---

fez-me lembrar do comentário de Robert em nossa caminhada perto do lago Starnberg, de que *os átomos não eram coisas*. Pois, ainda que Bohr acreditasse conhecer inúmeros detalhes da estrutura interna dos átomos, *ele não via os elétrons dentro das camadas atômicas como "coisas", ou, pelo menos, não como coisas no sentido da física clássica, que trabalhava com conceitos como posição, velocidade, energia, extensão*. Assim perguntei-lhe: - Se a estrutura interna do átomo é tão vedada às descrições, intuitivas, como o senhor diz, se realmente falta uma linguagem para lidar com ela, como podemos ter esperança de um dia compreender os átomos? Bohr hesitou um instante e disse: - Penso que seremos capazes de fazê-lo, mas, neste processo, teremos que aprender o que significa a palavra 'compreender'." Cf. HEISENBERG, Werner. *A parte e o todo*. Rio de Janeiro: Editora Perspectiva, 2011, p. 52. (grifos nossos).

clássica na descrição teórica e compreensão física do universo atômico, mas tais discussões nunca serviram ao propósito de destituição da existência de um fundo objetivo.

O segundo motivo que justifica o comentário acima ser tachado de argumento indireto a favor da existência de um fundo objetivo para os fenômenos quânticos, diz respeito ao fato de que nele Heisenberg apresenta a opinião de Bohr do que os elétrons "não são", portanto não dá pistas do que considere serem de fato os elétrons. No comentário identifica-se o trecho onde se diz que Bohr "não via os elétrons como coisas, *pelo menos, não como coisas no sentido da física clássica*". Mas imediatamente após o comentário que acabamos de apresentar, há uma passagem mais indicativa do caminho que queremos seguir. Heisenberg pergunta a Bohr "– Se a *estrutura interna do átomo* é tão vedada às descrições intuitivas como o senhor diz, se realmente nos falta um *linguagem* para lidar com ela [com a estrutura interna dos átomos], como podemos ter esperança de um dia compreender os átomos?" Ao que Bohr reponde: " – Penso que seremos capazes de fazê-lo. Mas, nesse processo temos que aprender o que significa '*compreender*'."

A questão que queremos apontar fica um pouco mais explícita neste diálogo que acabamos de apresentar, diálogo que complementa a passagem anterior. Acreditamos que é possível inferir que Heisenberg e Bohr admitem implicitamente, portanto, reconhecem indiretamente, nesta passagem recém-referida, dois planos distintos: a existência de uma *estrutura interna do átomo* (plano ontológico), e a necessidade de construção de uma *linguagem* capaz de dar conta daquela estrutura (plano epistemológico), ou seja, uma linguagem diferente da linguagem da física clássica que se utiliza de conceitos clássicos tais como "velocidade", "posição", linguagem capaz de "compreender" essa estrutura interna dos átomos.[235]

[235] Aqui caberia uma pergunta legítima de um leitor inteligente e atento: – Por que a pergunta de Heisenberg, formulada na última passagem referida, o compromete com a admissão da distinção entre o plano ontológico e o linguístico-conceitual? O compromisso decorre da estrutura do raciocínio, que poderia ser refeito nos seguintes termos: existe uma estrutura interna do átomo – essa estrutura era intuitivamente descrita na linguagem da física clássica – essa linguagem não é mais suficiente para referir-se àquela estrutura – é necessário elaborar uma nova linguagem. Se for possível reproduzir o argumento de Heisenberg nos termos desta sequência, então o primeiro termo (existe uma estrutura interna do átomo) será o pressuposto do argumento, no sentido que sem ele não há necessidade de uma linguagem (clássica ou moderna) para tratar daquela estrutura. O reconhecimento indireto do vínculo ineliminável dos planos ontológico e lógico-conceitual, decorre, no argumento de Heisenberg, do reconhecimento indireto do vínculo ineliminável entre natureza e ciência, e da física como *constructo* histórico capaz de representar a natureza. O argumento de Heisenberg sobrepõe sobre a base desse reconhecimento indireto dos planos ontológico e lógico-epistemológico, a sua real intenção no argumento: convencer-se da necessidade de reformulação da representação da natureza fundamentada na linguagem da física clássica.

Como sabemos do que já discutimos ao longo do capítulo quarto, este argumento torna-se precioso, sobretudo porque apresenta elementos importantes para a sustentação de nossa tese. Trata-se da distinção entre dois tipos de argumentos em Heisenberg: o argumento de teor *ontológico* e argumento de teor *epistemológico* que nos parece fundamental para expressar a compreensão tanto do alcance da crítica de Heisenberg à física clássica, bem como o sentido de sua posição idealista que considera as estruturas matemáticas como o último traço constitutivo da natureza. Vamos aproveitar a ocasião para recolocar qual seja essa distinção que nos parece bastante elucidativa.

Como sabemos, apontamos no corpo da *Introdução* a este trabalho um aspecto que julgamos importante para corroboração de nossa tese, que se constitui no que chamamos de chave hermenêutica para compreender o estatuto do idealismo de Heisenberg. Essa chave interpretativa, por nós anteriormente pleiteada, defende a distinção entre dois tipos diferentes de argumentos em que Heisenberg apoia as suas alegativas em torno da objetividade dos fenômenos quânticos: o argumento com teor *ontológico* e o argumento com teor *epistemológico*.

Nos argumentos com teor ontológico, Heisenberg aceita indiretamente a existência de um "fundo objetivo" para os fenômenos quânticos, portanto esses argumentos possuem como embasamento, uma *dimensão ontológica dos fenômenos quânticos*, isto é, o reconhecimento de existem substratos objetivos que constituem os fenômenos quânticos. Este tipo de argumento está presente, por exemplo, quando apresentamos o capítulo seis de nossa pesquisa, ou seja, quando tratamos dos aspectos ontológicos e epistemológicos subjacentes às *relações de Heisenberg*, como veremos mais logo a seguir.

Por outro lado, existe outro grupo de argumentos, utilizados por Heisenberg, que aponta a matemática, ou as estruturas matemáticas (como, por exemplo, uma equação matemática, ou a ideia de simetria) como a forma correta de compreensão e descrição dos fenômenos quânticos, como o modo pelo qual os fenômenos quânticos devem ser reconhecidos em seu comportamento específico. Tais argumentos, conforme vimos, tem como embasamento uma *dimensão epistemológica dos fenômenos quânticos*, e emergem geralmente em contextos filosóficos, onde Heisenberg se apresenta como um desdobramento da tradição idealista cuja filiação remete a Platão. Esses argumentos de perfil *epistemológico* estão particularmente tratados no capítulo seis de nossa pesquisa, quando avaliamos o estatuto do idealismo de Heisenberg. Vejamos na sequência, outras situações ilustrativas onde se

apresentaram ambos os tipos de argumento em nossa pesquisa, para, com isto, conferirmos acabamento à nossa primeira conclusão.

Para tentar sedimentar um pouco mais a defesa de nossa primeira conclusão – muito embora lembremos que os argumentos que estamos aqui nos servindo de subsídio já tenham sido apresentados no interior de nossa exposição –, vamos utilizar agora um pouco mais da *chave interpretativa ontológica* que alega a existência de argumentos onde indiretamente Heisenberg assume a existência de um "fundo objetivo" para os fenômenos quânticos. Lembremos outra passagem significativa, apresentada e discutida no interior do capítulo seis:

> Nesses campos da física atômica boa parte da antiga física intuitiva fica por certo perdida. Não apenas a aplicabilidade dos conceitos e leis da mencionada física, mas toda a representação da realidade que serviu de base às ciências naturais exatas até a época atual da física atômica. Com a expressão "representação da realidade" designamos aqui o conceito de que há fenômenos objetivos que ocorrem de maneira definida no espaço e no tempo, sejam ou não observados. Na física atômica, as observações não podem mais ser observadas de uma maneira tão simples; isto é, não é possível referi-las a algo que se verifica objetivamente ou de modo descritível no espaço e no tempo.[236]

Não nos envolveremos aqui em sua discussão, posto que, o caminho analítico desta passagem foi desenvolvido no momento de seu enfrentamento. Apenas atentemos para o final, onde Heisenberg afirma que no domínio da física atômica *não é mais possível o uso de observações* para aferir a existência de fenômenos objetivos, uma vez que as observações na física atômica não são realizadas de modo tão simples. Em nenhum momento da passagem Heisenberg afirma diretamente a existência de uma objetividade inerente aos fenômenos quânticos, mas é possível perceber a afirmação indireta de que os fenômenos atômicos possuem objetividade própria, somente não podem ser referendadas pela observação, exatamente porque as observações "não são tão simples" em física atômica. De um modo direto este argumento poderia ser assim sintetizado: existem coisas a serem observadas, mas esta tarefa não é possível de se realizar em função da forma como são feitas as observações dos fenômenos quânticos em física atômica.

No nosso modo de arrazoar sobre tais sutilezas intrínsecas ao argumento acima descrito, não existe uma negação peremptória da objetividade dos fenômenos quânticos.

[236] Cf. Werner Heisenberg, *Problemas de física moderna*, p. 19.

Existe uma distinção, que no nosso entendimento paira de forma subliminar, de modo indireto, entre o "algo que não pode ser observado diretamente" e o "modo pelo qual observo algo". O primeiro termo é expressão de um reconhecimento *ontológico*, e o segundo termo se refere a uma peculiaridade *epistemológica*. Em outros termos, o raciocínio de Heisenberg retrata a seguinte percepção: "existe um algo, mas não posso observá-lo (diretamente), portanto esse algo não pode ser conhecido (diretamente), apenas representado matematicamente". A premissa para esse raciocínio é, como vimos ontológica (existe um algo), e seu corolário é epistêmico (esse algo não pode ser conhecido). Por que isto ocorre?

Na sequência dos comentários à passagem acima transcrita, Heisenberg se vale da diferença entre *natureza* e *ciência* para responder a pergunta que finalizou o último parágrafo, reproduzindo, em seus termos, a diferença do par conceitual *ontologia* (natureza) e *epistemologia* (ciência) acima utilizada, o que nos convence da convergência de nossa percepção com a apreciação de Heisenberg. Nessa passagem, Heisenberg reconhece o estatuto objetivo da natureza juntamente com a impossibilidade de descrevê-la pelas vias do materialismo da física clássica. Relembremos esta passagem que agora será apropriada pelo viés ontológico:

> Resta acrescentar que a ciência da natureza não lida com a *própria natureza*, mas de fato com *a ciência da natureza*, tal como o homem a considera e a descreve. Isso não introduz um elemento de subjetividade na ciência natural. Não pretendemos de forma alguma que as ocorrências no universo dependam de nossas observações, mas assinalamos que a ciência natural se encontra entre a natureza e o homem, e que não podemos renunciar ao uso da intuição humana ou das concepções inatas.[237]

Tomada como totalidade de sentido a passagem acima assume a seguinte disposição lógica: por que existe uma diferença (ineliminável) entre o que as coisas são em si mesmas, e aquilo que podemos conjecturar delas? A resposta, elegantemente construída, é direta e certeira: utilizando nossos termos, porque o ontológico não é redutível ao epistemológico; nos termos de Heisenberg, a ciência da natureza não lida com a própria natureza. Segundo nossa percepção, o fato da ciência da natureza se constituir na única mediação humana historicamente construída com possibilidade de acessar de forma limitada a natureza, ou seja,

[237] *Ibidem*, p.19.

a natureza só se permite conhecer “tal qual o homem a considera e a descreve”, é uma prova indireta da existência da natureza e de seu “fundo objetivo”. Teria a natureza possibilidade de existir *ontologicamente* sem a existência de uma base objetiva? Pela resposta acima transcrita, em termos de uma inferência indireta, diríamos que Heisenberg responderia “não”.

Há, por último, um argumento elementar que, embora pareça “forçar” uma posição desconfortável, é ineliminável e incontornável: se não existisse algo a ser observado, se toda natureza fosse expressão de uma forma vazia de conteúdo objetivo, ou de qualquer vestígio objetivo, qual seria o sentido das observações e experimentos em física quântica? Qual o sentido prático ou teórico dos aceleradores de partículas? Este argumento “forçado” pode ser reconhecido, à primeira vista, como a impostação sutil de uma armadilha inócua, mas um olhar mais acurado permite compreender outra linha de argumentação que consideramos capaz de justificar a existência de um “fundo objetivo” para os fenômenos quânticos. Passemos a terceira e última defesa de argumentação que finaliza a nossa primeira conclusão, quer seja, a conclusão de que existe a aceitação indireta em Heisenberg, da existência de uma base objetiva, ou de um fundo objetivo, por parte da natureza. Novamente aqui o raciocínio se desenvolve em *chave interpretativa ontológica*, como seria de se esperar.

Nossa visada ao longo do capitulo seis, que trata das relações de Heisenberg foi, conforme anunciado na *Introdução* desta pesquisa, pautada na esperança de que no interior do tratamento de alguma peça teórica formal de Heisenberg, por exemplo, algum artigo escrito por Heisenberg, iríamos encontrar vestígios de um tratamento ontológico que indiretamente – ou diretamente – pudesse indicar a aceitação ou reconhecimento, por parte de Heisenberg, de uma base objetiva para os fenômenos quânticos. A conclusão a que chegamos, ao discorrer sobre as chamadas *relações de Heisenberg*, foi de que existe, de fato, o reconhecimento da existência de uma objetividade na natureza quântica, e o lugar de tal aferição conclusiva se deu em torno do núcleo argumentativo das relações, ou melhor, no *experimento de pensamento* do microscópio de raios gama.

Lembremos, em termos sucintos, que naquele experimento ficcional, uma partícula material, representada pelo elétron, era interceptada pela onda eletromagnética proveniente de uma fonte emissora de raios gama. A questão central tinha como diretriz a pergunta: “é possível determinar, simultaneamente, a posição e o momento de um elétron com precisão ilimitada?”. A resposta, conforme discutimos na ocasião, pode ser sucinta e simplificadamente colocada nos seguintes termos: não é possível determinar,

simultaneamente, com precisão ilimitada, a posição e o *momento* de um elétron, porque ao colidir com o elétron, os raios gama alteram o *momento* do elétron, ou seja, ao colidir, os raios gama modificam a velocidade do elétron, criando uma incerteza na medição da posição, incerteza mensurada pela formatação matemática proposta por Heisenberg.

Nossa alegativa em prol da defesa do argumento de que existe, em Heisenberg, uma base objetiva, subjacente aos fenômenos quânticos, ou ainda, de que o mundo atômico é constituído por "entes" objetivos – independentemente do que sejam e do fato de que podemos ou não conhecê-los – encontrou, nas relações de Heisenberg, segundo compreendemos, uma acolhida, posto que, conforme expressamos na ocasião, "algo" colide com "algo".

Existe um choque objetivo, provocado por entes objetivos, *independentemente do que sejam tais entes*, e o resultado desta colisão é a transferência de energia cinética por parte dos raios gama para os elétrons. Neste sentido, *filosoficamente* os elétrons e demais partículas elementares poderão ganhar o estatuto de *expressões matemáticas*, ou valores específicos que compõem a solução de uma determinada equação matemática final que descreve a conversão da energia em matéria, como, de fato, Heisenberg afirmará, conforme discutimos, por exemplo, ao final do sexto capítulo desta investigação. No entanto, *ontologicamente* não há como fugir de qualquer referência à *objetividade material da natureza*, caso contrário a ciência como medição histórica de nossa busca por compreensão da natureza, simplesmente destituiria a própria natureza, o que seria um contrassenso incontornável.

A segunda conclusão a que chegamos pode ser anunciada em forma de problema, e emerge como desdobramento da primeira conclusão: *Se* existe por parte de Heisenberg uma aceitação – mesmo que por inferência indireta – da existência de algum tipo de objetividade *material* da natureza, o idealismo explicitamente assumido por Heisenberg é capaz de explicar e exaurir o problema da objetividade dos fenômenos quânticos? A conclusão a que chegamos é que o idealismo de Heisenberg não é capaz de exaurir as determinações internas que o problema da objetividade dos fenômenos quânticos. Essa segunda conclusão, todavia, transfere o problema para o lugar do exame da escolha filosófica de Heisenberg: por quais razões Heisenberg recorre ao idealismo de Platão para compor sua interpretação filosófica dos fenômenos quânticos? A resposta deste problema que indaga as razões que subjazem ao idealismo de Heisenberg nos levará ao encontro da tese que defendemos ao longo de desenvolvimento desta pesquisa: a posição de Heisenberg é confessamente idealista, mas só

pode ser compreendida a partir do reconhecimento de uma postura *pragmática* que subsiste no interior de sua posição filosófica confessadamente idealista. Essa postura pragmática, veladamente presente no idealismo de Heisenberg, desloca o idealismo de Heisenberg para uma tensão oculta entre os aspectos ontológicos e epistemológicos presentes nos argumentos de Heisenberg aqui privilegiados e apresentados, e lança a resposta de Heisenberg para problema da objetividade dos fenômenos quânticos, para uma tensão filosófica entre a atitude anti-realista ou positivista, atitude representada no título desta pesquisa através da categoria "matéria", presente em suas relações de indeterminação, fase intermediária de seu pensamento, e a atitude realista-metafísica, ou idealista, presente em suas considerações filosóficas tardias, atitude representada no título dessa pesquisa, pela categoria forma. Deste modo, a alegada tensão entre matéria e forma é uma referência à alternância de posição filosófica presente no pensamento de Heisenberg, que resguarda uma aproximação ora à postura anti-realista, ora à postura realista.

Desde que aceitemos a premissa acima apontada – por conta disso iniciamos a pergunta que abre o parágrafo anterior com um pronome interrogativo condicional – nossa tese se situa num terreno razoavelmente confortável, em termos de encadeamento lógico-expositivo. Por isso nos detivemos com certo cuidado ao defender a primeira parte de nossa conclusão, justamente porque ela se traveste de premissa para a segunda parte da conclusão, ao mesmo tempo em que – como premissa – já faz parte da tese, no caso de confirmar sua plausibilidade.

As alegativas em prol da existência de uma posição *pragmática*[238] em Heisenberg, posição que desloca seu autodeclarado idealismo para o indefinido lugar entre o materialismo e o idealismo, ou para uma região conceitual entre a matéria e a forma, precisam ser apresentadas em duas partes: em primeiro lugar devemos apresentar a confessa posição idealista de Heisenberg, do modo como o físico alemão a compreende, posição diretamente assumida por Heisenberg em diversas passagens, e indicativa do modo como Heisenberg

[238] A designação que imputa o adjetivo *pragmático* ou o substantivo *pragmatismo* para caracterizar a posição filosófica de Heisenberg não nos afeiçoa por conta da ampla utilização do termo para a designação de diversas tradições filosóficas, mas por funcionalidade conceitual oriunda da indicação etimológica – e na ausência de uma melhor – resolvemos manter a contragosto. Gostaríamos apenas de salientar que com isto não vinculamos Heisenberg às correntes contemporâneas da viragem pragmático-linguística da filosofia europeia continental, nem às doutrinas cuja tradição remonta à W. James e C. S. Peirce, nem ao pragmatismo de Richard Rorty. O termo pragmático aqui resguarda o sentido etimológico grego de *pragmatikós*, "relativo aos atos que se devem praticar", conforme indicação presente no verbete "pragmático" que consta no *Dicionário Aurélio*, 3º ed., 1999. No caso em tela a atitude reflexiva que Heisenberg assumiu e "que se deve praticar", portanto, seu *pragmatikós*, consistiu em ter reconhecido a impossibilidade epistemológica de se adentrar no tratamento ontológico da natureza.

sustenta seu posição filosófica no que diz respeito ao problema da objetividade dos fenômenos quânticos; em segundo lugar devemos apresentar as razões que levaram Heisenberg a se aproximar de Platão.

Existem várias passagens onde Heisenberg apresenta com toda clareza as suas impostações filosóficas idealistas, e onde Heisenberg faz questão de se aproximar com aspectos do projeto metafísico de Platão, principalmente pela predileção à função supostamente dada por Platão aos entes matemáticos. Essas passagens encontram-se apontadas e discutidas ao longo desta pesquisa, particularmente presentes no final do sexto capítulo desta pesquisa, entre as quais destacaremos ilustrativamente as duas que se seguem por razões distintas. A primeira por concisão e clareza:

> As partículas elementares são, pois, as formas fundamentais que a substância energia deve assumir a fim de converter-se em matéria, e tais formas básicas precisam de algum modo ser determinadas por uma lei fundamental em termos matemáticos.[239]

A segunda pelo aspecto provocativo e misterioso de considerar as partículas elementares *definidas* tal como os corpos de Platão:

> Tal como os corpos regulares de Platão, as partículas elementares da física moderna são *definidas* por condições matemáticas de simetria; não são eternas e invariáveis, e, portanto, dificilmente podem ser chamadas de "reais" na verdadeira acepção da palavra. São antes simples representações daquelas estruturas matemáticas fundamentais a que se chega nas tentativas de continuar subdividindo a matéria; representam o conteúdo das leis fundamentais da natureza. Para a ciência natural moderna, não há mais, no início, o objeto material, porém forma, simetria matemática. E, desde que a estrutura matemática é, em última análise, um conteúdo intelectual, podemos afirmar, usando as palavras de Goethe no Fausto, "No princípio era a palavra" – o logos.[240]

[239] Cf. HEISENBERG, Werner. *Problemas da física moderna*. São Paulo: Editora Perspectiva, 2011, p.25.
[240] *Ibidem*, p.27. (grifo nosso).

À primeira vista não pairam quaisquer dúvidas diante de delineamentos tão claros: Heisenberg assume uma filiação filosófica que insere as suas próprias posições nas nascentes do idealismo, e as situam nas nascentes dessas águas, na longínqua costa do mediterrâneo, próximo de Platão. Se "as partículas elementares são as *formas* fundamentais que a *substância* energia deve assumir a fim de converter-se em matéria", e se "tais formas básicas precisam de algum modo ser determinadas por uma lei fundamental em termos matemáticos", não há, a princípio, qualquer outra saída possível para aferir à interpretação filosófica dos fenômenos quânticos em Werner Heisenberg sobre o problema da objetividade, ou seja, ao problema de se determinar os constitutos últimos da natureza – natureza quântica – do que designá-la de "o idealismo de Heisenberg".[241]

Se a aferição do idealismo de Heisenberg fosse uma aposta feita com base nas passagens acima transcritas, provavelmente nós lançaríamos mão de todas as nossas fichas de forma indubitável e imediata! Foi exatamente isso que fizemos na juventude, e desconfiamos agora que, provavelmente termos perdido nossas fichas... Há uma famosa passagem de Marx onde o velho filósofo alemão afirma de um modo irônico: "se a aparência se confundisse com a essência, toda ciência seria vã", no sentido de imputar à ciência uma forma histórica que procura avançar para além daquilo que a imediatidade oferece aos sentidos. No nosso entendimento, isto ocorre também com a apreciação dos problemas filosóficos e com a consideração crítica que os próprios autores fazem de suas posições. No caso, a posição filosófica auto-declarada de Heisenberg para indicar a sua compreensão da objetividade dos fenômenos quânticos, segundo defendemos, esconde tensões que não se apresentam na superfície das águas turvas do seu idealismo.

Como podemos abraçar o idealismo reiteradamente confesso de Heisenberg diante dos indícios que expusemos em nossa primeira conclusão, que aponta para admissão indireta, em Heisenberg, de um "fundo objetivo" para os fenômenos quânticos, ou se quisermos ser mais prudentes, de uma tensão entre materialidade e idealidade, entre o ontológico e o

[241] Ao observar com cuidado a passagem acima transcrita, o professor Daniel Durante, orientador desta pesquisa, percebeu um importante afastamento entre idealismo de Platão e o idealismo de Heisenberg. Heisenberg na verdade se afasta de uma posição idealista de tipo platônica, porque rechaça qualquer imputação ontológica às partículas elementares, na medida em que afirma que tais partículas *não são reais no sentido de realidade dado por Platão*, ou seja, as partículas não possuem realidade enquanto objetividade ideal, como objeto ideal que existe de fato, como coisa ideal ou pura forma (*eidós*). As partículas elementares não são "reais", no sentido platônico porque não são eternas e imutáveis, como deveriam ser caso assumissem o mesmo estatuto das formas platônicas. Se a posição de Heisenberg não se alinha a de Platão, como explicar este recurso ao platonismo? Entendemos que neste sentido a próxima nota de rodapé complementa esta importante inflexão do pensamento de Heisenberg, e como isto, no nosso entendimento, corrobora a tese que aqui defendemos, no sentido de postular uma compreensão do significado do idealismo de Heisenberg.

epistemológico, entre a matéria e a forma? No modo como compreendemos o que de fato está em jogo – apontado em diversas ocasiões ao longo desta pesquisa – o idealismo do filósofo Heisenberg procura resolver os problemas epistemológicos do físico Heisenberg.[242] Embora já tenhamos apontado todos os elementos que configuram uma compreensão do que pensamos ser capaz de desvelar o significado do idealismo de Heisenberg, vamos enveredar na segunda etapa que compõe a argumentação de nossa segunda argumentação, apresentando o esforço final de reorganizar os elementos já apontados, capazes de responder a pergunta que está em curso nessa segunda conclusão: quais as razões que levaram Heisenberg a se aproximar filosoficamente de Platão?

Para responder esta questão de forma mais ampla, devemos procurar capturar a essência do movimento do fluxo de ideias que acompanharam as décadas de esforços interpretativos e de discussões teóricas que Heisenberg empreendeu ao longo de sua empreitada filosófica em torno de problemas tão desafiadores. De algum modo, grande parte do que foi escrito ao longo desta pesquisa estampa o nível do esforço empreendido pelos

---

[242] Acreditamos que isto é perceptível até em passagens contundentes como as que acima ilustramos o idealismo de Heisenberg. Ao afirmar que "as partículas elementares são as formas fundamentais que a substância *energia* deve assumir a fim de converter-se em *matéria*", Heisenberg recorre ao par conceitual *forma* e *matéria*, como recurso para assumir *filosoficamente* o lugar conceitual de problemas epistemológicos não abordados na passagem (problemas que envolvem os limites do conhecimento humano), pela física quântica, problemas que envolvem o conhecimento das partículas elementares e da energia. Ocorre aqui uma tradução de *problemas de conhecimento* de fenômenos quânticos que a natureza apresenta sob mediação da ciência (partículas elementares e energia) para os termos utilizados pela linguagem metafísica filosófica grega (forma e matéria), que trata de *problemas ontológicos*. Mais do que isto, há também o indicativo da tradução de um movimento filosófico-ontológico, sugestivamente referido às categorias de Platão e de Aristóteles: a substância (energia) assume a configuração de uma variação de formas matemáticas (como a energia enquanto substância, no sentido de conteúdo assume o estatuto de forma?), e estas formas matemáticas são o que denominamos de matéria (novamente aqui não há sentido ontológico na identificação partícula=forma=matéria). Neste raciocínio, faltou Heisenberg explicar: como as partículas elementares podem ser, ao mesmo tempo, *forma pura* e *matéria*? Este movimento *filosófico-epistêmico não é ontológico* do mesmo *como o idealismo de* Platão se apresentava – lembremo-nos do percurso trilhado por Platão na República – portanto não encontra correspondência no modo como o próprio Heisenberg pensava movimento o ontológico traduzido pela ciência: na física experimental e teórica, a energia se transforma em partículas elementares, ou vice-versa, pela relação $E=mc^2$ de Einstein, lembrando que as partículas elementares são consideradas, pelo próprio *físico* Heisenberg, a última fronteira da *matéria*. Percebamos, no entanto, que não há nenhuma referência, na passagem acima aludida, dos problemas epistêmicos que a perpassam o conhecimento das partículas elementares, e da energia. Se considerarmos que na passagem acima temos de um lado a natureza e do outro a ciência, e se, como vimos anteriormente, o conhecimento da natureza é mediado por um *constructo* humano, historicamente limitado e situado, por que afinal Heisenberg dissolve a materialidade daquilo que considera a última fronteira de tudo o que existe – no caso as partículas elementares – a uma pura forma? Se, como sabemos, a categoria substância em Aristóteles é um *sínolo* (composto) de *matéria* e *forma*, por que Heisenberg lançou a energia no limbo indeterminado da inter-posição matéria e forma? A resposta deve escavar a afirmação idealista-filosófica de Heisenberg que afirma a matemática como última fronteira, não como algo ontológico, não como se as partículas elementares de fato fossem relações matemáticas – como a simetria – mas sim considerando *a matemática como o único recurso humano capaz de conferir inteligibilidade à natureza*. Portanto, se o idealismo de Heisenberg não é ontológico ou metafísico como o de Platão, não é um idealismo. A chave hermenêutica para a decifração da passagem é *epistemológica*: a matemática é o único recurso capaz de *compreender* indiretamente as relações íntimas da natureza atômica. Veremos as razões desta estratégia de Heisenberg.

interlocutores aqui mencionados, nos estreitos limites desta pesquisa, para não falar das muitas outras questões em torno de problemas aqui sequer mencionados. No nosso entendimento, a essência desse movimento do grupo, ao qual Heisenberg pertencia, por buscas de respostas para o problema da determinação de qual tipo de objetividade constitui os entes quânticos, foi uma sensação de incompreensão de certos aspectos internos dos fenômenos quânticos que beirava o desespero.[243]

A sensação de "desespero" foi o resultado de um longo processo que ocorreu a partir dos incessantes esforços de Bohr em compreender a natureza nos seus domínios atômicos, cujo ponto de tensão ocorreu a partir da publicação do modelo proposto em 1913. O "desespero" foi provocado primeiramente pelo fracasso desse modelo em explicar a estabilidade do átomo – e da matéria por extensão – e no fracasso em explicar a descontinuidade que ocorria ao nível dos processos internos dos átomos, notadamente a descontinuidade inerente à passagem dos elétrons no interior das órbitas existentes nas diversas camadas eletrônicas. A descontinuidade era uma espécie de *dogma quântico* para Bohr e seu grupo, incluso aí Heisenberg: se uma teoria não apresentasse uma solução matemática para este problema, para Bohr e seu grupo isto significava fracasso e equívoco. Lembremos que, quando tratamos do contexto histórico do surgimento da mecânica ondulatória de Schrödinger, no quarto capítulo desta pesquisa, as objeções encaminhadas por Heisenberg ao próprio Schrödinger foram formuladas exatamente em consonância com este ponto específico, e também lembremos que a descontinuidade foi o ponto central da discussão que Bohr travou, semanas depois, com Schrödinger, discussões que, de tão acirradas levaram Schrödinger ao esgotamento físico, a ponto de comentar em tom de desabafo, que "Se toda essa maldita pulação quântica tiver vindo para ficar, vou lamentar muito ter me envolvido com a mecânica quântica".[244]

---

[243] Segundo Dantas, em uma carta dirigida a um amigo, Bohr expressa a sensação de desespero que o acometia: "Não é um exagero descrever este período como o de um tempo de suspense no que diz respeito à constituição do objeto físico. O solo falta e mesmo a direção onde olhar. Nós estamos completamente desorientados". Em outra carta Bohr volta à mesma temática e admite ao seu amigo seu estado de espírito em tom confessional: "nós estivemos por vezes próximos do desespero", escreve Bohr. Cf. Carta de Bohr a C. W. Ossen em 29 de janeiro de 1926 (In Bohr Collected Works 5, 405/238, ed. L. Rosenfeld, J. Rud Nielsen, seguido de E. Rüdinger, seguido de F. Aaserud, Amsterdan, North-Holland Publishing Company e New York, American Elsevier Publishing Company, 1972...) e Carta de Bohr a Rosseland em 6 de janeiro de 1926 (In Bohr Collected Works 5, 485/484, ed. L. Rosenfeld, J. Rud Nielsen, seguido de E. Rüdinger, seguido de F. Aaserud, Amsterdan, North-Holland Publishing Company e New York, American Elsevier Publishing Company, 1972...) *apud* DANTAS, Marieta Tunes. *Heisenberg e a filosofia grega*. (dissertação de mestrado). Rio de janeiro: PUC- RIO, 2005. Certificação Digital n° 0311027/CA., p. 30.

[244] HEISENBERG, Werner. *A parte e o todo*. Rio de Janeiro: Editora Contraponto, p. 93.

Para se desvencilhar de todo o desespero que envolvia a impossibilidade de formulação de qualquer modelo pictórico e intuitivo que explicasse o comportamento dos átomos, Heisenberg resolveu lembrar uma antiga conversa que tivera com Einstein, e retomar uma alegada indicação de Einstein. Este conselho de Einstein, segundo Heisenberg, teria o seguinte teor: "É a teoria que decide o que devemos observar".

Imediatamente após a lembrança do que dissera Einstein, Heisenberg retratou a importância do que este momento representou em sua vida de pesquisador, cujo resultado deste momento reflexivo foi a elaboração de uma de suas mais destacadas contribuições à física quântica, quer sejam, famosas *relações de Heisenberg*, objeto de discussão no nosso quinto capitulo, a partir do seguinte comentário: "Imediatamente, convenci-me que a chave da porta que se vinha mantendo fechada por tanto tempo deveria ser procurada ali mesmo."

Não temos a informação de que o conselho de Einstein endereçado à Heisenberg possui registro histórico além do próprio testemunho de Heisenberg, mas o que importa é o impacto que a diretriz *epistemológica* resultante da *inversão ontológica* contida no conselho, imprimirá ao curso de suas investigações teóricas e às suas incursões interpretativas, no que se refere ao problema da objetividade dos fenômenos quânticos. A "chave da porta que vinha se mantendo fechada" para Heisenberg era a mudança de direção no modo de compreender os problemas insolúveis postos pelos fenômenos quânticos: se Einstein estivesse certo e a teoria fosse, de fato, o comando de "o que se deve observar", a pergunta pela teoria deveria recair na pergunta por "o que se pode observar". No nosso entendimento, este momento da mudança de postura de Heisenberg representa um ponto de referência de uma *viragem epistemológica*, ou – e isto que vamos afirmar nossos estudos até aqui desenvolvidos não podem assegurar – do acirramento de uma *disposição epistemológica* já presente no curso de seu pensamento, e que, neste momento em tela, encontra vias de alargamento.

O fato é que esta alegada *viragem epistemológica* se apresenta de maneira explícita nas chamadas *relações de Heisenberg*, cujo objetivo maior nos parece ser o reconhecimento dos limites da observação dos fenômenos quânticos, ou os limites daquilo que podemos conhecer quântivamente. E aqui nos permitiremos estabelecer uma digressão que consideramos oportuna: o que estamos designando como viragem epistemológica – com a sugestão não demostrada de que isto pudesse se constituir num acirramento de um processo em curso em Heisenberg – tem o significado filosófico para a física quântica similar ao significado filosófico de Kant para a filosofia.

Sabemos que a chamada *viragem copernicana na filosofia de Kant* consistiu na inversão da relação entre sujeito e objeto, relação que se estabelecia, antes da proposição kantiana, com o objeto assumindo o polo diretivo e a centralidade da posição de determinação tanto do conhecimento da natureza, quanto do conhecimento das leis morais e seus desdobramentos na organização da vida humana – direito, política, etc. Essa inversão consistiu em problematizar o modo pelo qual o homem conhece, primeiramente, a natureza (*Crítica da Razão Pura*), e depois a própria lei moral (*Crítica da Razão Prática*), culminando com a crítica do juízo estético (*Crítica da Faculdade de Juízo*). Tomando como ponto de partida de seu criticismo a primeira crítica de Kant, por conta de sua relação com a *natureza* – objeto da pesquisa que aqui desenvolvemos – portanto, diretamente relacionada com as observações que faremos em seguida, a crítica da razão pura representa a emergência no horizonte filosófico-moderno da investigação dos limites da razão pura em conhecer a natureza, portanto da emergência de uma atitude filosófica que procura estabelecer *uma reflexão em torno dos limites envolvidos no ato de conhecer a natureza*, considerando aqui, para deixar claro, a tarefa kantiana delineada na primeira crítica.

Não nos debruçaremos no modo como Kant estabeleceu as balizas do seu procedimento a partir de uma investigação da estrutura apriórica da razão pura na seção da *estética transcendental* de sua primeira crítica. Sem assumir a posição de um estudioso afeito aos desdobramentos do pensamento kantiano, acreditamos que certamente o pressuposto de Kant, em sua primeira crítica, foi procurar, a partir da investigação dos limites do conhecimento humano, descobrir as especificidades inerentes à razão humana no exercício do ato de conhecer a natureza, e com isto reconhecer a função ativa que a estrutura da razão pura assume durante esse ato, fato que compreende a natureza como construção da razão pura, como fenômeno. Com isto em tela Kant pode buscar indagar as razões pelas quais a metafísica havia fracassado em seu projeto de compreender os grandes temas que inquietam o espírito humano – Deus, mundo e alma – e, além disto, buscar compreender o que possibilitou o sucesso da física como ciência.

Outro aspecto em Kant pode ser destacado no rol dos interesses de nossa visada que busca apontar a especificidade do seu projeto filosófico: ao estabelecer uma diferença entre o que o objeto é por si mesmo, termo designado por Kant com *númeno*, e o que o objeto é enquanto resultado do modo específico como o apreendemos a partir da estrutura a apriórica da razão pura, isto é, como *fenômeno*, um dos impulsos de Kant foi *criticar a tradição metafísica* que absolutizava o objeto e o impostava a condição de plena irradiação de suas

determinações, restando ao sujeito capturar a estrutura ontológica subjacente a esse objeto, e com isto configurando seu último traço determinativo, sua essência. Para finalizar esta rápida incursão ao pensamento kantiano, lembremos que ao criticar a metafísica e seu impulso pela busca pelos traços essenciais da natureza, Kant estabeleceu em definitivo *a impossibilidade do conhecimento do que é a natureza em si mesma*, isto é, do *númeno*, o que nos afastou das insondáveis indagações ontológico-metafísicas da natureza, cuja matriz é o legado filosófico grego antigo.

Voltemos a Heisenberg e reconheçamos alguns traços aproximativos entre aquilo que denominamos *viragem epistemológica*, instaurada a partir da publicação das chamadas *relações de Heisenberg*, e o procedimento crítico de Kant: as *relações*, como vimos, estabelecem os limites do modo como observamos a natureza em seus domínios quânticos, portanto, estabelecem os limites de nosso acesso aos fenômenos quânticos. Lembremos, mais uma vez, as palavras de Einstein: "É a teoria que decide o que devemos observar". Se a teoria, como mediação conceitual historicamente construída, deve se articular por sobre o que observamos, ou por sobre a base experimental, ou pelo menos considerá-la a partir de suas aplicações – não é a toa que o sucesso de uma teoria reside exatamente no conjugado de sua possibilidade de expressar o aparato experimental, juntamente com sua capacidade de predição – então os limites do ato de observar a natureza estabelecem os limites de nossa teoria.

Como dissemos anteriormente, o conselho de Einstein, tomado a partir da interpretação de Heisenberg recaiu sobre o modo como observamos, ou, de outro modo, recaiu sobre *o modo como conhecemos a natureza a partir de nossas observações*. O problema central da física quântica não era mais – como já não era há algum tempo para o grupo de Bohr e Heisenberg – acomodar os paradoxos, inconsistências e contradições em uma formatação matemática, posto que, como visto em passagens anteriores, havia se tornado impossível – lembremo-nos das críticas de Heisenberg, Bohr ao modelo de Schrödinger, por não acomodar as *descontinuidades*. O problema central da física, para Heisenberg, a partir do legado de suas *relações*, consistia em estabelecer a íntima dependência entre as teorias quânticas e os limites do ato de observar, ou de medir a natureza, daí a importância fundamental ao chamado problema da medição, tratado no início do capítulo cinco de nossa pesquisa.

Este movimento desagua em duas questões que nos parecem pertinentes e que nos auxiliam nas considerações finais em torno da compreensão das posições filosóficas de Heisenberg, não no sentido de acatá-las prontamente, como fizemos anos atrás, mas no sentido de revelar o que está oculto em suas indicações interpretativas em torno do problema da objetividade dos fenômenos quânticos, ou se quisermos, do problema de indagar os constituintes últimos da natureza: 1) Se o acento de Heisenberg recai na aceitação dos limites da observação, e se o modo como observamos os fenômenos quânticos provocam um distúrbio no objeto observado (problema da medição), como podemos conhecer o que é a natureza em seus domínios quânticos? 2) Se não podemos conhecer a natureza dos fenômenos quânticos, por conta dos limites de nosso conhecimento, como explicar a referência de Heisenberg à Platão e à matemática para sustentação de suas posições filosóficas em torno do problema da objetividade dos fenômenos quânticos?

A função de uma conclusão, no nosso entendimento, não é somente atrelada ao anúncio dos principais resultados da pesquisa, mas sim, a *demonstração* dos resultados a partir da *rearticulação concatenada dos principais argumentos*. Isto significa que é necessário uma *retomada genética dos argumentos centrais que configuram a tese*, e que, de algum modo já devem ter sido apresentados e discutidos no interior do desenvolvimento, ou, pelo menos, já devem ter sido configurados os principais elementos conceituais referentes à sua contextualização e ao seu entendimento. Com isto queremos dizer que os dois aspectos que apresentaremos a seguir, e que respondem às duas últimas perguntas há pouco lançadas, já estavam presentes ao longo das discussões tratadas no corpo de nossa investigação. O que será apresentado, a partir de agora – seguindo o modo de tratamento privilegiado ao longo destas considerações conclusivas – é a demonstração dos dois últimos resultados fundamentais à conclusão de nossa pesquisa, isto é explicitar os dois aspectos nucleares para a demonstração de nossa tese, aspectos em diversos momentos configurados ao longo das discussões. Estes dois aspectos responderão pela sustentação final da tese que defendemos.

As pergunta acima anunciadas podem ser respondida a partir de uma proposta *sui generis* de considerá-las cada uma independentemente, como se a outra pergunta não existisse, e, a partir dessa proposta peculiar, considerar as consequências da sua resposta para a compreensão do que se oculta por sob a interpretação conceitual de Heisenberg acerca da objetividade dos fenômenos quânticos.

A primeira pergunta se debruça sobre a seguinte questão: se Heisenberg acata a ideia de que os limites do nosso conhecimento do mundo quântico são postos pelos limites inerentes ao ato de observar, e se o modo como observamos os fenômenos quânticos provocam um distúrbio no objeto observado (problema da medição), como podemos conhecer o que é a natureza em seus domínios quânticos? Se não levarmos em conta a segunda questão (que trata de questões metafísicas), essa primeira questão é auto-suficiente, e, portanto é respondida pelos termos da própria pergunta, isto é, se a observação é a base do conhecimento experimental da física quântica, e base de apoio para a produção das teorias quânticas e se essa observação encerra em si limites, os limites da observação impõem limites ao conhecimento produzido pela física quântica.

Deste modo, considerados lateralmente e de modo independente, os limites dos procedimentos experimentais da física quântica, também chamados de problemas decorrentes da medição ou, simplesmente, problemas inerentes à observação dos fenômenos quânticos, impõem uma função fundamental à observação, ou seja, ao ato de medição, o que resulta em reconhecer, neste contexto, dois aspectos complementares: de um lado é afirmado o primado de uma posição epistemológica sobre a posição ontológica (os problemas em torno do conhecimento se antepõem aos problemas metafísicos), e, de outro lado, o primado de uma posição positivista sobre uma posição realista (a observação se sobrepõe ao que a natureza é "por si mesma").

Isto significa que a posição de Heisenberg, considerando as consequências de suas posições em torno da compreensão dos limites na observação dos fenômenos quânticos, (limites inerentes ao *conhecimento* dos fenômenos quânticos), caracteriza-se como positivista, descritivista, ou instrumentalista.[245]Até este momento não há maiores consequências nesta caracterização do positivismo de Heisenberg, inclusive já o havíamos reconhecido no interior

[245] De acordo com Osvaldo Pessoa Jr., "As interpretações de Schrödinger e de Broglie podem ser consideradas "realistas", pois segundo eles a teoria quântica representa a realidade de maneira definida a todo instante, mesmo quando não há ninguém fazendo observações ou medições. Isso se opõe à concepção "positivista" (também chamada "descritivista" ou "instrumentalista"), que salienta que a tarefa da ciência é descrever de maneira econômica (através de leis) aquilo que é observável, permitindo assim que se façam previsões de resultados em novos experimentos, e que não faz sentido lançar hipóteses a respeito de uma realidade não observável. Nessa época, *Heisenberg* e seu colega Wolfgang Pauli (1900-1958) *defendiam explicitamente uma abordagem positivista*, e a idéia seminal de Heisenberg, que lançou a mecânica matricial, baseava-se apenas em grandezas atômicas que eram *diretamente observáveis*, não a posição ou velocidade de um elétron em um átomo, mas *a intensidade da luz emitida pelo átomo*, sua frequência e sua polarização. Em outubro de 1927, o dinamarquês Niels Bohr (1885-1962), famoso por ter desenvolvido em 1914 um modelo atômico dentro da velha teoria quântica, apresentou uma interpretação bastante elaborada e consistente, de cunho positivista, que fez frente às propostas de Schrödinger e de Broglie, e acabou se tornando a interpretação ortodoxa da mecânica quântica, obtendo as adesões de Heisenberg, Pauli, Born e da maioria dos físicos." Cf. PESSOA JR., Osvaldo. *As interpretações contemporâneas da mecânica quântica*, In: CBPF-CS-005/08, p. 2. (grifos nossos)

do sexto capítulo desta pesquisa, quando analisamos as *relações de indeterminação*, e afirmamos que a compreensão *operacionalista* dos conceitos físicos, de *viés positivista*, em Heisenberg, atrela o conceito à sua efetiva possibilidade operacional. Isto significa que o conceito só ganha significado e sentido se atrelado a uma mensuração experimental, o que permite a Heisenberg estabelecer a experiência como um fio condutor ineliminável em termos de conjectura teórica, ou seja, problematizar aspectos internos envolvidos no próprio processo de experimentação.[246]

A posição *epistemológica* de Heisenberg, portanto, sempre se apresentou, ao longo dos anos de discussão, alinhada ao direcionamento positivista ou anti-realista de Bohr, o que resultou na matriz indicativa do alinhamento filosófico da chamada *interpretação ortodoxa da mecânica quântica*, liderada exatamente por Bohr e Heisenberg. O problema só se torna mais consistente quando confrontamos esta postura positivista com os aspectos levantados na segunda questão acima apresentada.

A segunda pergunta acima formulada nos permitirá considerar uma das peças chave de nossa tese, pois nela se encontra uma atitude paradoxal para um positivista que baliza suas considerações teóricas pela observação e faz dos limites da observação os limites da sua teoria. Recoloquemos, de início, a questão em pauta: se não podemos conhecer a natureza dos fenômenos quânticos, por conta dos *limites de nosso conhecimento*, como explicar a referência de Heisenberg à Platão e à matemática para sustentação de suas posições filosóficas em torno do problema da objetividade dos fenômenos quânticos?

Temos, portanto, uma situação paradoxal, talhada nos seguintes termos: de um lado, Heisenberg estabelece os limites da observação dos fenômenos quânticos, através de uma hipótese *epistemológica*, procedimento que o aproxima de Kant – considerando, como vimos anteriormente, a primeira crítica kantiana – cujo resultado aponta para a impossibilidade de localização simultânea de duas grandezas conjugadas, como, por exemplo, posição e velocidade, com grau de certeza absoluta, conforme discutimos ao longo do quinto capítulo desta pesquisa, quando nos debruçamos sobre as *relações de Heisenberg*; de outro lado, também é possível reconhecer a disposição filosófica de Heisenberg em apontar as vinte e cinco partículas elementares conhecidas em seu tempo – entre elas se encontram o elétron e o neutrino – como, ao mesmo tempo, os constituintes últimos da natureza nos seus domínios

[246] Conforme considerações presentes na página 92 desta pesquisa.

atômicos, e como soluções numéricas de uma equação matemática, conforme apresentamos ao final do sexto capítulo de nossa pesquisa. Como conciliar esta contradição?[247]

A resposta para solucionar este impasse consiste no conteúdo de nossa tese: o problema da objetividade dos fenômenos quânticos, em Werner Heisenberg, se situa entre a matéria e a forma. Em termos mais explícitos, defendemos a tese de que o problema da objetividade dos fenômenos quânticos em Werner Heisenberg somente é corretamente compreendido a partir da compreensão de um *pragmatismo* em Heisenberg, ou de uma atitude *pragmática* no interior do seu pretenso idealismo, atitude que se apresenta como uma chave interpretativa capaz de *resolver a contradição* que se estabelece, entre, as *posições teóricas* do *físico* Heisenberg, que admite indiretamente a existência de uma *base objetiva material* para os fenômenos atômicos, e que considera os limites oriundos da observação desses mesmos fenômenos, e as *posições conceituais* do *filósofo* Heisenberg, que assume diretamente os aspectos matemáticos formais como a *base objetiva ideal*, ou os últimos constitutos intrínsecos aos fenômenos quânticos, portanto uma tensão entre epistemologia e ontologia.

A atitude *pragmática* de Heisenberg instaurada no interior do pretenso idealismo de Heisenberg revela, primeiramente, que a resposta explicitamente apresentada por Heisenberg para o problema da objetividade dos fenômenos quânticos, situando a objetividade próxima da categoria forma ou eidos de Platão, atitude explicitamente filosófica-conceitual, é insuficiente se consideramos aspectos de sua produção teórica, como por exemplo, as suas r*elações de indeterminação*. Trata-se, como a pouco colocado, de uma contradição entre o físico e o filósofo, contradição entre o material e o ideal, entre a *objetividade material* e a *objetividade formal*, entre epistemologia e ontologia, em suma, entre a matéria e a forma. Como o pragmatismo de Heisenberg ajuda a compreensão dessas contradições apontadas?

Primeiro, reconheçamos, Heisenberg é um físico que se apropria da filosofia, e esta apropriação visa uma melhor compreensão dos desafios conceituais atinentes ao novo modo de interpretação exigido pelas especificidades da natureza quântica, e não um filósofo que se debruça sobre a física quântica com o intuito de melhor compreender os traços filosóficos

[247] Lembremo-nos os termos mais específicos a partir dos quais a questão se configura em Heisenberg, a pouco apontados: Para Heisenberg, "Todas as partículas elementares são constituídas da mesma substância originária, isto é energia", e que "[as partículas elementares] Constituem as várias formas que a energia deve assumir a fim de tornar-se matéria." Tais partículas elementares podem ser descritas por certas estruturas matemáticas fundamentais. Isto significa, de acordo com Heisenberg, que as vinte e cinco partículas elementares até então conhecidas são "consequências de uma lei fundamental matematicamente exprimível da qual as partículas elementares são uma solução". Assim as partículas elementares assumem o caráter de solução possível de uma lei fundamental da natureza expressa em linguagem matemática.

resguardados na nova empreitada teórica de conhecimento físico-matemático do mundo atômico.

Isto significa que quem fala primeiro é o físico, e o filósofo deve acompanhá-lo a reboque, ou pelo menos, como é o caso de Heisenberg, evitar ao máximo o desastre *filosófico* das consequências *teóricas*. Ocorre que o primado do *físico* Heisenberg sobre o *filósofo* Heisenberg delimita um preço muito alto que Heisenberg não quer pagar: a destituição da dimensão metafísica na abordagem dos fenômenos quânticos. Se o filósofo Heisenberg assumisse como premissa de suas posições interpretativas e conceituais, as conquistas do físico Heisenberg, jamais poderiam ganhar a ancoragem metafísica, muito menos se alinhar próximo dos *eidos* de Platão. Lembremo-nos que não podemos sequer medir simultaneamente, com precisão absoluta, a velocidade e a posição de uma partícula elementar – como o elétron – pois ao medir a velocidade diminuímos o grau de certeza da posição, e ao localizarmos a partícula, já não podemos precisar a velocidade além de uma faixa de incerteza, isto apenas para nos circunscrevermos no interior dos limites estabelecidos pelas *relações de indeterminação*.

Como Heisenberg procurará resolver as contradições entre o físico e o filósofo? A resposta nos parece repousar no modo como Heisenberg irá se apropriar do idealismo de Platão, e em sua abertura para considerar as estruturas matemática não como *eidos* ou *formas*, ou seja, não como "realidades" ideais, como estruturas que apresentam uma *objetividade ideal*, e que se encontram subjacentes à multiplicidade sensível. Isto significa, nos termos de Heisenberg, a partir de uma passagem acima aludida, considerar que "as partículas elementares da física moderna são definidas por condições matemáticas de simetria", portanto são meramente representações matemáticas abstratas, e que, conforme vimos, "dificilmente podem ser chamadas de 'reais' na verdadeira acepção [platônica] da palavra."[248]

Pelas mãos de sua impostação positivista e anti-realista, alcançadas pelas suas empreitadas teóricas e pelas inserções discursivas que giravam em torno de Bohr, Heisenberg deveria se ater somente ao que emanasse das raias da observação, o que – por questões de coerência – deveria implodir um diálogo mais íntimo com a filosofia – notadamente com a herança metafísica da filosofia grega que ele tanto professava e da qual se nutria – traço

[248] Werner Heisenberg, Problemas de física moderna, p. 26.

marcante na personalidade intelectual de Heisenberg.[249] Por que então um positivista acolhe Platão, mesmo subvertendo seu idealismo, mesmo sem considerar a "realidade" das partículas elementares no sentido atribuído por Platão?

Em primeiro lugar a ideia de ser reconhecido como mero positivista era, portanto, impensável, para Heisenberg, por isso que o recurso de considerar as partículas elementares com estatuto formal das uma estruturas matemáticas, permitiu salvaguardar uma referência à filosofia sem recair em uma armadilha conceitual que o colocasse refém do aparato conceitual da filosofia moderna e de seu materialismo e determinismo, aos olhos de Heisenberg engessador. Com este procedimento Heisenberg a um só tempo evita o empobrecimento da posição positivista que tanto rechaçava, como também escapa do realismo metafísico da modernidade que considera a existência objetiva material independentemente da observação. Este é o teor que explica o procedimento de Heisenberg, e é exatamente neste ponto que repousa sua atitude *pragmática*, chave hermenêutica para compreensão do estatuto de seu idealismo e ponto de chegada de nossa pesquisa.

O *pragmatikós* de Heisenberg resguarda seu sentido etimológico de "fazer o que tem de se fazer": manter as conquistas oriundas da abordagem teórica da física quântica, conquistadas a ferro e fogo por Heisenberg e seus interlocutores mais próximos, como Bohr, Pauli e Born, conquistas físico-teóricas efetivamente *positivistas* oriundas de abordagens filosóficas efetivamente *epistemológicas*, e conferir elegância às apropriações conceituais filosóficas, mantendo aberta a salutar disposição dialogal com a filosofia, de preferência com formulações que preservem uma abertura para a *forma* e a *matéria*, como é o caso do uso que faz de Platão, notadamente, e de Aristóteles com menos frequência.

Eis o que tínhamos a apresentar. Estimamos que as reflexões aqui conduzidas possam contribuir como um convite para o ingresso em um dos debates mais intrigantes da filosofia natural. Oferecemos o que consideramos uma alternativa hermenêutica de resposta, mas a pergunta permanece sussurrando nos tímpanos da ciência e da filosofia, e aguçando nossa curiosidade na medida em que ainda permanece um enigma: qual a objetividade da natureza?

---

[249] Recordemos a compreensão dos limites dos positivistas quando Heisenberg cita Bohr: "Tudo o que os positivistas estão tentando fazer – concluiu Niels - é dar aos métodos da ciência moderna uma base filosófica, ou, se vocês preferirem, uma justificação. Eles assinalam que falta às antigas filosofias a exatidão própria dos conceitos científicos e acham que muitas das questões levantadas e debatidas pelos filósofos convencionais não têm sentido: são pseudo-problemas e, como tais, mais vale ignorá-los. Endosso a insistência positivista na clareza conceitual, mas sua proibição de qualquer debate sobre as questões mais amplas, apenas por nos faltarem conceitos suficientemente bem definidos nessas áreas, não me parece útil; essa mesma proibição impediria que compreendêssemos a teoria quântica". Cf. Werner Heisenberg, *Physics and philosophy*, p. 73.

Bibliografia

ABDALLA, Maria Cristina Batoni. *Niels Bohr o arquiteto da mecânica quântica. In: Quânticos: os homens que mudaram a física*. São Paulo: Ed. Duetto, 2010.

ABBAGNANO, Nicola. *Dicionário de filosofia*. 3ºed. Tradução Alfredo Bosi. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

ANGIONI, L. *As noções aristotélicas de substância e essência*. Campinas: Editora Unicamp, 2008.

ARISTÓTELES. Categorias. Trad. de Ricardo Santos.

_____. *Metafísica*. Tradução de Marcelo Perine. São Paulo: Edições Loyola, 2002.

_____. *Metafísica*. 2º ed. Trad. de Valentín García Yebra. (ed. Trilingue). Madri: Editorial Gredos, 1990.

BOHR, N. *Física atômica e conhecimento humano: ensaios 1932-1957*. Tradução de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995.

BUNGE, M. *Filosofia da Física*. Tradução de Rui Pacheco. São Paulo: Edições 70, s/d.

_____. *Caçando a Realidade*. Tradução de Gita K. Guinsburg. São Paulo: Perspectiva, 2010.

CHIBENI, S. S. ; RYFF, L. C. B. ; PESSOA JR, O. ; MAIORINO, J. E. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*. Campinas, Série 3, v. 2, n. 2, p. 137 -278, jul./ dez. 1992.

CHIBENE, S. S. *Problemas com o realismo em mecânica quântica: Uma análise de resultados recentes*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Física Gleb Wataghin, UNICAMP, 1984.

_____. *A incompletude da mecânica quântica. O Que Nos Faz Pensar*, n. 5, p. 89113, 1991.

CARUSO, F. ; OGURI, V. *Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2006.

DANTAS, M. T. *Heisenberg e a filosofia grega*. (dissertação de mestrado). Rio de janeiro: PUC- RIO, 2005. Certificação Digital n° 0311027/CA.

DUARTE, R. A. de P. *Marx e a natureza em o Capital*, São Paulo: Edições Loyola, 2º ed., 1995.

FEYNMAN, R, P. *Lições de Física*. Tradução de Adriana Valio Roque da Silva. São Paulo: Bookman, 2008.

FOSTER, J. B. *A ecologia de Marx: materialismo e natureza*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2005.

FREIRE JR, O. ; PESSOA JR, O. ; BROMBERG, J. L.(org.) *Teoria Quântica*. Campina Grande: EDUEPB/ Livraria da Física, 2011.

HEGEL, G. W. F. *Prefácios*. Tradução, introdução e notas de Manuel J. Carmo Ferreira. Lisboa: Imprensa Nacional Casa da Moeda, 1990.

HEISENBERG, W. ; SCHRÖDINGER, E. ; BORN, M. ; AUGER, P. *Problemas da Física Moderna.* Tradução de Gita K. Guinsburg. São Paulo: Perspectiva, 2011.

HEISENBERG, W. *The physical Principles of the Quantum Theory*. trad. de C. Eckart e F. C. Hoyt. Toronto and London: Dover, 1949.

_____. *The physical content of quantum kinematics and mechanics*. trad. J.A. Wheeler e W. H. Zurck, in: Quantum Theory and Measurement, Princeton University Press, 1983, p. 62-84.

_____. *A parte e o todo: encontros e conversas sobre física, filosofia, religião e política*. 1° edição – 5° reimpressão. Tradução Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, 2011. [*Título original: Physics and beyond: encounters and conversations*. Tradução cotejada com a edição alemã *Der Teil und das Ganze: Gespräche im Umkreits der Atomphysik*. Harpers Collins Publishers, 1971].

_____. *Física e Filosofia*. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1981.

_____. *A ordenação da realidade* (1942). trad. de Marco Antônio Casanova. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2009.

HUSSERL, E. *A crise das ciências europeias e a fenomenologia transcendental*. Tradução de Diogo Falcão Ferrer. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2012.

JAMMER, M. *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, New York, McGraw-Hill Book Company, 1966.

_____. *The Philosophy of Quantum Mechanics*, New York, John Wiley & Sons, Inc., 1974.

KANT, *Crítica da razão pura*. Tradução de Manoela Pinto dos Santos e Alexandre Fradique Morujão. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1985.

LARA, T. A. *Caminhos da razão no ocidente: a filosofia nas suas origens gregas*, v.I, Rio de Janeiro: Vozes, 1989.

LÖVY, M. *Ideologias e ciências sociais*. São Paulo: Editora Cortez, 1985.

LUKÁCS, G. *Prolegômenos para uma ontologia do ser social*. Tradução Lia Luft e Rodinei Nascimento. São Paulo: Editora Boitempo, 2010.

MAOIRINO, José Emílio. *O pensamento reducionista na filosofia de Niels Bohr*. In: Cadernos de História e Filosofia da Ciência, UNICAMP, Série 3, n.2, julho a dezembro de 1992.

MARTINS, Roberto de Andrade. *Werner Heisenberg: o semeador da mecânica matricial*. In: Scientific American, coleção "Gênios da Ciência". São Paulo: Ed. Duetto, 2010.

MARTINS, Roberto de Andrade.; ROSA, P. S. *História da teoria quântica: a dualidade onda-partícula, de Einstein a De Broglie*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

_____. *Louis de Broglie: o príncipe que combinou ondas com partículas*. In: Scientific American, coleção "Gênios da Ciência". São Paulo: Ed. Duetto, 2010.

MARTINS, R de A.; MACHADO, S. S. *Erwin Schrödinger: o escandaloso criador da mecânica ondulatória*. In: Scientific American, coleção "Gênios da Ciência". São Paulo: Ed. Duetto, 2010.

MERLEAU-PONTY, M. *A Natureza*. Tradução de Álvaro Cabral. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

NETO, N. P. *Teorias e Interpretações da Mecânica Quântica*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2010.

OLIVEIRA, Manfredo. *Filosofia: lógica e realidade*. (Mimeo). Fortaleza, 2006.

OMNES, R. *Filosofia da Ciência Contemporânea*. Tradução de Roberto Leal Ferreira. São Paulo: Editora UNESP, 1996.

PLATÃO. *A República*. Tradução de Maria Helena da Rocha Pereira. 8ºed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996.

_____. *O Sofista*. Tradução de José Cavalcante de Souza. 5ºed. *In*: Os Pensadores. São Paulo: Nova Cultural, 1991.

POLITO, Antony. *A construção de estrutura conceitual da física clássica*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

PALANDI, Joecir; FIGEUIREDO, Dartanhan Baldez; DENARIN, João Carlos; MAGNANO, Paulo Roberto. *Física Moderna*. Santa Maria: Editora UFSM, 2010.

PATY, M. *A Física do século XX*. Tradução de Pablo Mariconda. Aparecida, SP: Ideias e Letras, 2009.

PESSOA JR., Osvaldo. *O problema da medição em Mecânica Quântica: um exame atualizado*. In: Cadernos de História e Filosofia da Ciência, UNICAMP, Série 3, n.2, julho a dezembro de 1992.

_____. *Conceitos de Física Quântica*. (Volume I) São Paulo: Editora Livraria da Física, 2003.

_____. *Conceitos de Física Quântica*. (Volume II) São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

PLATÃO, *A República*. Tradução de Maria Helena da Rocha Pereira. 8 º ed. Lisboa: Editora Calouste Gulbenkian, 1996.

_____. *O Sofista*. Tradução de Carlos Alberto Nunes. 2º ed. Belém: Editora Universitária UFPA, 2007.

POPPER, K. *A Lógica da Pesquisa Científica*. Tradução de Leônidas Hegenberg e Octanny Silveira da Costa. São Paulo: Cultrix, 2004.

_____. *Pós-Escritos à Lógica da Descoberta Científica.* Vol. 3. *A Teoria Quântica e o Cisma na Física*. Lisboa: Dom Quixote, 1992.

REALE, G. *História da Filosofia Antiga*. Vol. I. Tradução de Marcelo Perine. São Paulo: Loyola, 1993.

RICOEUR, Paul. *Ser, Essência e Substância em Platão e Aristóteles*. Tradução de Rosemary Costhek Abilio. São Paulo: Martins Fontes, 2014.

SCHOFIELD, M.; RAVEN, J. E; KIRK, G. S (org.) *Os filósofos pré-socráticos*. 4° ed. Tradução de Carlos Alberto Louro Fonseca. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1994.

SCHRÖDINGER, E. *A natureza e os gregos*. Tradução de Jorge Almeida e Pinho. Lisboa: Edições 70, 2003.

SILVA, V. C. *A Filosofia da Ciência da Mecânica Quântica e a Desconstrução da Ontologia Materialista.* Revista Cadernos PET Filosofia, v.1, nº2, 2010.

SIQUEIRA, A. F.; FILHO, J. B. B. (org.) *Reflexões sobre os fundamentos da física moderna*. Maceió: Edufal, 1997.

STUDART, Nelson. *Max Planck: O revolucionário conservador*. In: Gênios da Ciência. São Paulo: Editora Duetto, 2010.

WHITEHEAD, A. N. *O Conceito de Natureza*. Tradução de Júlio B. Fischer. São Paulo: Martins Fontes, 1993.

VERNANT, Jean-Pierre, *As origens do pensamento grego*. 7º ed. Trad. Ísis Borges da Fonseca. Rio de janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1992.

XAVIER, G. *O conceito de substância em Aristóteles: Algumas considerações sobre sua origem a partir da crítica à doutrina das Ideias de Platão e do dilema entre os sentidos de universal e individual*. Dissertação de Mestrado. (Mimeo). Florianópolis, UFSC, 2013.

ZINGANO, M. (org.). *Sobre a metafísica de Aristóteles*. São Paulo: Editora Odysseus, 2005.

_____. *As categorias de Aristóteles e a doutrina dos traços do ser*. In: Revista Dois Pontos, UFPR, 2013.