



COGNITIO

Revista de Filosofia
Centro de Estudos de Pragmatismo

São Paulo, v. 25, n. 1, p. 1-11, jan.-dez. 2024
e-ISSN: 2316-5278

 <https://doi.org/10.23925/2316-5278.2024v25i1:e65862>

Considerações preludivais sobre o advento da física contemporânea

Prelude considerations on the advent of contemporary physics

**Pedro Menezes Alves
Laureano***

pedrolaureano.1712@gmail.com

Resumo: O presente ensaio resulta de uma indagação introdutória e parcimoniosa acerca da transformação da mundividência científica e epistemológica no século XX. Em primeira instância, são analisados os conceitos fundacionais da Relatividade Restrita e da Relatividade Geral, visando elencar as principais dissonâncias entre a proposta científica de Albert Einstein e a cosmovisão estabelecida pela física clássica. De seguida, é invocada a célebre experiência de Edwin Hubble, responsável pela origem da Teoria do Big-Bang. Como não poderia deixar de ser, esta é também alvo de uma examinação cuidadosa. Por fim, a reflexão estende-se ao domínio indeterminista da mecânica quântica, com o propósito de perscrutar os seus princípios fundamentais. Por forma a assegurar o cumprimento deste desígnio, o trabalho não se furta à exigência de aflorar certos traços elementares das doutrinas de Niels Bohr e Werner Heisenberg. Em suma, o breve estudo que aqui se apresenta procura, sobretudo, trazer à coação os elementos teóricos que ancoram o entendimento da física e da cosmologia nos nossos dias, problematizando, quando necessário, algumas das suas inferências.

Palavras-chave: Ciência. Cosmologia. Epistemologia. Física. Mecânica quântica. Relatividade.

Recebido em: 11/03/2024.

Aprovado em: 18/05/2024.

Publicado em: 04/06/2024.

Abstract: *This essay results from an introductory and parsimonious inquiry into the transformation of scientific and epistemological worldview in the 20th century. First, the foundational concepts of Special Relativity and General Relativity are analyzed, aiming to list the main dissonances between Albert Einstein's scientific proposal and the worldview established by classical physics. Then, the famous experience of Edwin Hubble, responsible for the origin of the Big-Bang Theory, is invoked. As expected, this is also the subject of a careful examination. Finally, the reflection extends to the indeterministic domain of quantum mechanics, with the purpose of examining its fundamental principles. In order to ensure the fulfillment of this aim, the work does not shy away from the requirement to highlight certain elementary features of the doctrines of Niels Bohr and Werner Heisenberg. In short, the brief study presented here seeks, above all, to bring into effect the theoretical elements that anchor the understanding of physics and cosmology in our days, problematizing, when necessary, some of their inferences.*

Keywords: *Cosmology. Epistemology. Physics. Quantum mechanics. Relativity. Science.*

1 O nascimento da relatividade e suas consequências

Em 1905, Albert Einstein publica a *Teoria da Relatividade Restrita*, texto que provoca uma inflexão profunda no pensamento científico e epistemológico. Este artigo confronta um dos pressupostos basilares da mecânica clássica; ao contrário da física newtoniana, em que o espaço e



Artigo está licenciado sob forma de uma licença
Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.

* Universidade de Coimbra.

o tempo são interpretados como conceitos absolutos, a Relatividade Restrita, ao postular o princípio da relatividade e o princípio da constância da velocidade da luz, abre caminho para uma nova teoria física.¹ Dez anos volvidos, em 1915, Einstein publica um novo artigo intitulado *Considerações Cosmológicas sobre a Teoria da Relatividade Geral*, que para além de robustecer a Relatividade Restrita acaba por expandir o horizonte de sentido desta. A Relatividade Geral vem, de certo modo, complementar a relatividade restrita acrescentando-lhe o efeito da gravidade no tecido espaço-temporal. Na leitura de Stephen Hawking:

O conceito de gravidade na relatividade geral nada tem de semelhante ao conceito de Newton. Baseia-se na proposta revolucionária de que o espaço-tempo não é plano, como tinha sido presumido anteriormente, mas sim curvo e distorcido pela massa e energia que contém. (Hawking; Mlodinow, 2011, p. 106).

Saliente-se, que Albert Einstein foi o primeiro a preconizar a indivisibilidade das categorias de espaço e tempo; até então, durante toda a história da ciência, os dois conceitos foram tratados separadamente. O relacionamento intrínseco entre o espaço e o tempo, exposto pelo físico alemão, é o sustentáculo da ideia de que o cosmos é quadridimensional, na medida em que às três dimensões espaciais é acrescentada uma quarta dimensão – o tempo.² Se é certo que Newton³ estabeleceu a Lei da Gravitação Universal, não será errado equacionar a Relatividade Geral, outrossim, como uma Teoria da Gravitação capaz de fundamentar, em termos físicos, aquilo que Newton intuiu como uma necessidade lógica, mas cuja natureza não conseguiu explicitar. No que concerne à física newtoniana, Popper chama a atenção para o modo como esta aparenta consolidar-se em confluência com a noção cartesiana de “substância”:

[...] Newton não considerou a gravidade uma propriedade essencial da matéria (ainda que considerasse essencial a *inércia* e, tal como Descartes, a *extensão*). Newton parece ter retomado a ideia cartesiana de que a essência de uma coisa tem de ser uma propriedade verdadeira ou absoluta dessa coisa (i. e., uma propriedade que não depende da existência de outras coisas), como a extensão ou a capacidade de resistir a uma mudança no seu estado de movimento, e não uma propriedade relacional, i. e., uma propriedade que, à semelhança da gravidade, determina as relações (interações no espaço) entre um corpo e outros corpos. (Popper, 2003, p. 151).

Por seu turno, na Relatividade Geral a geometria espaço-temporal interrelaciona-se com a matéria. Um dos seus pilares é o Princípio da Equivalência, que advoga que as leis da física apresentam sempre a mesma natureza, independentemente dos referenciais inerciais. De acordo com a Relatividade Geral a concentração de matéria de um corpo, ou seja, a sua massa, provoca uma distorção no tecido espacial causando a ilusão de que existe uma atração (Kaku, 2021, p. 49). Ao analisarmos, por exemplo, as orbitas planetárias em torno do Sol, concluímos que tal cinemática resulta do facto de o Sol ser o objeto mais massivo do Sistema Solar. O Sol cria uma curvatura no espaço, sendo essa distorção que força os

1 A propósito da relevância inestimável da Relatividade Restrita, profere Carl Sagan: “Para podermos compreender o mundo [...] há certas regras, certos mandamentos da natureza, a que é preciso obedecer. Einstein codificou essas regras na teoria especial da relatividade. A luz (refletida ou emitida) de um objeto desloca-se à mesma velocidade, quer o objeto se desloque, quer esteja parado” (Sagan, 2012, p. 269).

2 No sistema de Einstein, as condições da sensibilidade *a priori* kantianas – o espaço e o tempo –, são repensadas; estes conceitos passam a ser concebidos como uma única estrutura, negando-se assim o seu carácter apriorístico. Tais categorias representam, afinal, edificações sustentadas pela experiência. Vislumbra-se, assim, no pensamento de Einstein, uma clara oposição à interpretação kantiana, defendendo o físico alemão que a cognição humana não atua segundo categorias ou conceitos pré-estabelecidos, porquanto tal redundaria no atingimento de uma estagnação inultrapassável. Ao propor que a atuação do tempo sobre um corpo depende da velocidade a que este se desloca, Einstein confronta a fundamentação teórica da mecânica clássica, alavancando o nascimento de um novo paradigma científico.

3 Einstein nunca se eximiu de prestar reverência ao génio inglês. O respeito e a admiração que por ele nutria constata-se, e.g., no seguinte excerto: “A figura de Newton tem, no entanto, uma importância ainda maior do que aquela que a sua genialidade lhe garante, pelo facto de o destino o ter colocado num ponto de viragem na história do intelecto humano. Para ver isto vividamente, temos de nos lembrar que antes de Newton não existia nenhum sistema auto-suficiente de causalidade física que fosse capaz de representar qualquer uma das características mais profundas do mundo empírico” (Einstein, 1935, p. 147).

planetas a realizarem os seus movimentos translacionais. Assim se compreende que a massa dos corpos, i. e., a conglomeração de energia e matéria, altera a geometria espacial.

Como Einstein previu, até mesmo a luz está sujeita à ação gravitacional, pelo que, dentro do campo gravitacional do Sol, a luz realiza movimentos curvilíneos. A luz acompanha a curvatura do espaço percorrendo sempre a menor distância entre dois pontos (geodésica). Por forma a compreender o redirecionamento da mundividência científica a partir das asserções de Einstein, leia-se o seguinte fragmento, em que Michio Kaku, através de uma imagética elementar, evidencia a incompatibilidade entre a Relatividade Geral e a física clássica:

Era óbvio para qualquer físico que a teoria da gravidade de Newton e a teoria de Einstein não eram compatíveis. Se o Sol desaparecesse subitamente sem deixar rasto, Einstein afirmava que a Terra demoraria oito minutos a dar pela sua ausência. A famosa equação da gravidade de Newton não menciona a velocidade da luz. Assim, a gravidade viaja instantaneamente, o que viola a relatividade, pelo que a Terra devia sentir de imediato os efeitos do desaparecimento do Sol. (Kaku, 2021, p. 45-46).

Em síntese, a Relatividade Geral corporifica uma das mais sublimes e inquietantes teorias científicas, apresentando uma intelecção cosmológica que alteraria o rumo e as pretensões da ciência. A partir de uma investigação historiográfica adequada, somos confrontados com o caráter metamórfico do conhecimento científico, que, negando o sentido da *episteme* platónica, denota um sentido evolutivo permanente que lança, em última análise, a interrogação sobre a exequibilidade do alcance da verdade. Como Platão intuiu, o termo “ciência”, na sua aceção mais nobre, isto é, enquanto conhecimento exato e imutável, pressupõe que o seu *objeto* de estudo seja também ele inalterável. Porém, a realidade sensível que experienciamos mostra-nos que tudo o que existe no cosmos está sujeito ao devir, razão pela qual na doutrina platónica a ontologia radica num plano suprassensível.⁴ Face à compreensão contemporânea de que a ciência não é cumulativa, parece ser sensato preservarmos – tal como Popper sugere – um certo ceticismo a seu respeito:

Todos os grandes homens da ciência foram céticos, cautelosos perante a ciência. [...] Newton, que foi um dos homens mais extraordinários e provavelmente o maior de todos os homens da ciência falava de si mesmo como de um rapazinho que recolhe à beira-mar seixos e conchas e quase não vê estender-se à sua frente um domínio desconhecido, o mar. [...] O que gostaria de assinalar é que a ciência é obra do homem. E enquanto obra do homem, a ciência é falível. (Popper; Lorenz, s.d., p. 45-46).

2 A descoberta de Hubble e a nova intelecção da dinâmica cosmológica

Na década de 1920, Edwin Hubble, no decurso dos estudos que desenvolveu no âmbito da astronomia observacional, deparou-se com um fenómeno intrigante que parecia confrontar os fundamentos de qualquer teoria cosmológica aduzida até então. Antagonizando-se da ideia comum de uma estrutura universal fixa – conceção ancestral e amplamente corroborada pela ciência até ao primeiro quartel do século XX –, Hubble, através da realização de uma experiência, viria propor que o universo se encontra em expansão. Hawking adverte, com pertinência, que “[...] Hubble não observou diretamente

⁴ Sobre a incompatibilidade da ciência com a manifestação fenoménica da realidade sensível, leia-se, a título de exemplo, a seguinte passagem do *Teeteto*: “Será possível atingir a verdade enquanto se não descobre o ser? [...] E não se atingindo a verdade poderá haver ciência? [...] Não é, portanto, nas impressões que reside a ciência, mas no raciocínio sobre as impressões, porque é por esta via, segundo parece, que se pode atingir a essência e a verdade, e não por qualquer outra via” (Platão, *Teeteto*, 186c-186d).

o universo a expandir-se; observou apenas a luz emitida pelas galáxias” (Hawking; Mlodinow, 2011, p. 57). Tentemos, pois, resumir a sua experiência com a devida concisão: como sabemos, quando a luz atravessa um prisma torna-se possível decompô-la nos seus diversos espectros, por culpa de um fenómeno físico que se designa por refração. Ora, cada espectro detém uma tonalidade diferenciada, segundo a qual se torna possível distingui-lo.

Se, e. g., analisarmos a totalidade dos espectros de luz emitidos por uma estrela, comparando-os com os resultados da experiência laboratorial, podemos conhecer parte dos elementos químicos que compõem essa estrela. Hubble, examinando a polimorfia da luz proveniente de galáxias distantes, concluiu que existia sempre um desvio espectral direcionado para a cor vermelha. Este fenómeno é designado por “Efeito Doppler” e sucede quando a fonte emissora de luz se encontra em movimento de abjunção em relação ao observador. Perante esta evidência, a conclusão a retirar foi a de que as galáxias mais distantes estariam a afastar-se da Via Láctea. Por sua vez, observando galáxias mais próximas, Hubble verificou a existência de um desvio espectral para a cor azul, o que sugeria, inversamente, que estas se aproximavam da nossa galáxia. A partir destes resultados surge a chamada “Lei de Hubble”, que determina que a velocidade de afastamento entre duas galáxias é proporcional à sua distância.

A Teoria do Big-Bang emerge, justamente, da constatação de que o universo se encontra em expansão, dado que o seu semblante expansional nos remete para a necessidade lógica de um momento principiator da própria expansão: “Na verdade, se extrapolarmos para o passado distante, toda a matéria e energia do universo teriam estado concentradas numa região (...) de densidade e temperatura inimagináveis” (Hawking; Mlodinow, 2011, p. 131). A respeito da Lei de Hubble, importa notar que quanto maior é a distância intergaláctica, mais elevada é a velocidade de expansão espacial. De acordo com a “Constante de Hubble” o universo terá entre 11,5 e 16,3 mil milhões de anos, razão pela qual a ciência estabelece a idade do cosmos em 13,8 mil milhões de anos – o valor intermédio da constante. Antes de encetarmos, em linhas gerais, a explicação daquela que é a tese cosmológica mais aceite pela comunidade científica nos dias de hoje, detenhamo-nos por momentos numa analogia criada pelo físico Carlo Rovelli, que, de forma humilde, nos dá conta da indelével evolutividade da ciência:

Quando falamos do Big-Bang ou da estrutura do espaço, o que estamos a fazer não é a continuação das histórias livres e fantásticas que os homens narraram entre si à volta da fogueira nas noites de centenas de milénios. É a continuação de outra coisa: do olhar desses mesmos homens, às primeiras luzes da madrugada, procurando entre a poeira da savana o rasto de um antílope – perscrutar os pormenores da realidade para deduzir aquilo que não vemos diretamente, mas cujo rasto podemos seguir. Cientes de que podemos sempre enganar-nos, e logo prontos a cada instante a mudar de ideias caso apareça um novo rasto. [...] É isto a ciência. (Rovelli, 2019, p. 64).

A Teoria do Big-Bang predica que o universo, no início da sua vida, seria um lugar indescritivelmente quente e denso que foi arrefecendo e perdendo densidade à medida que se foi expandindo. Nesta conjectura, após o primeiro segundo de vida do universo a temperatura rondaria os 10 mil milhões de graus, resumindo-se a existência, do ponto de vista físico, a um imenso conjunto de partículas elementares como protões, neutrões, eletrões, gluões, neutrinos, fotões etc. Devido à inflação e ao arrefecimento progressivo do cosmos, neutrões e protões ter-se-ão unido originando o núcleo dos elementos primitivos como o deutério, o lítio e o hélio. A este processo de conjugação elementar ocorrido nos primeiros minutos de vida do universo, do qual resulta o surgimento dos primeiros núcleos atómicos, atribui-se o nome de “nucleossíntese primordial”. Note-se, que embora a nucleossíntese tenha ocorrido numa fase embrionária da vida do universo, as primeiras estruturas atómicas ter-se-ão formado após mais de 300.000 anos, quando o resfriamento do cosmos concedeu aos eletrões a possibilidade de se aglutinarem em torno dos protões e neutrões.

A expansão é, de facto, um dos pontos axiais da Teoria do Big-Bang, pelo que importa aclarar este conceito. Quando falamos em expansão, em termos cosmológicos, referimo-nos a uma expansão do tecido espacial, sendo uma expansão que não atua diretamente sobre a matéria existente. Por exemplo, não obstante as variações evidentes das distâncias intergalácticas, a expansão não altera a localização coordenativa das galáxias. Isto demonstra-nos que o Big-Bang não é uma dinâmica expansional no espaço, mas sim uma inflação do próprio espaço. Por outras palavras, “Em vez de ser o espaço a *prolongar-se*, é a distância entre quaisquer dois pontos *dentro* do universo que está a aumentar” (Hawking; Mlodinow, 2011, p. 131).

Um dos principais objetivos da cosmologia contemporânea passa, pois, por estudar a natureza do tecido espacial, o que implica compreender a sua tendência inflacionária e evolutiva. Todavia, a Teoria do Big-Bang encerra inúmeros problemas epistemológicos que devem ser alvo de apreciação. Segundo Ilya Prigogine, Nobel da química em 1977: “Não devemos esquecer-nos: a ciência só pode descrever fenómenos repetíveis. Se se deu um fenómeno único, uma singularidade como o Big-Bang, eis que nos encontramos perante um elemento que introduz aspetos quase transcendentais, que escapam à ciência” (Prigogine, 2020, p. 57).

Se, tal como o pensamento científico vigente advoga, a singularidade (protogénese ótica) comportava toda a energia e espaço-tempo, ou seja, a totalidade da existência tanto em ato como em potência, de que forma pode, então, ser equacionado o momento incoativo da expansão? A existência ter-se-á expandido para além de si mesma? Em termos lógicos esta conjectura não se afigura possível, porquanto implicaria que a existência tivesse extrapolado a sua própria dimensão ontológica. Em todo o caso, a ideia de expansão da singularidade não é dissociável da noção de metamorfose da mesma, na justa medida em que o inicial movimento ampliatório aniquila, necessariamente, o ato protogénico que constitui ontologicamente a singularidade. Com efeito, este primeiro ato cinético parece evocar a necessidade de “existência” de uma “estrutura preludial”, capaz de sustentar o movimento expansional da vida germinal do universo. Projetando a falibilidade da Teoria do Big-Bang, proclama Popper:

Esta teoria não só não é a conclusão final do saber, como também conduz a dificuldades excessivas e muito grandes. Encarar esta teoria como algo que não ultrapassaremos afigura-se-me perfeitamente errado. Não quer dizer que eu tenha razão para presumir que a teoria esteja errada. Não é esse o caso. Mas seria preciso comparar uma enorme série de teorias, para nos decidirmos por esta. (Popper, 1987, p. 48).

A cosmologia contemporânea assenta, ainda, no chamado *Princípio Cosmológico*, i. e., na ideia de que a estrutura do universo é homogénea e isotrópica. A noção de uniformidade cosmológica está presente nos estudos cosmológicos de Einstein, representando, aliás, um papel essencial na formulação da Relatividade Geral. O Princípio Cosmológico só é válido, naturalmente, avaliando o universo a partir de uma visão macroestrutural, pois que em escalas menores a multiformidade do cosmos é evidente. A sua validade firma-se, então, sob a conjectura de que o universo é idêntico em qualquer direção, possuindo a mesma aparência a partir de qualquer ponto de observação (Hawking; Mlodinow, 2011, p. 133). Nesse sentido, é uma conceptualização que pressupõe a assunção do postulado da universalidade do tempo; havendo um nexos de temporalidade unívoco em todos os pontos do espaço, todas as estruturas existentes estão sujeitas às mesmas leis físicas no sentido em que há uma distribuição homogénea de energia e matéria no universo.

Devemos notar, no entanto, que o Princípio Cosmológico se detém apenas na homogeneidade e isotropia da “substância cósmica”, transcurando o processo de conglomeração de energia e de matéria responsável pelo surgimento das estrelas, dos planetas e dos restantes corpos celestes. Contudo, para explicar a uniformidade do cosmos, aparenta ser necessária a existência de uma conformidade entre a densidade de energia e matéria do “fluido cósmico” e a densidade das estruturas (planetas, estrelas, sistemas, galáxias e aglomerados de galáxias) que o compõem.

Na ótica de Hermann Weyl, o universo, quando observado em larga escala, apresenta uma cinemática idêntica à mecânica de partículas num fluido. Justamente desta noção surge o Postulado de Weyl, que afirma que as partículas da substância cósmica desenham no tecido espaço-temporal um conjunto de linhas (geodésicas) cuja intersecção ocorre apenas num ponto do passado e/ou num ponto do futuro. O cosmos é interpretado como um fluido, tornando-se mais simples projetar um modelo de entendimento com elevada acuidade. Ainda assim, Weyl não deixa de assinalar a complexidade do conhecimento humano, defendendo a necessidade de uma interpenetração entre as ciências individuais e a investigação filosófica:

Para além do conhecimento obtido através das ciências individuais, a tarefa de compreender permanece. Apesar do facto de as visões da filosofia oscilarem de um sistema para outro, não podemos dispensá-la a menos que pretendamos converter o conhecimento num caos desprovido de sentido. (Weyl, 2013, p. 14).

Se considerarmos que o universo possui, de facto, uma natureza homogênea e isotrópica, somos forçados a aceitar a ideia de que o movimento expansional do cosmos é evidente para qualquer observador, independentemente da sua posição espacial. A constância da radiação cósmica que detetamos, oriunda de todas as direções (Sagan, 2012, p. 320), robustece a tese de que o universo é, do ponto de vista macroestrutural, isotrópico. Aceitando a premissa de que não ocupamos uma posição privilegiada no cosmos, somos levados a concluir a sua isotropia; esta característica não pode dissociar-se da noção de homogeneidade espacial. Tal inferência coloca-nos na esteira das equações de campo de Einstein e, subsequentemente, no caminho da métrica de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker (FLRW) – a solução exata dessas mesmas equações, que procura, em simultâneo, atender às problemáticas resultantes da Teoria do Big-Bang. Não aprofundaremos, todavia, esta temática no presente artigo pelo facto de a mesma carecer de uma sustentação matemática que transcende o nosso escopo investigativo.

3 A morte do determinismo, a glória da arbitrariedade

Na esteira da revolução científica dos séculos XVI e XVII, o pensamento científico e epistemológico estabelece a exigência da comprovação experimental das proposições, implementando assim uma cosmovisão reducionista. Veja-se, e. g., o pendor experimentalista da lucubração filosófica de Newton, espelhado com proeminência na sua *Magnum opus – Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*. Na física newtoniana, os princípios ou leis surgem sempre a partir dos resultados da experiência realizada. Gnosiologicamente, o método empírico-experimental de Newton aponta para uma redução da natureza à estética, na medida em que todo o conhecimento é obtido através da observação dos fenómenos:

Na filosofia experimental as proposições particulares são inferidas a partir dos fenómenos, e posteriormente generalizadas por indução. Foi assim que a impenetrabilidade, a mobilidade, a força impulsiva dos corpos e as leis do movimento e da gravitação foram descobertas. (Newton, 1846, p. 507).

Asseverando que o cosmos é regido por leis físicas universais, e que estas são demonstráveis matematicamente, a ciência newtoniana instaura aquilo que hoje se denomina por “determinismo científico”. Deste modo, o determinismo deve ser concebido como um dos conceitos centrais da física clássica; este sustenta que a ocorrência de um fenómeno é o resultado lógico de um encadeamento de diversos acontecimentos, sem os quais o fenómeno não poderia existir. Em traços gerais:

Determinismo significa a conceção do Universo em que todos os fenómenos ou acontecimentos estão de tal modo ligados [...] que uma inteligência, capaz de

conhecer todas as circunstâncias da evolução do Universo num momento dado, poderia prever qualquer acontecimento futuro [...]. (Pires, 1991, cols. 1362-1364).

Por outras palavras, se o estado de um sistema for conhecido na sua plenitude num determinado momento, afigura-se possível, através da utilização de modelos matemáticos, calcular o estado em que esse sistema se encontrará num determinado momento futuro. A conceção determinista implica, em primeira instância, a consideração do conceito de causalidade e, em segundo lugar, a creditação da previsibilidade.

O determinismo é, com efeito, uma das características fulcrais da mecânica clássica, tendo monopolizado o conhecimento científico até à publicação da Relatividade Geral de Einstein. Tal como referimos, a Relatividade Geral preconiza que o espaço e o tempo não são referenciais absolutos, confrontando assim dois pressupostos axiais da física clássica. De igual modo, o desconcertante “comportamento” das partículas subatómicas, percecionado inicialmente por Max Planck, veio adensar o desmoronamento progressivo do determinismo. Como adverte Carl Sagan:

[...] quando chegamos à relatividade ou à mecânica quântica descobrimos domínios que são completamente estranhos à nossa experiência quotidiana, e de repente as leis da natureza acabam por se revelar espantosamente diferentes. [...] A ideia de que existe um limite de velocidade cósmico, a velocidade da luz, para além do qual nenhum objeto material consegue viajar, parece-nos igualmente contra-intuitiva, embora possa ser demonstrada, como Einstein o fez, a partir de uma análise extraordinariamente simples e básica daquilo que entendemos como espaço, tempo, simultaneidade. (Sagan, 2007, p. 54).

Até ao final do século XIX imperava a teoria eletromagnética da luz, que, considerando a natureza ondulatória desta, pretendia explicar determinados fenómenos óticos como a refração, a difração, a reflexão, etc. No início do século XX, a inferência de Planck sobre a experiência da radiação dos corpos negros franqueou as portas para um mundo desconhecido, uma realidade onde aparentemente não figuravam as mesmas leis responsáveis pela regência do mundo macroscópico. O físico alemão ter-se-á apercebido, nesse momento, que a sua investigação tocara os fundamentos da nossa descrição da natureza, e que um dia esses mesmos fundamentos seriam trasladados para uma posição de estabilidade ainda desconhecida (Heisenberg, 2000, p. 4).

De acordo com os resultados dos seus estudos os eletrões apresentam uma natureza dual, isto é, comportam-se simultaneamente como partículas e ondas. Atendendo às leis da física esta dualidade encerra um grave problema, pois que as características inerentes aos dois conceitos não são compagináveis. Se, por um lado, a densidade e a indivisibilidade são atributos inextricáveis da noção de partícula (corpúsculo), inversamente, a extensão e a divisibilidade são qualidades inexoráveis da conceptualização de onda.⁵ Visto que o pensamento científico não pode furtar-se ao dever de preservar o princípio de não-contradição, os físicos procuraram separar os fenómenos compreendendo a matéria como corpuscular (descontínua) e a radiação como ondulatória (contínua), porém, os resultados de vários experimentos demonstraram que tanto a radiação como a matéria possuem uma natureza dualística. A constatação deste facto conduziu, portanto, à conclusão de que qualquer tentativa de descrever eventos quânticos nos termos tradicionais da física redundava em contradições (Heisenberg, 2000, p.7). Nesse

5 No tocante a esta problemática, atentemos às palavras de Niels Bohr: “[...] o problema da natureza da luz esteve sujeito a uma discussão renovada nos últimos anos, em virtude da descoberta [...] de um aspeto essencial de atomicidade que é incompreensível do ponto de vista da teoria eletromagnética. De facto, qualquer transferência de energia pela luz pode remontar a processos individuais, em cada um dos quais é trocado um chamado *quantum* de luz, cuja energia é igual ao produto da frequência das oscilações eletromagnéticas pelo *quantum* universal de ação, ou constante de Planck. O evidente contraste entre essa atomicidade do efeito da luz e a transferência contínua de energia na teoria eletromagnética propõe-nos um dilema anteriormente desconhecido na física” (Bohr, 1995, p. 7). Convirá notar que as citações desta obra apresentam, quando necessário, transliterações vocabulares e reestruturas sintáticas elementares por forma a privilegiar a harmonização linguística do texto.

sentido, a aparente incongruência entre os fenômenos da realidade subatômica e o mundo experienciado pelo homem, constitui um desafio epistemológico de grande envergadura.

Por esta razão, a ciência contemporânea viu-se forçada a encarar o binômio onda-partícula como uma manifestação multiforme de uma realidade única. O Princípio de Complementaridade de Bohr, elaborado em 1927, parte justamente da necessidade de justificar a existência de tal dualidade. O físico dinamarquês assevera que os dois fenômenos são complementares, ou seja, que a constituição corpuscular e ondulatória de certas partículas são manifestações integrativas da mesma realidade.⁶ Popper, por sua vez, defende que este juízo é paralogístico porquanto apresenta uma propensão metafísica que conflita com o semblante empírico das investigações da física:

Faço objeção, isto sim, contra a quase inconsciente disseminação da interpretação metafísica, frequentemente combinada com proclamações contrárias à Metafísica. [...] Parece-me existir uma conexão óbvia entre o “princípio de complementaridade” de Bohr e essa concepção metafísica de uma realidade inacessível ao conhecimento – concepção que sugere “renúncia” [...] às nossas aspirações de conhecimento e a limitação dos nossos estudos, no campo da Física, às aparências e suas inter-relações. (Popper, 2013, p. 413-414).⁷

No mesmo ano, a formulação do Princípio da Incerteza de Werner Heisenberg veio fortalecer ainda mais a ideia de que, no mundo endoatômico,⁸ a dinâmica quântica radica num paradigma indeterminista. De modo conciso, o Princípio da Incerteza predica a impossibilidade de determinar objetivamente, em concomitância, a posição e a velocidade de um elétron⁹. Desta forma, quanto mais precisão se verificar na medição da variável “posição”, menos precisão existirá na medição da variável “velocidade”, e vice-versa. Acompanhando a premissa de Bohr, Heisenberg proclama que a ocorrência deste fenômeno se deve ao facto de a análise empírica do mundo quântico depender da incidência de radiação (difusão de energia entre partículas ou ondas), motivo pelo qual a partícula, ao ser observada, sofre necessariamente uma modificação. Conclui-se, portanto, que existe sempre um certo grau de incerteza na medição das variáveis porque a própria observação influi no comportamento das partículas, alterando as suas características.

O *status* específico de um elétron, e. g., configura somente o resultado da condição necessária para a sua observação, pelo que, não sendo observado – ou seja, perante a ausência de uma afetação externa – o seu estado seria distinto daquele que a observação determina. Note-se, que o Princípio da Incerteza não sugere a volatilidade ou a entropia (*lato sensu*) da realidade subatômica, mas sim a insuficiência da nossa capacidade observacional e analítica em relação a essa mesma realidade. Em termos quânticos, aquilo que é observado, sendo o produto de uma adulteração, não corresponde em absoluto à sua natureza, mas apenas à estrutura óptica que é penetrada pela radiação. Tal como sublinhámos anteriormente, as alterações quânticas que instauram a imprevisibilidade no seio de um sistema endoatômico não são

6 Na leitura de Bohr, a pluriformidade manifestativa dos fenômenos quânticos relaciona-se com a interferência dos dispositivos de medição na própria natureza das partículas: “De facto, a individualidade dos efeitos quânticos típicos encontra expressão apropriada no facto de que qualquer tentativa de subdividir os fenômenos exige uma mudança do arranjo experimental, introduzindo novas possibilidades de interação entre os objetos e os instrumentos de medida, as quais, em princípio, não podem ser controladas. Consequentemente, os dados obtidos em diferentes condições experimentais não podem ser compreendidos dentro de um quadro único, mas devem ser considerados complementares, no sentido de que só a totalidade dos fenômenos esgota as informações possíveis sobre os objetos. Nessas circunstâncias, há um elemento essencial de ambiguidade quando se conferem atributos físicos convencionais aos objetos atômicos, como logo se evidencia no dilema relativo às propriedades corpusculares e ondulatórias de elétrons e fótons, no qual lidamos com imagens contrastantes, cada qual referindo-se a um aspeto essencial dos dados empíricos” (Bohr, 1995, p. 51).

7 Aplica-se, a esta citação, a mesma diligência metodológica expressa no final da quinta nota de rodapé.

8 Neologismo aduzido como sinónimo da palavra “subatômico”.

9 Ao interpretar a asserção de Heisenberg, Stephen Hawking projeta a seguinte argumentação: em termos quânticos, “dado o estado inicial de um sistema, a Natureza determina o seu estado futuro, através de um processo que é fundamentalmente incerto. Por outras palavras, a Natureza não dita o resultado de nenhum processo ou experiência, mesmo nas situações mais simples. O que ela faz é permitir um certo número de diferentes eventualidades, cada uma das quais com uma certa probabilidade de ser realizada” (Hawking; Mlodinow, 2011, p. 75-76).

provocadas pelo observador em si, mas antes pelos meios técnicos que este utiliza para poder proceder à quantificação das variáveis. No que respeita ao estudo dos fenómenos físicos, Heisenberg chama a atenção para a necessidade de um posicionamento comedido e ecuménico:

Pode ser tentador acrescentar uma receita sobre como se deve trabalhar em física teórica. Isto seria, contudo, muito perigoso, porque a receita deveria ser diferente para diferentes físicos. Portanto, posso apenas falar daquela que tenho usado para mim próprio. Não devemos agarrar-nos demasiado a um grupo particular de experiências; devemos tentar manter-nos em contacto com todos os desenvolvimentos [...] de modo a termos sempre uma imagem completa na mente antes de tentarmos fixar uma teoria em linguagem matemática ou noutra. (Heisenberg; Dirac; Salam, 1991, p. 106).

Importa ressaltar que a estocasticidade da física quântica não implica, de forma alguma, a negação do princípio de causalidade. Poderá ser precipitado inferir que a indeterminação é um princípio intrínseco à mecânica subatómica; na verdade, a percepção de que os sistemas quânticos são indeterminados parte, como referimos, da imprecisão dos resultados que advêm da aplicação do próprio método científico. Como tal, a predição probabilística não invalida o princípio de causalidade, do mesmo modo que o indeterminismo não estabelece o domínio do caos sobre a ordem. O determinismo assenta no critério da validade dedutiva, partindo da causa para o efeito; por seu turno, o princípio de causalidade, ao nível ôntico, desloca-se do efeito para a causa. Conclui-se, por conseguinte, que o princípio de indeterminação que Heisenberg postula é um princípio cuja aplicabilidade se esgota na fisicidade do mundo, enquanto o princípio de causalidade se aplica não só à dimensão estética da existência, como também ao inesgotável fluxo metafísico do ser.

Referências

- BOHR, Niels. *Física Atômica e Conhecimento Humano: ensaios 1932-1957*. Trad. Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto Editora, 1995.
- EINSTEIN, Albert. *The World as I See It*. Trad. Alan Harris. Londres: John Lane the Bodley Head, 1935.
- HAWKING, Stephen.; MLODINOW, Leonard, *O Grande Desígnio*. Trad. Ana Sampaio. Lisboa: Gradiva Publicações, 2011.
- HEISENBERG, Werner. *Physics and Philosophy*. Londres: Penguin Classics, 2000.
- HEISENBERG, Werner.; DIRAC, Paul.; SALAM, Abdus. *Em Busca da Unificação*. Trad. Manuel Folhais, Fernando Nogueira e Orlando Oliveira. Lisboa: Gradiva Publicações, 1991.
- KAKU, Michio. *A Equação Divina: a busca inacabada por uma teoria de tudo e o futuro da física*. Trad. Elsa Vieira. Lisboa: Bertrand Editora, 2021.
- NEWTON, Isaac. *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*. Trad. Andrew Motte. Nova Iorque: Daniel Adee, 1846.
- PIRES, Celestino. Determinismo. In: *Logos*. Enciclopédia Luso-Brasileira de Filosofia. v. 1. Lisboa; São Paulo: Editorial Verbo, 1991.
- PLATÃO. *Teeteto*. Trad. A. Lobo Vilela. Lisboa: Cadernos Seara Nova, 1947.
- POPPER, Karl. *A Lógica da Pesquisa Científica*. Trad. Leonidas Hegenberg e Octanny Silveira da Mota. São Paulo: Editora Cultrix, 2013.
- POPPER, Karl. *Conjecturas e Refutações*. Trad. Benedita Bettencourt. Coimbra: Edições Almedina, 2003.

POPPER, Karl. *Sociedade Aberta, Universo Aberto*. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1987.

POPPER, Karl.; LORENZ, Konrad. *O Futuro Está Aberto*. Trad. Teresa Curvelo. Lisboa: Editorial Fragmentos, s.d.

PRIGOGINE, Ilya. *O Nascimento do Tempo*. Trad. Marcelina Amaral. Lisboa: Edições 70, 2020.

ROVELLI, Carlo. *Sete Breves Lições de Física*. Trad. Vasco Gato. Lisboa: Editora Objetiva, 2019.

SAGAN, Carl. *As Variedades da Experiência Científica: Uma Visão Pessoal da Procura de Deus*. Trad. Inês Dias. Lisboa: Editora Gradiva, 2007.

SAGAN, Carl. *Cosmos*. Lisboa: Gradiva Publicações, 2012.

WEYL, Hermann. *Space-Time-Matter*. Trad. Henry L. Brose. Projeto Gutenberg, 2013.



COGNITIO

Revista de Filosofia
Centro de Estudos de Pragmatismo

São Paulo, v. 25, n. 1, p. 1-11, jan.-dez. 2024
e-ISSN: 2316-5278

 <https://doi.org/10.23925/2316-5278.2024v25i1:e65862>