

# Realidade e natureza filosoficamente discutidas a partir das mudanças paradigmáticas pressupostas pela Interpretação de Copenhague da física quântica

*Cristiano Aparecido Maciel\**

**Resumo:** Este artigo resume o trabalho de conclusão de curso homônimo apresentado pelo autor para a obtenção do grau de licenciado em filosofia pela FAE Centro Universitário em novembro de 2014. São apresentadas, ordenadamente, algumas elaborações conceituais concernentes às definições de realidade e de natureza, especialmente as realizadas pelos pensadores gregos das origens da filosofia e pelos europeus da aurora da modernidade. No centro do trabalho se faz uma análise filosófica das origens da física quântica, desde o seu advento, em 1900, com a hipótese quântica, de Max Planck, até a primeira interpretação geral de seu formalismo teórico, a interpretação de Copenhague, finalizada em 1927. Então, confrontando os conceitos e paradigmas tradicionais aos novos postulados e pressupostos da física quântica, faz-se uma discussão filosófica das diferentes formas com que se pode interpretar a realidade da natureza.

**Palavras-chave:** Interpretação de Copenhague da Física Quântica; metafísica quântica; realidade; natureza.

## Introdução

A realidade atribuível à natureza não é e, muito provavelmente, nem poderia ser tal e qual a induzida pela percepção e pelo intelecto; tal limitação acerca do pensamento natural foi comumente abordada de dois modos ao longo da história: ou por elaboração imaginativa de realidades anteriores e superiores à atual (modo religioso e modo metafísico), ou por observação e conceituação racional abstrata acerca da realidade atual (modo científico e modo a-metafísico).

---

\* Licenciatura em filosofia - FAE Centro Universitário; freicristianomaciel@yahoo.com.br

O trabalho em questão limitou a investigação dessas construções intelectuais a três momentos históricos significativos: Grécia antiga, na aurora da filosofia, entre os séculos VI a. C. e IV a. C.; Europa moderna, na aurora da ciência, entre os séculos XVI e XVIII; Ocidente contemporâneo, na aurora da física quântica, entre o final do século XIX e o final dos anos 1920, quando da elaboração final da Interpretação de Copenhague do seu formalismo teórico.

A partir desses dados todos é que se buscou fazer uma discussão filosófica mais profunda acerca dos conceitos e paradigmas historicamente desenvolvidos em relação à realidade da natureza confrontados às mudanças paradigmáticas pressupostas pela Interpretação de Copenhague.

O presente trabalho inspirou-se, sobretudo, no pensamento de Werner Karl Heisenberg (1901-1976) contido na obra *Física e filosofia* (HEISENBERG, 1981), compilação feita a partir das Conferências Gifford, ministradas pelo mesmo no semestre de inverno de 1956-57, na Universidade de Saint Andrews, em Glasgow, Irlanda, para estudantes interessados em filosofia e em ciências naturais.

Heisenberg acreditava na importância de um bom entendimento acerca das influências diretas e indiretas da física quântica na vida cotidiana das pessoas, e na promoção de um diálogo saudável entre as formas de pensamento tradicionais da humanidade e as profundas mudanças paradigmáticas pressupostas pelas descobertas e invenções advindas da mesma.

Por ser verdade que os resultados da física moderna tocam de perto em conceitos fundamentais como realidade, espaço e tempo, a confrontação poderá dar lugar a mudanças inteiramente novas e, atualmente, imprevisíveis. Um aspecto característico desse encontro, entre a ciência moderna e as velhas maneiras de pensar, será sua completa miscigenação (HEISENBERG, 1981, p. 7).

## **1 Construção filosófica dos conceitos inerentes à definição de realidade e de natureza**

Thomas Samuel Kuhn (1922-1996), na obra *A estrutura das revoluções científicas* (KUHN, 2003), afirmou o paradigma como possuindo dois sentidos diferentes.

Um paradigma é aquilo que os membros de uma comunidade partilham e, inversamente, uma comunidade científica consiste em homens que partilham um paradigma (KUHN, 2003, p. 221).

O primeiro sentido encerraria as crenças, valores e técnicas partilhadas pelos membros de certa comunidade científica; o segundo encerraria as soluções concretas que formariam o “quebra-cabeça” proposto pela “ciência normal” adotada por aquela comunidade (KUHN, 2003, p. 220).

Desse modo, Kuhn defendia uma espécie de dialética entre o paradigma científico e o cientista, onde o padrão de ciência normal daria as condições de possibilidade do ser cientista de dada corrente ou comunidade, ao tempo que, uma vez introduzido na comunidade científica, com sua ideologia e potencialidades próprias, aquele cientista daria continuidade e até poderia melhorar o paradigma de ciência normal ao qual fora apresentado.

A palavra paradigma não foi inventada por Kuhn, mas escolhida por ela possuir o conceito mais próximo daquele que ele pretendia defender em sua teoria historiográfica da ciência:

Com a escolha do termo pretendo sugerir que alguns exemplos aceitos na prática científica real – exemplos que incluem, ao mesmo tempo, lei, teoria, aplicação e instrumentação – proporcionam modelos dos quais brotam as tradições coerentes e específicas da pesquisa científica (KUHN, 2003, p. 30).

Os paradigmas estabeleceriam a norma científica, ou ciência normal, para determinada comunidade de cientistas. Consequentemente, não existiria uma ciência única, mas uma série de correntes científicas em competição umas com as outras, que surgiriam e desapareceriam por processos semelhantes à seleção natural. Eles forneceria como que as lentes para se olhar a realidade natural; toda observação e experimentação seriam feitas a partir dos mesmos, e eles seriam utilizados para a elaboração da explicação teórica; isso constituiria a ciência normal e a continuidade da tradição de certa comunidade científica.

Inevitavelmente os paradigmas tornar-se-iam incapazes de enxergar a realidade natural em certo escopo e de explicar novos e inauditos fenômenos. As chamadas “revoluções científicas” (KUHN, 2003, p. 25) ocorreriam justamente nesse limite onde os paradigmas não mais responderiam aos questionamentos suscitados pelo conhecimento da realidade natural, nem teórica nem experimentalmente. A isso se pretendeu referir com a expressão “mudanças paradigmáticas”.



## 1.1 Realidade e natureza no paradigma filosófico comum

O modo mais simples de iniciar a discussão dos conceitos de realidade e de natureza e da mútua implicação entre ambos consiste na consideração enciclopédica de alguns conceitos<sup>1</sup>:

*Real* é o que se refere à coisa (*res*); é aquilo que existe de fato ou em ato. *Realidade* indica o modo de ser das coisas quando se prescinde da mente humana; indica o grau de existência efetiva ou atual da coisa. Hegel definiu a realidade como a unidade imediata (síntese) entre essência e existência, entre o interno e o externo.

*Existência* indica delimitação ou definição do ser; em sentido geral, ou indica um modo de ser determinado ou determinável, ou um modo de ser real ou factual; ou mesmo o modo de ser próprio do homem. *Experiência* indica participação em situações ou estados de coisas repetíveis de modo a capacitar para a resolução de problemas futuros; também indica a reproduzibilidade de certas situações com vistas à verificação das soluções atribuíveis às mesmas.

*Conceito* indica processo ou procedimento semântico que possibilite descrever, classificar e prever objetos cognoscíveis, sejam eles concretos ou abstratos. *Coisa* é um conceito genérico para designar qualquer tipo de objeto de tratamento; também pode denotar os objetos naturais em si. *Verdade* qualifica a validade, eficácia ou êxito de um procedimento cognoscitivo; designa correspondência, revelação, conformidade, coerência ou utilidade entre conceitos e a realidade experimentada.

*Natureza* pode ser o princípio de movimento (substância), a ordem necessária ou causalidade, a exterioridade à consciência, ou a convergência de certas técnicas de investigação.

A partir de tais conceitos, no trabalho original, desenvolveu-se uma postulação inédita acerca dos mesmos por meio de uma nova fundamentação epistemológica, uma complexa tentativa de pensar um sistema de base para bases de explicação da realidade fundadas em certo necessitarismo lógico e físico verificado na realidade quântica. Embora interessante, não poderia ser resumido aqui em poucas palavras.

A palavra natureza, em todo o trabalho, foi utilizada em dois modos: na sua concepção categórica, tanto particular quanto geral; e conforme o senso comum, designando o conjunto do todo que envolve os fenômenos físicos e metafísicos, isto

---

1. Os conceitos apresentados se basearam nos verbetes homônimos tomados de Abbagnano (2000). Vários desses conceitos foram analisados etimologicamente a partir de Cunha (1982).

é, a natureza conhecida como o conjunto das plantas, dos animais, das águas, do céu estrelado, do ser humano com os seus pensamentos etc.

Com realidade atribuível à natureza, realidade da natureza, ou realidade natural, pretendeu-se referir ao mesmo e imediato objeto do conhecimento, isto é, aquele que intuitivamente se forma na razão a partir da combinação lógica dos conceitos de realidade e de natureza. E esse é o principal objeto de investigação proposto: quanto a natureza física é uma coisa em ou por si mesma?

## 1.2 Complementos à metafísica aristotélica na visão de Hegel

Para um entendimento básico da terminologia filosófica dos pensadores originários utilizada por Heisenberg em sua análise da física quântica, recorreu-se ao Livro XII da Metafísica de Aristóteles e à sua interpretação a partir das Lições sobre a história da filosofia (ARISTÓTELES, 1970; HEGEL, 1955), de Hegel (1770-1831), às páginas 160 e 161.

Conhecer uma coisa é descobrir as suas primeiras causas (ἐξάρχης αἰτίων)<sup>2</sup>. As causas podem ser entendidas em quatro sentidos distintos: 1) essência: faz a coisa ser o que ela é; 2) matéria ou substrato: subsidia a geração e manifestação da coisa; 3) princípio de movimento: gera e dinamiza a coisa; 4) fim ou bem: causa complementar, meta de toda geração e de todo o movimento da, na e sobre a coisa.

Segundo Aristóteles, a maioria dos que se puseram a filosofar antes dele pensaram que os princípios de índole ou essência (εἶδος) material (ἐν ὕλης εἶδει) seriam os únicos para todos os seres. De fato, esse era o pressuposto dos pensadores originários, então chamados físicos ou fisiólogos e, posteriormente, pré-socráticos.

Esse princípio material, donde se gerariam e aonde se corromperiam as coisas, seria aquilo que constituiria cada elemento (στοιχεῖον) dos entes e o princípio dos seres, a alma, conjunto que estabeleceria o substrato (τὸ ὑποχείμενον) da coisa, ou seja, o que, na coisa, subsidiaria a capacidade da mesma de manifestação ôntica, isto é, do ente.

Daí, cada coisa possuiria uma substância (οὐσία; persistência, ou realização do teor da sistência diante de sua negação) com impermanência manifesta nos aciden-

---

2. Os termos gregos e as propostas de significação estão todas em HEGEL, 1955. As traduções do espanhol foram feitas livremente pelo autor do presente trabalho.

tes (*παθεσι*; o que muda na estrutura sistente da coisa diante da interação com o restante do todo).

Em outros termos, toda coisa possuiria substrato oriundo da composição entre elementos (matéria) e princípios (forma) de naturezas diversas. Tais naturezas poderiam possuir uma única ou mais naturezas geratrizes e motrizes, comuns ou não, que constituiriam uma substância que, conservando e manifestando a essência da coisa, não seria isenta da mudança de características proveniente da interação com o resto do todo, ou seja, isenta de acidentes, que são relativamente permanentes, mas não totalmente irreversíveis.

### *1.3 Visão de mundo dos gregos antigos*

A principal chave de leitura utilizada para a construção filosófica dos pensamentos dos físicos ou fisiólogos foi aquela proposta por Hegel, de que o movimento racional empreendido pelos mesmos em relação à religião dos deuses lendários teria sido basicamente o mesmo empreendido pelos pensadores renascentistas e modernos em relação à religião cristã.

Dá-se o nome de “mitologia” grega ao conjunto de narrativas maravilhosas e lendas de toda a sorte que, como revelam os textos e monumentos figurados, tiveram curso nos países de fala grega, entre o IX e o VIII século antes da nossa era, época a que nos reportam os poemas homéricos, e o fim do “paganismo”, três ou quatro séculos depois de Cristo. Existe aí um material imenso, difícil de definir, de origens e de caracteres muito diversos, que desempenhou e desempenha ainda, na história espiritual do mundo, um papel considerável (GRIMAL, 1958, p. 7).

Na mitologia grega, a mais famosa forma de politeísmo antropomórfico da história, explicava-se a existência de um cosmo eterno baseado nos princípios (Nyx e Érebo, Eros e Estígia), titãs (Urano, Gaea e Ponto), deuses, semititãs, semideuses, monstros, gigantes, mortais, e na mistura entre essas classes, das quais teria resultado, através de um processo bastante complexo e confuso, a humanidade.

A mitologia não formava um conjunto teórico coeso e se mostrava insuficiente para explicar alguns fenômenos e descobertas em relação à natureza. Surgiram alguns homens que tentaram abordar esse problema tentando racionalizar a fé grega ou combater-la vigorosamente.

Os então chamados fisiólogos não foram nem filósofos nem cientistas, em sentido estrito, mas desenvolveram um pensamento original e originário que, em diversos

pontos, assemelhou-se à filosofia e à ciência, dele derivadas posteriormente; embora se assemelhem, o pensamento originário simplesmente aponta para o mistério da realidade, enquanto que a filosofia o discute e as ciências tentam desvendá-lo e desmistificá-lo. Eis os principais pensamentos:

Tales de Mileto (640-624 a.C.- 550-543 a. C.), astrônomo e geômetra, fundador da escola jônica, sediada em Mileto. Ele ensinava que o princípio material de todas as coisas seria a água. Perguntava pela causa material do mundo enquanto um único princípio racionalmente compreensível. Provavelmente partia do pressuposto de a água ser o elemento mais abundante da natureza, e de ela ser a mais sagrada, tanto pela necessidade vital, quanto pela Estígia mitológica, que até os deuses respeitavam.

Anaximandro de Mileto (611-609 a.C. - 547-545 a.C.), amigo e sucessor de Tales; matemático, político, astrônomo e geógrafo. Para ele, o princípio de todas as coisas seria o *Apeiron* (gr.: Ilimitado). Seria não um princípio material, mas indeterminado, infinito, eterno e indestrutível, que faria a geração e corrupção através da contraposição e justaposição de diversas substâncias complementares e suplementares entre si e que conformariam a realidade do cosmos. Do indeterminado é que nasceriam os mundos e os deuses que, posteriormente, voltariam a fundirem-se no mesmo.

Anaxímenes (588-585 a.C. - 528-524 a.C.), colega e sucessor de Anaximandro; meteorologista; o mais destacado pensador da escola jônica. Para ele, o princípio material de todas as coisas seria o ar. Segundo o esquema de condensações e rarefações, criado por Tales, o ar pareceu, para Anaxímenes, ser o mais fundamental e rarefeito, com natureza mais próxima à da alma; além disso, o ar seria mais urgente à vida do que a água.

Pitágoras de Samos (608-578 a.C. – 504-496 a.C.), considerado semideus, criador de uma importante liga religioso-filosófica em Eleia; músico, geômetra e pensador, provável mentor das denominações de matemático e de filósofo. Ele acreditava que o mundo deveria possuir uma essência parecida com a da música, ou seja, uma perfeição matemática ordenada pelos números. Acreditava numa unidade dual entre o Limite e o *Apeiron*, que fundamentaria os demais graus de perfeição matemática da realidade.

Xenófanos de Colofão (570 a.C. - 475-460 a.C.), filósofo e poeta errante. Combateu os morfismos atribuídos às divindades, e fez a ponte entre as escolas de Mileto e de Eleia, estabelecendo as bases de um monismo cosmológico e teológico. O Uno como produto imediato do pensamento puro deveria ser, em sua imediaticidade, o próprio Ser. Tudo seria mera aparência carente de realidade; além do ser nada mais se poderia determinar acerca do uno.

Parmênides de Eleia (540-530 a.C. - 460-450 a.C.), orador da escola eleática. Estabeleceu o pensamento como via para a verdade, recolocando a questão do ser uno. Com a exigência lógica da não-contradição, admitindo o ser necessariamente ingênito, incorruptível, íntegro, inquebrantável e ilimitado, foi obrigado a negar o não-ser e a possibilidade do vazio e da mudança real. É o pensador da imutabilidade.

Heráclito de Éfeso (576-540 a.C. - 480-470 a.C.), eremita revoltado contra o sistema. Obscuro em seu pensamento, foi considerado o maior dentre os pensadores originários. Tomou o fogo como princípio material de todas as coisas, pois, não podendo ser gerado por qualquer outro elemento, ele parecia poder originá-los. A mudança seria o próprio princípio; tudo estaria em movimento e em oposição, num eterno conflito do fogo com os demais elementos que fundamentaria a harmonia do um, o *Logos*, unidade do material e do não material.

Empédocles de Agrigento (495-484 a.C. - 435-421 a.C.), aristocrata multitalentoso, inteligentíssimo, provável mentor da arte da eloquência. Viveu seus últimos anos como semideus e teria ido para o Olimpo através das lavas do Etna. Com a doutrina dos quatro elementos, ou quatro raízes (fogo, água, ar e terra), através da dinâmica entre os princípios imateriais da Amizade e do Ódio, estabeleceu um ciclo de nascimento e morte do cosmo na mistura e separação das raízes.

Anaxágoras de Clazômena (500-499 a.C. - 428 a.C.), erudito e discreto, teria a capacidade da projeção da alma. Foi membro da escola jônica e iniciador do pensamento filosófico em Atenas, chegando a ensinar Sócrates. Toda mudança se daria pela mistura e separação causada pelo princípio inteligível, o *nous*, das infinitamente variadas sementes, as *homeomerias*, que comporiam todas as coisas em proporções racionais condensadas.

Leucipo de Mileto (500-480 a.C. - 420 a.C.), filósofo e estudioso da natureza. Fez parte da escola eleática e depois fundou a escola de Abdera. Criou o atomismo a partir das ideias já correntes de unidades de materialidade do mundo. Os átomos seriam as unidades fundamentais da materialidade do mundo, infinitamente variados, eternos, indivisíveis e invisíveis. Mover-se-iam no vazio, e da dinâmica entre eles dependeria o Ser.

Demócrito de Abdera (460 a.C. - 370-360 a.C.), matemático, geômetra e filósofo mais famoso do que Sócrates na época. Ajudou Leucipo a desenvolver o atomismo, e deu suas próprias contribuições à escola de Abdera. A realidade seria constituída pelos entes e pelo nada, e não pelos aspectos das coisas, os efeitos secundários ad-



vindos da dinâmica atômica. Consequentemente, tudo seria mecanicismo atômico, e o acaso seria mera expressão de ignorância da realidade atômica.

### 1.4 A realidade natural platônica, aristotélica e cristã

Aristocles de Atenas (428-427 a.C. - 348-347 a.C.), ou Platão, *pai da filosofia*, foi um exímio pensador, discípulo e amigo do não menos famoso Sócrates (470-468 a.C. - 399 a.C.). Fundou a Academia, em Atenas, uma escola filosófica que visava combater o pensamento sofista até então dominante. Haveria o mundo das ideias, das realidades superiores, a partir das quais o Demiurgo (Eros) teria plasmado o mundo presente como imagem numérica (formalizada) dos deuses originais (Princípios), porém menos perfeita conforme o grau de concretude. Seria uma graça divina o homem ser a síntese entre os dois mundos, o da Matéria e o da Ideia.

Aristóteles de Estagira (384 a.C. - 322 a.C.) foi discípulo de Platão e mestre do grande imperador macedônio, Alexandre. Inteligentíssimo, foi um dos mais profícuos autores de todos os tempos, e fundador do Liceu, também em Atenas. Haveria o mundo sublunar, constituído das substâncias sensíveis eternas (almas) e corruptíveis (matérias físicas); e o mundo supralunar, constituído das substâncias puras móveis (astros) e imóveis (deuses). A realidade infinitamente contínua seria não atômica e antirreal; por isso ele estabeleceu a teoria do ato e potência, e da matéria e da forma, como forma de superar o salto da infinitude para a finitude sem supor a separação platônica em dois mundos.

Jesus de Nazaré (8-4 a.e.c. - 30 d.e.c.), provavelmente o homem mais extraordinário que já existiu, tornou-se o marco maior da história humana. Embora não tenha estudado formalmente, e muito pouco tenha viajado, por sua vida e ensinamento foi creditado como Filho Unigênito do Deus Único da tradição religiosa judaica. Haveria uma divisão entre o mundo da carne (material) e o mundo do espírito (espiritual), com primazia e finalidade desse último. A anti-ação do Nada em relação à Luz criadora de Deus resultara em forças limitadoras na natureza, fontes da corrupção e da imperfeição, e potencialidades do mal e do pecado quando do surgimento da racionalidade humana. Por isso o mundo físico seria passageiro e aparente, ao tempo que o mundo espiritual seria o mais importante, necessidade do cultivo da vida espiritual da alma humana para a Verdade e a Salvação como meios de se obter a vida eterna.

## 1.5 Realidade natural para os pensadores modernos

Nicolau Copérnico (1473 - 1543), cômego agostiniano polonês; desenvolveu uma teoria heliocêntrica baseada na geometria e no atomismo dos gregos antigos e em algumas hipóteses de Nicolau de Cusa para superar o geocentrismo ptolomaico. Não admitindo diferenças qualitativas nos componentes do mundo, mas apenas de quantidade e de estrutura geométrica, adotou uma visão atomista da realidade, com elementos de matéria, com o vazio e com princípios de movimento comuns a todo o cosmo.

Giordano Bruno (1548 - 1600), frade dominicano; interpretando filosoficamente a teoria de Copérnico, postulou a existência de corpos ígneos e luminosos no cosmo que seriam constituídos da mesma matéria e sujeitos às mesmas leis. Imaginou que o mundo seria infinito e cheio de uma matéria plástica e dúctil a permear o aparente vazio entre os corpos celestes, um protótipo do éter físico. A matéria seria como que o corpo de Deus, e a forma como que o seu Espírito. Por essa visão panteísta foi condenado como herege pela Inquisição Romana.

Tycho Brahe (1546-1601), nobre, astrólogo dinamarquês; descobrindo mutabilidades siderais até então impensáveis, colocou em descrédito o esquema aristotélico e ptolomaico de visão de mundo. Entretanto, supondo a física aristotélica, foi obrigado a criticar o heliocentrismo copernicano, estabelecendo um geocentrismo próprio, onde o sol seria orbitado pelos planetas, mas todos os corpos celestes orbitariam a terra num complexo sistema de órbitas circulares, até então único paradigma aceito.

Johannes Kepler (1571-1630), matemático e astrônomo alemão; foi assistente de Brahe e, apossando-se indevidamente de vários de seus dados, mudou o paradigma de orbita planetária de círculos para elipses, ainda que a contragosto. Baseado na força magnética de Gilbert, que englobava todos os fenômenos que envolvessem atrações recíprocas entre os corpos, Kepler fundamentou o heliocentrismo e uma visão de mundo que vinculava o Universo à Trindade Divina, conforme uma vertente panteísta do protestantismo da época.

Galileu Galilei (1564-1642), matemático italiano. Ele lançou as bases filosóficas para uma nova ciência, a ciência moderna, enquanto a investigação objetiva de uma realidade material natural determinada em leis universais parametrizáveis segundo a matemática e a geometria. Haveria o mundo das quantidades espaciais e temporais, vinculado à matéria encerrada numa natureza mecânica e autônoma; e o mundo dos espíritos, apartado da natureza, vinculado ao espírito humano.

René Descartes (1596-1650), pensador francês, *pai da matemática e da filosofia moderna*; desenvolveu filosoficamente o pensamento de Galileu. A substância primária, Deus, criaria as duas substâncias secundárias ou derivadas, a matéria e o espírito. Cada uma delas teria uma realidade própria, e o homem seria o elo de ligação entre elas. Haveria o mundo natural mecânico, formado pela *res extensa* (coisa extensa) dotada de geometria e quantidade; o mundo intelectual, formado pela *res cogitans* (coisa pensante) fundada nas qualidades abstraídas intelectualmente; e o mundo espiritual, princípio e fim da existência, Deus mesmo.

Isaac Newton (1643-1727), matemático e filósofo da natureza inglês, pai e mentor da Física Clássica. Descobriu que a luz branca não passava de um efeito visual oriundo da composição das cores do espectro luminoso e, com a teoria ondulatória da luz, destruiu de vez a visão metafísica da mesma. Com a teoria da gravitação universal ele superou a força magnética de Gilbert e estabeleceu uma poderosa ferramenta de explicação da realidade natural, embora jamais tenha aceitado o próprio pressuposto da ação à distância entre porções de matéria.

## 2 Análise filosófica das origens da física quântica

Depois de Newton, a Física Clássica evoluiu de modo espetacular, gerando uma crença absoluta no seu pressuposto poder de explicação da realidade natural. Embora a física tenha se afastado bastante da reflexão filosófica, ela esperava atingir brevemente a verdade objetiva do universo, ainda no final do século XIX.

O primeiro obstáculo foi o da explicação do espectro de radiação do corpo negro, que consistia na medição dos padrões de emissão térmica de uma câmara de absorção quase perfeita de radiação eletromagnética (luz). Conforme a termodinâmica, quanto maior a frequência da luz injetada no corpo negro, tanto maior deveria ser a potência irradiada. Mas o que se verificou foi catastrófico, uma curvatura negativa para baixas e altas frequências que não poderia jamais ser explicada num modelo contínuo de matéria.

Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947), físico alemão, em 1900, num ato de desespero, usou do seu modelo do átomo radiante que apenas emitiria energia em múltiplos de uma quantidade mínima, o quantum de energia, para dar conta de explicar matematicamente a curva de emissão térmica do corpo negro. A hipótese ou teoria quântica de Planck foi odiada pelo mesmo, porque pressupunha uma mudança paradigmática radical em relação à realidade natural ao supor um mundo aparente-

mente contínuo fundado em átomos com dinâmica discreta, quantizada, o que seria um tremendo absurdo a seu ver.

A teoria quântica de Planck foi aceita quando o gênio alemão Albert Einstein (1879-1955) a utilizou para explicar o efeito fotoelétrico, a estranha emissão de elétrons por parte de metais incididos por luzes de diversas frequências e intensidades; e o do calor específico dos corpos sólidos, especialmente no referente às baixas temperaturas, onde a teoria termodinâmica clássica fracassava sobremaneira.

## 2.1 O átomo quantizado

Sir Joseph John Thomson (1856-1940), físico-químico inglês, em 1897, descobriu o elétron nas experiências com os raios-alfa. Fazendo uso dos mesmos, em 1911, o neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937) estabeleceu o mui conhecido modelo atômico planetário, um núcleo diminuto e denso circundado pelos elétrons. A descoberta de que o átomo seria majoritariamente espaço imaterial sustentado por campos foi surpreendente, ainda mais pelo fato de tal forma ser impossível conforme a física clássica e eletromagnética.

O dinamarquês Niels Henrik David Bohr (1885-1962) foi quem conseguiu dar alguma explicação da estabilidade atômica a partir da quantização dos orbitais conforme a teoria de Planck. O átomo de Bohr combinava mecânica clássica com a teoria quântica, mas pressupunha o Salto Quântico, a transição eletrônica sem deslocamentos, como que num teletransporte! O trabalho de Bohr ajudou a mudar a mentalidade dos físicos, que mais do que tentar responder corretamente a qualquer coisa, aprenderam a fazer as perguntas corretas.

A natureza da matéria começou a ser questionada de fato quando, em 1923, o físico estadunidense Arthur Holly Compton (1892-1962) descobriu que a frequência das ondas eletromagnéticas incidentes não coincidia com a das ondas espalhadas em relação ao elétron. Isso demonstrou que a luz possuiria comportamento ondulatório e corpuscular conforme o tipo de interação em que se encontrasse.

As duas experiências – uma, sobre a interferência da luz espalhada e, a outra, a modificação da frequência da luz espalhada – pareciam contraditórias e sem vislumbre de qualquer possibilidade de compromisso (HEISENBERG, 1981, p. 13).

Teorias ondulatórias e corpusculares são matematicamente inconciliáveis! Até 1924 se tolerava o não entendimento de como a luz poderia transitar entre as duas

naturezas; entretanto, o gênio físico-matemático francês Louis de Broglie (1892-1987) radicalizou e estendeu o dualismo onda-partícula da luz para as partículas elementares da matéria.

No princípio da correspondência, de Broglie demonstrou que uma onda de matéria poderia corresponder a um elétron em movimento, da mesma maneira que uma onda luminosa poderia corresponder a um quantum de luz se propagando. Quando tal hipótese estranha foi confirmada experimentalmente, o paradigma de realidade natural foi mudado para o da dualidade.

## 2.2 O advento da física quântica

Não existia ainda uma forma de se prever aceitavelmente os valores de frequências e amplitudes de emissão eletromagnética para os átomos. Em 1925, Heisenberg, com apenas 23 anos, criou um formalismo matemático virtualmente capaz de fazê-lo: a mecânica das matrizes, ou mecânica quântica.

A princípio, a mecânica quântica nada mais era do que um formalismo matemático que substituiu as equações da mecânica clássica por operações com matrizes capazes de descrever tanto os fenômenos macroscópicos quanto os subatômicos.

Assim, as equações de movimento da mecânica clássica foram substituídas por equações formalmente semelhantes entre matrizes; foi uma experiência realmente estranha ver que muitos dos resultados da mecânica newtoniana, como a conservação da energia e outros, podiam ser igualmente derivados do novo esquema (HEISENBERG, 1981, p. 14).

O austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961) fazendo uso do princípio da correspondência quanto às ondas materiais, estabeleceu um formalismo matemático para as ondas estacionárias que circundariam o núcleo atômico, a mecânica ondulatória, que era matematicamente equivalente à mecânica das matrizes. A união desses dois formalismos constituiu a chamada física quântica.

Questionava-se na época: “em que sentido o novo formalismo descrevia a estrutura atômica?” (HEISENBERG, 1981, p. 15). Em 1924, Niels Bohr, Hendrik Kramers e John Slater, em Copenhague, haviam feito uma frustrada tentativa de interpretação do dualismo onda-partícula introduzindo a hipótese das ondas eletromagnéticas como ondas de probabilidade de absorção ou emissão quântica, e das conservações de energia e momento como sendo de natureza estatística.



Entretanto, o artigo de Bohr, Kramers e Slater revelava uma característica essencial da correta interpretação da teoria quântica. Esse conceito, por eles introduzido, de onda de probabilidade, era algo inteiramente novo na física teórica desenvolvida desde Newton (HEISENBERG, 1981, p. 15).

A onda de probabilidade não era um recurso teórico para superar a ignorância da ciência humana em relação à realidade das coisas, mas correspondia a uma tendência para alguma coisa, algo que poderia mesmo dizer respeito à essência própria da natureza.

Tratava-se, assim, de uma versão quantitativa do velho conceito de potencialidade da filosofia aristotélica, que introduzia algo entre a ideia de evento e o evento real, um tipo estranho de realidade física a mediar entre possibilidades e realidade (HEISENBERG, 1981, p. 15).

### 2.3 A interpretação de Copenhague da física quântica

No outono de 1926, um grupo formado pelos mais renomados físicos da época, especialmente Bohr, Schrödinger, Heisenberg e Einstein, reunidos em Copenhague, Dinamarca, discutiu quase que desesperadamente acerca de que interpretação se deveria dar à teoria quântica então em voga.

Schrödinger pretendia explicar a realidade natural a partir de uma teoria puramente ondulatória, dado o sucesso de se substituir os elétrons por ondas de matéria. Einstein criticou a mecânica ondulatória por ela não dar conta dos fenômenos corpusculares dos elétrons; porém ele não aceitava a interpretação probabilística da física quântica que os demais defendiam.

O *princípio de Indeterminação* e suas *relações de incerteza*, postulado por Heisenberg, também encontrou resistências, embora sua mecânica das matrizes tivesse aceitação plena. O dualismo pressuposto na complementaridade entre as naturezas ondulatória e corpuscular foi radicalmente defendido por Bohr, embora seu modelo atômico tivesse sido falseado por Heisenberg.

Nenhuma solução significativa foi obtida em Copenhague, mas, dos meses de contínua discussão e estudo que se seguiram a esse encontro, surgiu uma solução final, na primavera de 1927, que ficou conhecida como Interpretação de Copenhague da teoria quântica

No outono de 1927, na Conferência Solvay, em Bruxelas, na Bélgica, novamente os mais renomados físicos se reuniram para discutir pormenorizadamente as conclusões

da Conferência de Copenhague, as quais se mostraram teoricamente consistentes e, mais ainda, plenamente concordes aos resultados da rigorosa série de experimentos que se seguiram àquele encontro.

### **3 Discussão filosófica da interpretação de Copenhague da física quântica em relação aos seus conceitos acerca da realidade e da natureza**

O determinismo mecanicista e materialista, tão apregoado na modernidade, foi o maior paradigma quebrado pela teoria quântica, embora o novo paradigma ainda esteja em construção. Pela radical diferença em relação à experiência imediata dos sentidos e da razão, a física quântica adquiriu fama místico-exotérica por se mostrar acessível apenas às pessoas iniciadas, como que a membros de uma seita ou religião.

Na interpretação resultante das discussões que se seguiram à conferência de Copenhague se assumiram duas propostas bastante radicais: o Dualismo complementar das naturezas corpuscular e ondulatória da realidade; e a Indeterminação intrínseca ao conhecimento perfeito da realidade. Para a *Escola de Copenhague* não seria possível superar a incerteza prevista para certo processo de mensura, uma vez que seria impossível medir sem alterar imprevisivelmente o objeto de medida.

A interpretação teórica de uma experiência requer, portanto, três estágios distintos: (1) traduzir a situação experimental inicial em uma função de probabilidade; (2) seguir a evolução temporal dessa função; (3) escolher uma nova medida a ser feita no sistema físico considerado, cujo resultado poderá então ser calculado da função de probabilidade. No primeiro estágio, o princípio de indeterminação tem necessariamente que ser ouvido. No segundo, não pode ser descrito em termos dos conceitos da física clássica; não há descrição alguma do que ocorre no sistema, do instante em que foi feita a observação inicial ao instante em que for efetuada a próxima medida. E é somente no terceiro estágio que mudamos novamente, passando do “possível” ao “real” (HEISENBERG, 1981, p. 20).

Pode-se concluir que a física quântica foi interpretada, a partir da Conferência de Copenhague, como um formalismo matemático aliado a uma postura de investigação que complementa o formalismo e a postura da física clássica, tomando objetivamente aquilo que se ignora acerca da realidade última da natureza, e considerando o elemento subjetivo de que o processo de observação não é meramente passivo diante dos eventos.



Consequentemente, não seria possível realizar um experimento sem alterar o próprio objeto de experimentação, e não se poderia descrever validamente qualquer processo entre duas mensuras, por causa da flutuação entre as naturezas corpuscular e ondulatória, e a ignorância dos mecanismos pelos quais se operam tais passagens e ou saltos.

### *3.1 Realidade e natureza na interpretação de Copenhague*

Uma dificuldade verdadeira, no entendimento dessa interpretação, surge, todavia, quando se faz a famosa pergunta: mas o que ocorre “realmente” em um evento atômico? (HEISENBERG, 1981, p. 22-23).

Bohr e Heisenberg optaram pela consideração complementar entre a Física Clássica e a Física Quântica para a explicação de qualquer fenômeno, pois a visão clássica consideraria o objetivamente cognoscível acerca da realidade, e a visão quântica consideraria o mundo de potencialidades e possibilidades que permeariam a estrutura elementar da existência.

A quântica indicaria as potencialidades e probabilidades de um dado sistema; a averiguação experimental retornaria grandezas clássicas que poderiam ser deduzidas das funções de probabilidade; isso viabilizaria estabelecer novas funções probabilísticas para novas previsões e constatações de caráter clássico.

A impossibilidade de objetivação absoluta indicaria a existência de certo tipo de subjetividade, mas, segundo a Interpretação de Copenhague, isso não indicaria algum psiquismo, como se a mente do cientista interferisse na observação.

Realidade e Materialidade seriam alteradas imprevisivelmente conforme o estado de variação do mundo circundante. A existência de qualquer coisa não seria isolada ou encerrada em si mesma, mas dependeria direta e intrinsecamente das configurações do mundo à sua volta.

A presença dos aparatos e do observador alteraria a realidade conforme seus mecanismos de continuidade ou descontinuidade próprios, mas a descontinuidade mesmo, afirmada como salto quântico, só se verifica no nível psíquico do observador, quando este percebesse as mudanças nos elementos subjetivos das funções de probabilidade, ou seja, nos seus conhecimentos acerca da realidade do evento observado.

Conclui-se, da Interpretação de Copenhague, que não seriam as mesmas as realidades e materialidades que se dariam na natureza inobservada quando comparadas com aquelas em que estão presentes os aparatos de observação e/ou o observador.



O que ocorreria realmente em um dado evento não seria possível descrever de forma puramente objetiva, porque haveria um nível de realidade anterior à diferenciação entre fenômenos corpusculares e ondulatórios que, de alguma maneira, não seria indiferente às mudanças que se dariam no tecido espaço-temporal circundante e que fundamentariam os elementos subjetivos da experiência científica.

Certamente, a teoria quântica não contém características subjetivas genuínas, ela não introduzindo a mente do físico como parte do evento atômico. Mas a teoria quântica começa pela divisão do mundo em “objeto” e o resto do mundo e, também, do fato de que, pelo menos para o “resto do mundo”, utilizamos conceitos clássicos em nossa descrição. Essa divisão é arbitrária e, historicamente, uma consequência direta do método científico; a utilização de conceitos clássicos é, afinal, uma consequência da maneira geral do ser humano pensar. [ . . . ] No que diz respeito a essa situação, Bohr enfatizou ser mais realista afirmar-se que a divisão entre objeto e resto do Mundo não é arbitrária (HEISENBERG, 1981, p. 26-27).

### *3.2 Críticas e objeções à interpretação de Copenhague*

Resumidamente, a interpretação de Copenhague da Física Quântica consiste na aceitação do paradoxal dualismo onda-partícula da luz e das partículas elementares (elétrons e quarks); de uma realidade natural fundamentalmente descontínua e quantizada, subsidiada num tecido espaciotemporal não euclidiano; de um indeterminismo ontológico da possibilidade de conhecimento absoluto dos fenômenos naturais; e de uma complementaridade do formalismo quântico em relação à física clássica e eletromagnética, a fim de contemplar teoricamente todos os escopos da natureza.

Entretanto, ela foi alvo de duras críticas e objeções, categorizáveis em três grupos. Primeiro, os que aceitaram a teoria e a interpretação, expondo alguns problemas, principalmente filosóficos, sem, contudo, fazerem contrapropostas: Einstein, no famoso paradoxo EPR (elaborado por Einstein, Podolsky e Rosen em 1935), baseado na Teoria da Invariância (equivocamente chamada de Teoria da Relatividade pela mídia), questionou vigorosamente a possibilidade de ação à distância mais veloz do que a luz. Schrödinger, no famoso experimento do gato vivo-morto, questionou o dualismo e o indeterminismo da interpretação, já que ele era adepto de teorias ondulatórias de campo unificado e de condições de contorno para explicar a realidade universal de modo determinístico.

Segundo, houve os que, aceitando a teoria e a interpretação, procuraram complementá-la e ou alterá-la em alguns pontos críticos: David Bohm (1917-1992), na

teoria das variáveis ocultas, representava estruturas objetivamente reais que, através de suas interações determinísticas, reproduziriam o comportamento probabilístico verificado no nível quântico. Hugo Everett III (1930-1982), com a teoria dos estados relativos (mediaticamente chamada de teoria dos mundos possíveis), considerava os fenômenos indeterminísticos como colapsos locais de uma grande função do universo que se manteria fundamentalmente determinística frente às variações existenciais.

Terceiro, houve os que aceitaram a parte físico-matemática da teoria, mas procuraram alterar a linguagem e as concepções filosóficas: Karl Raimund Popper (1902-1994), pela teoria das propensões tentou superar uma visão probabilística arbitrária; e pela teoria das dispersões tentou superar a concepção usual de indeterminação. Os filósofos do Círculo de Viena, especialmente Bertrand Russell (1872-1970), contemporâneos ao advento da física quântica e da interpretação de Copenhague, também procuraram realizar uma análise crítica dos desenvolvimentos científicos e, na medida de suas capacidades, também elaborar pontos de vista diferentes para a interpretação da quântica e da realidade até então concebidos.

O exercício de pensamento realizado por esses questionadores teve sua validade, mas foi suplantado historicamente pela segunda revolução da quântica, que se deu com a proliferação de criação das partículas elementares nos grandes aceleradores, e com a descoberta dos quarks e das partículas virtuais de comunicação de força, o que instituiu de vez a tendência de superação de concepções de átomos materiais por teorias de campos, o que representa, de forma extrema, o irrealismo filosófico pressuposto por Heisenberg e Bohr na interpretação de Copenhague.

### *3.3 O mundo quântico anti-real, não local e indeterminístico*

O professor Roberto Leon Ponczek, a partir do pensamento de Baruch Spinoza (PONCZEK, 2012), postulou três conceitos fundamentais para a geometria de um mundo material real, local e determinístico: Realismo filosófico (objetos independem da forma de observação), Localidade (interações tem como limite a velocidade da luz), e Determinabilidade (possibilidade de medidas precisas e não perturbadoras do objeto de mensura).

A partir disso, postulou que a Interpretação de Copenhague da Física Quântica seria Anti-realista (objetos dependem da forma de observação), e Não Local (pois as flutuações quânticas comunicam-se mais velozmente do que a luz). O anti-realismo implicaria tanto em não localidade quanto em incompletude, em consequência dos

experimentos de Alain Aspect acerca da comunicação quântica mais veloz do que a luz, e do princípio de indeterminação, que implicaria na inacessibilidade à verdade última da natureza por essa se dever a uma substância de natureza diferente da própria da materialidade.

Segundo Niels Bohr, o paradoxo EPR – consequentemente a experiência de Aspect – só pode ser convenientemente explicado através de um indeterminismo na TQ que implica em uma irreduzível incompletude da natureza e anti-realismo filosófico (PONCZEK, 2009, p. 263).

### *3.4 Metafísica quântica*

A Interpretação de Copenhague da física quântica aventou a necessidade de se discutir a metafísica para além das questões epistemológicas, o que era e ainda é o paradigma científico e filosófico em voga. De modo simples, as mudanças paradigmáticas mais importantes propostas pela mesma são:

Indeterminação (impossibilidade ontológica de um conhecimento absoluto); Complementaridade (tudo o que há emerge na flutuação de uma dualidade complementar em si e suplementar em relação à unidade do todo circundante); Dualidade (a atualização das potências do mundo, ou seja, dos campos e das partículas elementares, não apresentam natureza única, mas dual, isto é, corpuscular e ondulatória, dependente do sistema em que se encontram).

Antirrealismo (a manifestação da realidade direta do mundo material emerge de um substrato que, dotado de realidade absoluta indireta, confere manifestação em si mas não se manifesta de si); Não Localidade (há informações trocadas entre os entes do mundo material que não são comunicadas localmente, nem pelos campos, nem pela luz, nem pelas partículas virtuais, mas por algo outro, a modo de uma ação à distância); Instantaneidade (a comunicação de flutuações quânticas de um sistema vinculado, ainda que fisicamente separado, excede a velocidade da luz e pode mesmo ser instantânea).

Não Continuidade (nada há que seja infinitamente divisível no aspecto físico; há um limite nesse processo, que é o quantum da emersão da realidade da natureza de seu substrato potencial); Quantização (existem quantidades mínimas das quais todas as coisas se manifestam como múltiplos inteiros; isto é, o mundo não se dá de modo infinitamente arbitrário, mas é constituído de fundamentos espaciotemporais que são dados por certas quantidades que, em suas interações, recolocam o todo que as



colocou), Não Independência (as coisas não possuem realidade absolutamente própria e separável das demais coisas, mas são colocadas tanto por suas inerências quanto pelos sistemas a elas vinculados).

A concepção de mundo comumente aceita, oriunda dos pensamentos apontados na primeira parte, é a de que o mesmo fora criado de forma a evoluir por si quase que ou independentemente do seu criador; ou a de que o mundo mesmo seria eterno e incriado, dando-se por virtude de si. Acredita-se que ele seria constituído de uma matéria real que repousaria num espaço e que teria dinâmica num tempo, ambos enquanto contínuos e absolutos.

A metafísica quântica fundamentou-se numa superação da concepção de realidade absoluta da materialidade, mas não como implicação de outra realidade separada, mas sim subjacente e que apenas se fundamentaria na complementaridade com relação ao mundo material, o que se daria não mais de forma contingente, mas necessária em forma e contingente em conteúdo.

Esse substrato parece ser teoricamente atingível através de uma teoria de campo unificado, que nada diria de sua natureza intrínseca, mas apontaria para o modo como ele colocaria campos variados e partículas elementares capazes de transformarem e serem transformadas em suas essências.

## Considerações finais

No trabalho original, a modo de homenagem aos pensadores originários e aos arautos da modernidade, imitando-lhes a técnica, fizeram-se considerações aforísticas acerca de toda a discussão, com especial acento na questão da realidade natural da luz, da matéria, do espaço e do tempo.

De modo geral, duas conclusões principais se obteve; 1) Há uma significativa defasagem entre as discussões filosóficas atuais e as mudanças paradigmáticas pressupostas pela interpretação de Copenhague da Física Quântica; 2) Ficou comprovado o esforço hercúleo que representa a tomada de consciência e o trabalho filosófico sério sobre esse tema tão complexo.

## Referências

ABBAGNANO, Nicola. **Dicionário de filosofia / Nicola Abbagnano**. 4ª Tradução: Ivone Castilho Benedetti. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

ARISTÓTELES. **Livro XII**. In: *Metafísica de Aristóteles*, por Valentín García YEBRA. Vol. II. Madrid: Editorial Gredos, S. A., 1970.

BULFINCH, Thomas. **Mitologia geral: A idade da fábula**. Tradução: Raul L. R. Moreira e Magda Veloso. Belo Horizonte: Editora Itatiaia Ltda., 1962.

CUNHA, Antônio Geraldo da. **Dicionário etimológico Nova Fronteira da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1982.

GRIMAL, Pierre. **A mitologia grega**. 2ª. Tradução: Yolanda Leite. São Paulo: Difusão Europeia do Livro, 1958.

HEGEL, Georg Wilhelm Friedrich. **Lecciones sobre la historia de la filosofía**. Editado por Elsa Cecilia Frost. Traducido por Wenceslao Roces. Vol. I. México 12, DF: Fondo de Cultura Económica, 1955.

HEISENBERG, Werner. **Física e filosofia**. Tradução: Jorge Leal Ferreira. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1981.

KUHN, Thomas Samuel. **A estrutura das revoluções científicas**. Tradução: Beatriz Viana Boeira e Nelson Boeira. 2ª Ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 2003.

PONCZEK, Roberto Leon. **Deus ou seja a natureza: Spinoza e os novos paradigmas da física**. Salvador: EDUFBA, 2009.

