

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENAÇÃO DA PÓS-GRADUAÇÃO STRICTU SENSU
PPGFIL – MESTRADO EM FILOSOFIA

BRUNA DE OLIVEIRA CAMPANO

**EPISTEMOLOGIA DAS REVOLUÇÕES CIENTÍFICAS
DE GALIEU E HEISENBERG**

Recife

2025

BRUNA DE OLIVEIRA CAMPANO

**EPISTEMOLOGIA DAS REVOLUÇÕES CIENTÍFICAS
DE GALILEU E HEISENBERG**

Dissertação apresentada ao Mestrado Acadêmico de Filosofia, do Programa de Pós-Graduação em Filosofia da Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP.

Linha de Pesquisa: Linguagem, sentido e ação.

Orientadora: Profa. Dra. Eleonoura Enoque da Silva.

Recife

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Campano, Bruna de Oliveira

Epistemologia das revoluções científicas de Galileu e Heisenberg
– Recife, 2025.

53 f. ; 30 cm.

Orientadora: Eleonoura Enoque da Silva.

Dissertação (mestrado) — Universidade Católica de Pernambuco
(UNICAP), Programa de Pós-Graduação em Filosofia (PPGFIL),
2025.

1. Filosofia. 2. Física. 3. Linguagem. I. Silva, Eleonoura Enoque.
II. Universidade Católica de Pernambuco. III. Título.

BRUNA DE OLIVEIRA CAMPANO

**EPISTEMOLOGIA DAS REVOLUÇÕES CIENTÍFICAS
DE GALILEU E HEISENBERG**

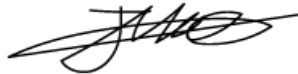
Dissertação aprovada como requisito final à obtenção do título de Mestre em Filosofia pela Universidade Católica de Pernambuco, por uma comissão examinadora formada pelos seguintes avaliadores.

Aprovada em: 14/03/ 2025.

BANCA EXAMINADORA



Orientadora: Prof. Dra. Eleonoura Enoque da Silva – UNICAP.



Titular Interno(a) – Prof. Dr. José Marcos Gomes de Luna – UNICAP.



Titular Externo(a) – Prof. Dr. Osvaldo Frota Pessoa Júnior – USP.

Recife

2025

Lista de ilustrações

Figura 1 - A Lua vista por Galileu	17
Figura 2- Desenho das alterações dos planetas	20
Figura 3 – Microscópio de Raios γ	47

Dedico este trabalho a meus avós: Maria Aparecida Carvalho, Maria Rosa dos Santos e Marcos Antônio Campano; e a minha irmã: Maria Paula Campano.

AGRADECIMENTOS

Expresso meu agradecimento e carinho a minha orientadora Profa. Dra. Eleonoura Enoque; por seis anos esta foi uma mentora inigualável, transformando meus sonhos em seus e luta até hoje comigo em busca de realizá-los. Obrigada por nunca ter soltado a minha mão.

Agradeço também a Daniel Moraes, meu primeiro mentor, aquele que me apresentou à Filosofia da maneira mais genuína, me ensinou o verdadeiro sentido do filosofar. Obrigada por se fazer presente, mesmo de longe.

Agradeço igualmente à minha amiga que a mecânica quântica me agraciou, Cecília Barbosa; esse trabalho e eu não teríamos chegado tão longe sem você; obrigada por estar comigo nos momentos bons, ruins e nas madrugadas, debatendo sobre o princípio da incerteza e colapsos de onda.

A meu querido professor José Marcos Luna, que foi um grande suporte emocional e uma inspiração para enfrentar esse meio acadêmico, diante do qual tantas vezes pensamos em desistir.

Aos meus amigos com que a vida acadêmica me presenteou, Rodrigo Pereira, Renato Conserva e Rafael Freire; serei eternamente grata a vocês por todo apoio e carinho nessa jornada; sem vocês, eu não teria conseguido chegar até aqui.

Aos meus irmãos Laura Sacramento, João Gabriel e Heitor Travassos; jamais conseguirei expressar em palavras a gratidão por toda rede de apoio que vocês me proporcionaram nessa e em todas as outras trajetórias desafiadoras da minha vida.

A minha família de coração, Luciana Clementino, Juliana Clementino, e em especial a irmã que a vida me deu, Vitória Clementino; para mim, vocês são sinônimo de lar, cuidado e amor. Se hoje eu estou aqui, foi pelo cuidado de vocês.

Por último e mais importante, agradeço a toda minha família, em especial meu pai, Paulo Campano, minha maior inspiração e exemplo. Transformou meus sonhos em seus e faz o impossível para me apoiar na conquista de cada um deles; amo-te.

As teorias são redes lançadas para capturar aquilo que denominamos “o mundo”: para racionalizá-lo, explicá-lo, dominá-lo. Nossos esforços são no sentido de tornar as malhas da rede cada vez mais estreitas. (Popper, 1993, p. 61)

RESUMO

O objetivo geral da nossa pesquisa é apresentar as interpretações de mundo a partir de duas revoluções científicas: a primeira ocorrida com Galileu Galilei, no século XVII, em defesa da teoria do heliocentrismo e da construção das leis fundamentais da mecânica clássica para explicar o mundo macroscópico; e a segunda com Werner Heisenberg, no início do século XX, com a construção da teoria quântica para explicar o mundo microscópico. A tese que norteia a nossa pesquisa é que linguagem e método são os principais recursos para essas duas revoluções na ciência e na filosofia. Para provar a nossa tese, buscaremos estabelecer uma relação entre o mundo descrito pela mecânica clássica e o mundo descrito pela mecânica quântica, desenvolvendo em nossa pesquisa três etapas: na primeira, descreveremos os fenômenos e explicitaremos raciocínios fundamentais para a construção da Física Clássica a partir das obras de Galileu: “O Mensageiro das Estrelas”, “O Ensaaiador”, “Os Dois Máximos Sistemas do Mundo”; na segunda etapa, examinaremos na obra de Heisenberg: “Física e Filosofia”, os conceitos e argumentos que serviram de fundamentos para esses autores construir suas teorias; por fim, faremos uma reflexão sobre a relação que existe entre as teorias dos dois supramencionados físicos através do artigo desenvolvido por Toraldo di Francia, intitulado *What is a physical object?* Em seguida, apontaremos contrapropostas ao programa epistemológico estabelecido por Heisenberg, dentre elas a crítica ao indeterminismo, levantada por Karl Popper; e assim, explicitaremos a nossa reflexão crítica dessas observações apresentadas. As abordagens metodológicas e linguísticas levaram os próprios cientistas a confrontarem-se com questões e discussões epistemológicas sobre a objetividade do mundo, o determinismo e o indeterminismo, assim como sobre críticas metodológicas do caráter indutivo experimental da física clássica e das interpretações probabilísticas da mecânica quântica. Assim, vale ressaltar que essa pesquisa não tem relevância apenas no estudo da Filosofia; trata-se também de uma pesquisa interdisciplinar, relacionando Física e Epistemologia. Sendo assim, mostraremos que essas revoluções não foram apenas científicas e sim uma revolução conceitual, metodológica e epistemológica sobre a natureza do mundo.

Palavras-chave: Filosofia. Física. Linguagem.

ABSTRACT

The general objective of our research is to present the interpretations of the world based on two scientific revolutions: the first, which occurred with Galileo Galilei in the 17th century, defending the heliocentric theory and establishing the fundamental laws of classical mechanics to explain the macroscopic world; and the second, with Werner Heisenberg in the early 20th century, involving the development of quantum theory to explain the microscopic world. The thesis guiding our research is that language and method are the primary resources employed by these two revolutions in science and philosophy. To prove our thesis, we aim to establish a relationship between the world described by classical mechanics and the world described by quantum mechanics, developing our research in three stages: in the first stage, we will describe the phenomena and outline the fundamental reasoning behind the construction of Classical Physics based on Galileo's works: "The Starry Messenger", "The Assayer", and "Dialogue Concerning the Two Chief World Systems". In the second stage, we will examine Heisenberg's work "Physics and Philosophy", focusing on the concepts and arguments that served as the foundation for these authors to construct their theories. Finally, we will reflect on the relationship between the theories of these two referred physicists through the article written by Toraldo di Francia, titled "What is a Physical Object?". Subsequently, we will point out some of Karl Popper's observations regarding Heisenberg's epistemological program and present our critical reflection on these observations. These theses in physics compelled scientists themselves to confront epistemological questions and discussions about the objectivity of the world, determinism and indeterminism, as well as methodological critiques of the inductive experimental nature of classical physics and the probabilistic interpretations of quantum mechanics. Thus, it is worth noting that this research is not only relevant to the study of Philosophy but is also interdisciplinary, connecting Philosophy, Physics, and Epistemology. Consequently, we will demonstrate that these revolutions were not merely scientific but also conceptual, methodological, and epistemological revolutions concerning the nature of the world.

Keywords: Philosophy. Physics. Language.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. A EPISTEMOLOGIA DE GALILEU GALILEI	14
2.1. O Mensageiro das Estrelas	15
2.1.1 Observações da Lua	16
2.1.2. Observações das estrelas fixas.....	18
2.1.3 As observações de Júpiter.....	19
2.2. O Ensaaiador	21
2.3. O Diálogo dos Dois Máximos Sistemas do Mundo.....	23
2.3.1. Primeira jornada: A homogeneidade do mundo.....	24
2.3.2. Segunda jornada: O movimento diurno da Terra.....	26
2.3.3. Terceira jornada: O movimento anual da Terra	27
2.3.4. Quarta jornada: A teoria do fluxo e refluxo do Mar.....	28
3. A EPISTEMOLOGIA DE WE31NER HEISENBERG.....	30
3.1. Física e Filosofia.....	31
3.1.1. As bases da teoria quântica.....	32
3.1.2 Linguagem e realidade na física moderna	35
3.1.3 A teoria dos quanta sob a perspectiva de Russell.....	36
3.1.4 O papel da física moderna na evolução atual do pensamento humano	38
4. IMPLICAÇÕES DAS REVOLUÇÕES CIENTÍFICAS SOB UMA PERSPECTIVA EPISTEMOLÓGICA.....	42
4.1. Relações entre as revoluções científicas apresentadas por Toraldo di Francia .	43
4.2 O programa de Heisenberg e as relações de incerteza.....	44
4.3 Microscópio de Raio γ (gama).....	46
4.4 Aspectos físicos e filosóficos do princípio do indetermin48.....	47
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
REFERÊNCIAS.....	51

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho, apresentaremos as interpretações de mundo a partir de duas revoluções científicas: a primeira ocorrida envolvendo Galileu Galilei, no século XVII, em defesa da teoria do heliocentrismo e da construção das leis fundamentais da mecânica clássica para explicar o mundo macroscópico; e a segunda envolvendo Heisenberg, no início do século XX, com a construção da teoria quântica para explicar e fornecer uma fundamentação científica ao mundo microscópico.

Nosso objetivo geral é buscar estabelecer uma relação entre o mundo descrito pela mecânica clássica e o mundo descrito pela mecânica quântica. Os objetivos específicos são: (i) descrever fenômenos e explicitar raciocínios fundamentais para a construção da Física Clássica a partir das obras de Galileu: “Mensageiro das Estrelas”, “O Ensaaiador”, “Os Dois Máximos Sistemas do Mundo”; (ii) examinar na obra de Heisenberg, “Física e Filosofia”, os conceitos e argumentos que serviram de fundamento para esse autor construir a sua teoria.

O nosso trabalho será dividido da seguinte maneira: no primeiro capítulo, estudaremos a teoria de mundo de Galileu, segundo a qual o pensador descreve minuciosamente o mundo macroscópico através de suas observações e descobertas. O objetivo do detalhamento de sua pesquisa é apresentar, de maneira indireta, que os estudos e conclusões a respeito do universo predominantes na época do geocentrismo¹ estavam equivocados e ele, com seu trabalho, conseguia evidenciar isso e apresentar argumentos em defesa do heliocentrismo². No segundo, estudaremos a teoria microscópica de Heisenberg, através da sua obra *Física e Filosofia*, na qual o físico apresenta toda a fundamentação de sua teoria através daquilo que ele chama de via especulativa³, ou seja, ele tem como objetivo explicar conceitos fundamentais da sua teoria quântica por meio da relação que existe entre sua teoria e a Filosofia clássica. Por fim, mostraremos a relação que existe entre as teorias de Galileu e Heisenberg através do artigo desenvolvido por Toraldo di Francia, intitulado *What is a physical object?;*; ali, o autor apresenta a distinção direta das teorias dos dois supramencionados físicos através do conceito de objeto físico, apresentado respectivamente pela mecânica clássica e mecânica quântica.

¹ Modelo cosmológico mais antigo, que defendia a teoria de que a Terra era o centro do universo e todos os astros giram ao seu redor.

² Teoria do universo que colocava o Sol, em sua apresentação inicial, estacionário como centro do universo, fazendo com que a Terra e os demais planetas girem ao seu redor.

³ Heisenberg acreditava que a Física não poderia ser considerada autossuficiente, ou seja, se faz necessário recorrer a outras áreas do conhecimento; por este motivo o mesmo nos apresenta em sua obra a via especulativa, que para ele é a Filosofia.

Também apresentaremos algumas observações de Karl Popper a respeito do programa epistemológico de Heisenberg, explicitando a nossa reflexão crítica dessas observações apresentadas.

Em suma, a problemática que norteia a nossa pesquisa é apresentar a relação existente entre as duas revoluções e a diferença da construção delas, devido ao contexto histórico em que cada uma foi desenvolvida. Galileu, com a explicação focada na descrição de objetos macroscópicos e suas novas descobertas astronômicas; e Heisenberg, voltado para objetos microscópicos com suas teorias críticas e embasamento filosófico. Mesmo diante da acentuada divergência de seus pensamentos, explicam tais feitos com a mesma linguagem, a linguagem matemática, partilhando do mesmo objetivo: desmistificar o mundo através da física. Após revolucionar a ciência com suas teorias, experimentos e interpretações, conseguiram deixar um grande marco na história da Filosofia e revolucionar a Filosofia da Ciência.

2. A EPISTEMOLOGIA DE GALILEU GALILEI

O objetivo deste primeiro capítulo é investigar a linguagem e a abordagem sobre o mundo na perspectiva de Galileu, a partir da análise de suas obras: “Mensageiro das Estrelas”, “O Ensaaiador” e “Os Dois Máximos Sistemas do Mundo”.

Sabe-se que Galileu viveu em uma época (Itália do século XVII) de discórdia no mundo cristão. A Igreja Católica exigiu o rígido cumprimento de seu dogma e essa exigência foi reforçada pela violenta ameaça da inquisição, contrarreforma instaurada em oposição feroz à reforma protestante. Nessa mesma época, Galileu tornou-se o cientista mais famoso. Seus primeiros experimentos foram a base da física moderna, pois revolucionaram a visão da astronomia. Foi especulado por grande parte da sociedade que Galileu estava querendo confrontar a Igreja Católica, porém poucos reconhecem que ele era um católico praticante, e portanto não tinha o objetivo de contrariar a Bíblia; apenas afirmava que a Bíblia não era um bom livro de astronomia.

O próprio Galileu falava sobre Deus; porém, em uma perspectiva totalmente diferente da época, uma vez que em sua concepção o momento perfeito para pensar em Deus seria o momento em que se está pensando na matemática (matemática + Deus = entendimento do mundo), até porque ele falava e via o mundo através da linguagem matemática. Em sua opinião, os olhos não seriam suficientes para entender a natureza, por isso ele acreditava que o olho servia para olhar a natureza, enquanto o cérebro servia para compreendê-la. Desenvolvendo essa linha de pensamento, ele revolucionou a ciência, dando bases para as teorias de Isaac Newton, que repercutiram em toda a história. Diante disto, sabe-se que as teorias newtonianas não devem ser vistas e enaltecidas de maneira singular na ciência, pois suas teorias obtiveram bases em cientistas anteriores, como Galileu.

Pela razão de seus pensamentos e estudos se chocarem com os dogmas da Igreja Católica, ele foi condenado à prisão domiciliar e perseguido pela inquisição. Mesmo com tudo isso, Galileu não deixou de lado sua paixão por explicar o mundo natural. Visto que foi um sábio, soube o momento de se calar e preferiu continuar seus estudos em prisão domiciliar e, assim, deixar um legado. O processo contra Galileu não foi o único ocorrido no período, embora seja o mais famoso, mas foi o mais dramático, mesmo que encareçamos como impressionante a violência legal exercida sobre ele; nesse sentido, enquanto expressão jurídica de uma política cultural, este foi um processo político, assim como foi política toda a perseguição e aniquilamento de parte da intelectualidade renascentista italiana, em nome de uma fidelidade – de um consenso juridicamente imposto – ao catolicismo e sua visão

tradicionalista da cultura, para a qual toda dissensão ou heterodoxia livre era suspeita e condenável.

Acreditamos que após a leitura de suas obras, dos seus julgamentos e defesas, não restam dúvidas de que ele não mediu esforços para deixar seu nome marcado na física. Além da Física, Galileu Galilei deixou seu nome impresso na história da Filosofia, principalmente com as suas contribuições para o método científico. Após estudos, podemos perceber que sua obra foi dividida em três partes: (i) observação dos fenômenos; (ii) experimentação; (iii) regularidade matemática. Como a compreensão do mundo em sua percepção é vista matematicamente, o seu método é finalizado com o que o próprio acredita ser a linguagem do mundo natural.

Ao observar a primeira luneta criada pelo holandês Hans Lippershey (1608) com o intuito de observar objetos à distância com lentes de óculos, o mais renomado cientista viu potencial na luneta e a capacidade de aprimoramento das lentes, resultando na observação de objetos que estivessem mais longe. Para isso, Galileu aprendeu a polir suas próprias lentes, melhorando a qualidade delas para alcançar uma distância maior. Assim, ele colocou sua luneta no Campanário de São Marcos e fez demonstrações no dia vinte e um de agosto de 1609⁴. Após a realização dessa demonstração, ele conseguiu comprovar que a eficácia de seu telescópio era superior à dos demais até então. Depois disso, ao apontar o telescópio para o céu, viu coisas que não esperava ver e, com isso, passou a observar os céus com seu telescópio todos os dias, em busca de evidências para uma nova astronomia. Assim, surgiu o livro: *Siderius nuncius* (1610), traduzido por “O mensageiro das estrelas”.

2.1. O Mensageiro das Estrelas

O livro *Siderius Nuncius*, publicado por Galileu 1610, levou o físico ao início de seu julgamento. Foi uma de suas obras mais importantes, na qual ele relata seu aprimoramento do telescópio e as novidades descobertas por meio deste instrumento, mostrando a sua nova visão de mundo macroscópica. Naquela época, o telescópio era utilizado apenas para observar os navios inimigos. O surgimento do livro “*Siderius nuncius*”, traduzido como “O mensageiro das estrelas”, consiste no relato das primeiras observações feitas pelo primeiro telescópio e os detalhes dos primeiros aprimoramentos feitos para obter uma melhor visão do céu. Essa sua obra é o início da interpretação de mundo matemática proposta pelo físico.

⁴ Até hoje (2024) tem uma placa no alto do Campanário com o registro da ida de Galileu: *Galileo Galilei, con in suo cannocchiale da qui il 21 agosto 1609 allargava gli orizzonti dell'uomo nel quarto centenario.*

2.1.1 Observações da Lua

Apresentando suas descobertas, Galileu Galilei transformou antigas certezas em equívocos. Teve como consequência principal o embate com aquilo que era considerado o conhecimento do senso comum. E em relação às observações da lua, Galileu, nas primeiras páginas, relata que as manchas na lua vistas por ele eram inéditas. A respeito disso, ele diz:

Estas manchas, um pouco escuras e bastante vastas, são visíveis a todos e em todas as épocas foram observadas. Por essa razão lhes chamaremos as manchas grandes ou antigas, para diferenciar de outras, de menor tamanho, mas a tal ponto numerosas que recobrem toda a superfície lunar, mais especialmente a parte mais luminosa. Estas, na verdade, não foram observadas por ninguém antes de nós. (GALILEU, 2015, p. 156).

O autor complementa a citação anterior, explicitando que diferentemente do que a grande maioria da sociedade, e até mesmo estudiosos acreditavam sobre a lua era um equívoco, pois diziam que a lua era uniforme e exatamente esférica. Com suas pesquisas mais aprofundadas, Galileu discorda;

Do seu exame muitas vezes repetido deduzimos que podemos discernir com certeza que a superfície da Lua não é perfeitamente polida, uniforme e exatamente esférica, como um exército de filósofos acreditou, acerca dela e dos outros corpos celestes, mas é pelo contrário, desigual, acidentada, constituída por cavidades e protuberâncias, como a face da própria Terra, que está marcada, aqui e acolá, por cadeias de montanhas e profundezas de vales. (GALILEU, 2015, p. 156).

Diante de inúmeras observações jamais feitas, realizadas pelo supramencionado físico, foi adotado como principal objetivo mostrar a eficácia do seu telescópio, detalhando sua primeira descoberta dos céus, que teve como consequência a discordância com os demais membros da população. Porém, fica nítido com o seu detalhamento nas características da lua que o seu comprometimento era única e exclusivamente com a descoberta e não com a discórdia.

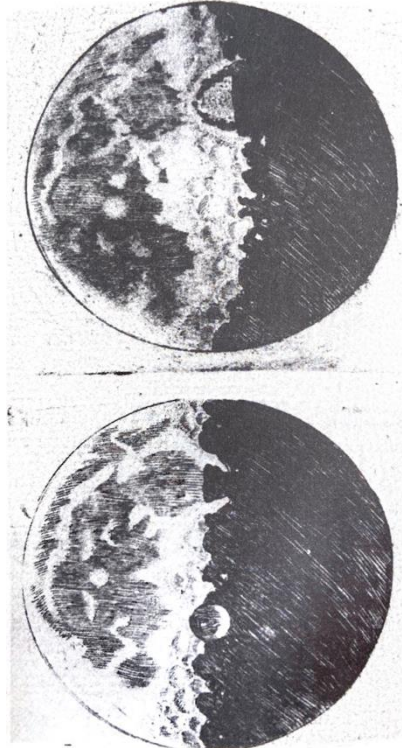
Após apontar minuciosamente todos os aspectos da lua observados por ele, Galileu faz uma relação das assimetrias da lua com as assimetrias da Terra:

Ora, não é verdade que na Terra, antes do nascer do Sol, quando a sombra ainda cobre as planícies, os cimos dos montes mais elevados estão iluminados pelos raios solares? E que após um curto intervalo de tempo a luz se espalha, iluminando as partes médias e mais largas desses montes? E, por fim, quando o Sol já se levantou, não se juntam as iluminações das planícies e das colinas umas às outras? Na Lua, todavia este contraste entre as elevações e as depressões parece exceder em muito a desigualdade do relevo terrestre, como mostraremos mais adiante. (GALILEU, 2015, p. 158)

Reconhecendo que a Terra também não é uniforme, ele apresentou a relação dela com a lua, pois em suas observações notou que as cavidades e protuberâncias da lua eram maiores que as da Terra; portanto, da mesma maneira que o Sol não ilumina a Terra igualmente, a lua,

como a Terra, é sempre iluminada pela metade, se a considerarmos como uma esfera. Porém, o ponto que Galileu desejava apresentar era que à medida em que o sol se eleva, as sombras das cavidades terrestres vão diminuindo, e o mesmo acontece com a lua. A melhor forma que ele encontrou de exemplificar sua explicação foi desenhando a lua da maneira que ele via através do telescópio:

Figura 1 - A Lua vista por Galileu



Fonte: Galileu, 2015, p. 162

Analisando as imagens, Galileu notou que quanto mais sombreado existe na cavidade, maior ela é, pois o Sol está batendo na Lua da esquerda para a direita. Assim, as cavidades mais altas terão mais sombra. No primeiro desenho, não se pode ver a cavidade perfeitamente redonda que existe no centro da lua; no entanto, no segundo desenho, tem-se uma visão diferente, mostrando uma linha divisória imperfeita entre a luz e a sombra; este fato acontece devido às cordilheiras serem muito elevadas, e como a parte escura não conseguiu ultrapassar a cordilheira, a cavidade encontra-se ainda iluminada, impedindo que a divisória entre a sombra e a luz alcance o diâmetro que secciona a lua em duas partes.

A respeito dessas observações, Galileu conclui:

A Lua é, pois, iluminada menos brilhantemente pela Terra, e a sua luz secundária aparece-nos por consequência mais fraca. Pois, se supusermos a Lua em oposição ao

Sol, ela terá diante o hemisfério completamente tenebroso e coberto de noite escura da Terra, situada a meio. Se, portanto, uma tal oposição se der na eclíptica⁵, a Lua não receberá qualquer iluminação, ficando privada de ambas as radiações, solar e terrestre. (GALILEU, 2015, p. 172).

O renomado físico acreditava que a Lua não era iluminada unicamente pelo Sol, mas de maneira menos eficaz também é iluminada pela Terra: quando a iluminação lunar está mais forte, é porque ela está refletindo a luz do Sol; quando mais fraca, está refletindo a luz terrestre. Com isso, para ele, quando a Terra está mais iluminada pela Lua, a Lua está sendo menos iluminada pela Terra. A consequência desse estudo tão minucioso da Lua e da maneira com que o Sol e a Terra a iluminam, foi o primeiro passo dado por Galileu Galilei para estruturar a sua defesa do heliocentrismo.

2.1.2. Observações das estrelas fixas

Nas observações sobre as estrelas fixas, Galileu compreende que as estrelas são as que sofrem menos alterações vistas através da luneta, comparando-as à lua e a outros objetos:

Em primeiro lugar, cumpre notar que, quando são observadas por meio da luneta, as estrelas, quer fixas quer errantes⁶, não se veem aumentadas na mesma proporção em que os outros objetos, e a própria lua, são aumentados. (GALILEU, 2015, p. 173).

Essa diferença de ângulo visual referente às estrelas acontece porque, ao observá-las a olho nu, são vistas irradiadas e com raios brilhantes; no entanto, se tal ângulo fosse apenas determinado pelo corpo primário da estrela e não pelo brilho circundante (...)

A razão para isto está em que, quando as estrelas são observadas à vista desarmada, não aparecem de acordo com o seu tamanho simples e, por assim dizer, nu, mas sim irradiadas de um certo brilho e com uma cabeleira de raios brilhantes, especialmente quando a noite já é avançada. Por causa disto, parecem muito maiores do que se lhes fossem retiradas essas cabeleiras emprestadas, pois o ângulo visual é determinado não pelo corpo primário da estrela, mas pelo brilho circundante. (GALILEU, 2015, p. 173).

A análise feita pelo supramencionado físico é de que as estrelas fixas parecem ser maiores, devido à cabeleira de raios brilhantes perceptíveis à vista desarmada, pois, diferentemente dos demais objetos de estudos astronômicos, vistos a olho nu, as estrelas fixas, em seu corpo primário, são menores, o que surpreendeu Galileu, porque ele acreditava que ao apontar a luneta para elas iria enxergá-las em uma dimensão maior.

Com a luneta, Galileu conseguiu perceber que, além da divergência no ângulo visual, existem outras estrelas no céu que não são perceptíveis à vista desarmada.

⁵ Isto é, se for um eclipse. – Nota do tradutor Henrique Leitão.

⁶ Aquelas que não possuem rumo.

Na verdade, com a luneta poderá ver-se uma tal multidão de outras estrelas abaixo da sexta grandeza, que escapam à vista desarmada, tão numerosa que é quase inacreditável, pois podem observar-se mais do que seis outras ordens de grandeza. As maiores destas que podemos designar de sétima grandeza, ou primeira grandeza das invisíveis, mostram-se maiores e mais brilhantes com o auxílio da luneta do que as estrelas da segunda grandeza quando vistas a olho nu. (GALILEU, 2015, p. 175).

Galileu com sua luneta não tinha apenas o objetivo de observar as coisas que ele já sabia da existência; sua principal finalidade era descobrir cada vez mais sobre o céu e com esse objetivo bem definido, ele pôde encontrar inúmeras estrelas não vistas a olho nu e tentou em seus escritos definir o tamanho delas, comparando-as às outras que já tinham sido vistas e definidas suas grandezas. Porém, com essas descobertas, ele apontou ser necessário que se designassem as grandezas das estrelas invisíveis, para que se pudesse falar e estudar sobre elas.

Uma das grandes análises realizadas nas observações sobre as estrelas fixas é a análise referente à Via Láctea, a galáxia da qual o sistema solar faz parte. Tal análise fez com que Galileu conseguisse comprovar que a Terra não está no centro do universo:

Aquilo que foi por nós observado em terceiro lugar foi a essência⁷ ou matéria da própria via LÁCTEA que, com auxílio da luneta, pode ser observada com os sentidos, de modo que todas as disputas que durante tantas gerações torturaram os filósofos são dirimidas pela certeza visível, e nós somos libertados de argumentos palavrosos. (GALILEU, 2015, p. 177).

Após demarcar todas as constelações analisadas e fazer desenhos das suas observações, ele conseguiu notar uma certa diferença no posicionamento das constelações entre um dia e outro, e a partir dessa análise e a comprovação visual representada pelos seus desenhos, Galileu afirmou que seus estudos, baseados na ciência e no método, deveriam dirimir as dúvidas dos filósofos.

A descoberta dessas estrelas não perceptíveis a olho nu foi de extrema importância para uma melhor avaliação da definição de galáxia e pela nomeação dada por Galileu a elas: estrelas nebulosas: “Além disso, as estrelas que foram designadas de NEBULOSAS por todos os astrônomos até hoje são enxames de pequenas estrelas reunidas de forma espantosa.” (GALILEU, 2015, p. 178).

⁷ O termo causa alguma perplexidade de tradução, mas aqui está usado no sentido de substância. – Nota do tradutor Henrique Leitão.

2.1.3 As observações de Júpiter

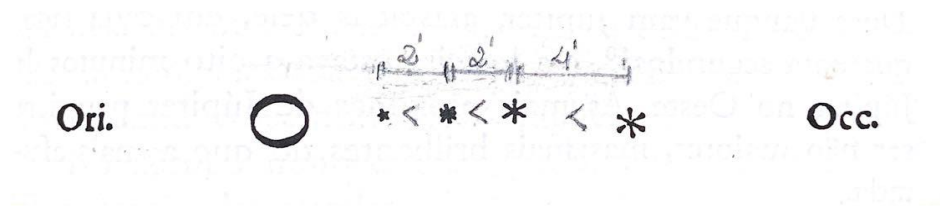
As observações de Júpiter foram realizadas detalhadamente, diariamente durante um período de dois meses⁸. Galileu passava horas observando e fazendo anotações. Inicialmente, em sua pesquisa, ele tinha convicção de que se tratava de três estrelas fixas próximas a Júpiter, mas em apenas alguns dias de avaliação, ele pôde ver que as estrelas estavam mudando de posições e nem sempre eram as três iniciais que apareciam; acontecia que estas eram vistas por ele apenas uma, duas, três ou até mesmo quatro em posições distintas às do dia anterior. Logo, ele estabeleceu que existiam quatro estrelas errantes ao redor de Júpiter:

Descrevemos brevemente as observações feitas, até agora, da Lua, das estrelas fixas e da GALÁXIA. Falta-nos revelar e divulgar aquilo que parece ser o mais importante da presente matéria: quatro PLANETAS nunca vistos desde o princípio do mundo até aos nossos dias, as circunstâncias das suas descobertas e observação, as suas posições e as observações feitas nos últimos dois meses acerca dos seus deslocamentos e mudanças. (GALILEU, 2015, p. 179).

Como fez em suas outras observações, ele desenhou todas as alterações que os quatro planetas sofreram no decorrer de sua investigação. Mas, diferente do que ele propôs em seus outros estudos, dessa vez ele optou por tentar posicionar os planetas no espaço, Galileu usou a seguinte metodologia:

⁸ Entre 7 de Janeiro de 1610 e 2 de março de 1610, período que Galileu realizou suas detalhadas observações de Júpiter.

Figura 2- Desenho das alterações dos planetas



Fonte: Galileu, 2015, p. 18

Nessa estrutura da observação feita no décimo quinto dia, ele anotou todas as suas observações, definiu o lado esquerdo como oriental e o lado direito como ocidental, assinalando-se que o círculo vazado do desenho representa Júpiter, enquanto os asteriscos representam as estrelas. Após tais orientações, ele passou a calcular a distância entre Júpiter e as estrelas com a demarcação de minutos. Nesse desenho, ele diferenciou o tamanho das estrelas, a mais próxima a Júpiter estava menor e as demais estavam em ordem crescente referente à primeira. Da primeira para segunda, elas tinham um intervalo de dois minutos; da segunda para a terceira, também havia um intervalo de dois minutos, enquanto a maior estrela e mais ocidental apresentava um intervalo de quatro minutos da terceira. Vale ressaltar que não são em todos os momentos da observação que aparecem as quatro, inicialmente chamadas por Galileu de estrelas.

Após apresentar sua metodologia e detalhamento de seu estudo, possibilita um melhor entendimento do leitor diante das próximas fases de sua pesquisa a respeito dos quatro

planetas. A maior parte dessa observação consiste em seus desenhos, estabelecendo o posicionamento, a distância das estrelas entre si e em relação a Júpiter.

Em seguida, o autor apresenta os seus argumentos persuasivos do seu progresso e novidades das descobertas. Após explicitar seus resultados e métodos em relação às observações de Júpiter, ele faz sua primeira referência direta a Copérnico:

Temos, além disso, um excelente e esplêndido argumento para eliminar os escrúpulos daqueles que, embora admitindo tranquilamente a revolução dos planetas em torno do Sol no sistema copernicano⁹, ficam tão perturbados pela circulação de uma única Lua em torno da Terra, enquanto as duas juntas completam um orbe anual em torno do Sol, que concluem que esta constituição do universo deve ser recusada como impossível. (GALILEU, 2015, p. 205).

Com a mudança de posição das estrelas em relação a Júpiter, as observações referentes à Lua e as observações das estrelas fixas, Galileu sente-se seguro em falar do sistema copernicano e questionar aquilo que é visto como constituição do universo para a maioria das pessoas, deixando em aberto o seu posicionamento e evidenciando que mais estudos serão publicados:

[...] também pelas coisas que serão discutidas mais amplamente no nosso Sistema, é igualmente certo que não apenas a Terra, mas também a Lua tem seu próprio orbe vaporoso em seu redor. (GALILEU, 2015, p. 206).

Nessa sua primeira obra, Galileu já fala sobre uma de suas últimas obras e a razão de sua condenação: “Os dois máximos sistemas do mundo”: [...]; ataremos, no entanto, deste assunto mais adiante no livro sobre o Sistema do Mundo. (GALILEU, 2015, p. 171). A partir disso, ele consegue aprofundar todas as suas observações e transformá-las em uma teoria, também intitulada por ele como: “Sistema do Mundo”.

2.2. O Ensaíador

Na obra *Il Saggiatore*, publicada por Galileu Galilei em 1623, ele se defende das ofensas que recebeu do Sr. Sarsi¹⁰, autor do livro “A balança astronômica e filosófica” (livro que tinha como objetivo principal criticar as descobertas feitas por Galileu no “Mensageiro das Estrelas”). Galileu divide em ensaios a obra de Sr. Sarsi e responde a todos de maneira lógica, apresentando a ausência de fundamento nas acusações feitas, respondendo a todas as questões levantadas pelo jesuíta. Essa rivalidade surgiu após posicionamento do Pe. Orazio

⁹ A única alusão direta ao nome de Copérnico ou do sistema astronômico por ele proposto. – Nota do tradutor Henrique Leitão.

¹⁰ Foi um padre jesuíta, matemático, astrônomo e arquiteto chamado Orazio Grassi. Seus escritos contra Galileu foram publicados sob o pseudônimo de Sr. Sarsi.

Grassi, duvidando das reflexões e observações feitas por Galileu através do telescópio. Galileu examina as ideias do jesuíta e as considera fracas, porque além de Orazio defender o modelo cosmológico de Tycho Brahe¹¹, ele não consegue consolidar suas acusações ao supracitado astrônomo, tanto que em resposta a Sr. Sarsi, na análise do terceiro ensaio, Galileu apresenta o seguinte argumento para o Papa Urbano VIII, diante de duas acusações expostas por Sarsi que eram insustentáveis:

Nestas palavras, além de tornar-se clara a finalidade já declarada de somente contestar, eu percebo mais duas coisas: uma, sua simulação de não ter entendido muitas coisas por terem sido escritas (afirma ele) obscuramente, que seriam aquelas que ele não encontrou possibilidade alguma de contradizer; a outra, sua declaração de não ter podido contradizer as coisas que eu não manifestei e que ele não pôde adivinhar. Todavia, V. E. Ilustríssima poderá perceber que a verdade é que a maior parte das coisas que ele contesta são aquelas que não foram manifestadas por nós, mas adivinhadas, ou melhor, imaginadas por ele. (GALILEU, 1999, p. 34).

Através desse contra-argumento que Galileu faz ao Sr. Sarsi, nos é esclarecido inicialmente que o pensamento galileano não estava sendo compreendido por aquele que tinha como objetivo invalidar suas teorias.

A partir do sexto ensaio da obra analisada, compreendemos a maneira como Galileu enxerga o mundo. Em um primeiro momento, Sarsi apresenta em trecho de sua obra sua indignação com as teorias ptolomaicas e copernicanas, assim enaltecendo o pensamento de Tycho Brahe:

[...] Que grande crime é esse? A quem deveríamos seguir, de preferência? Por acaso Ptolomeu, cujos seguidores dizem que Marte, situado mais perto, ameaça com a espada desembainhada na garganta? Copérnico então? Mas este, que é religioso, afastaria antes de todo mundo dele, pois uma hipótese condenada agora mesmo será condenada e não aceita por ele igualmente. Entre todos sobrava Tycho para ser tomado como guia pelo ignorado caminho dos astros. (GALILEU, 1999, p. 41).

Em resposta a esse trecho retirado do livro de Grassi, Galileu rebate introduzindo sua perspectiva em relação à Filosofia:

Parece-me também perceber em Sarsi sólida crença que, para filosofar, seja necessário apoiar-se nas opiniões de algum célebre autor, de tal forma que o nosso raciocínio, quando não concordasse com as demonstrações de outro, teria que permanecer estéril e infecundo. (GALILEU, 1999, p. 46).

É notório que Galileu não estava se opondo a basear-se em teorias já existentes, porém, não concorda com o fato de limitar suas ideias a uma e permanecer estagnado naquele espaço cômodo. Como dito anteriormente, as teorias de Galileu revolucionaram a ciência, sempre buscando a evolução da mesma e do pensamento humano: ele achou a Matemática na

¹¹ Seu modelo cosmológico fundamenta que a Terra é fixa e tanto o sol quanto a lua giram em torno dela, enquanto os outros planetas giram em torno do sol.

Filosofia e no mundo, assim criando sua própria teoria (fundamentada em outros pensadores, uma vez precisava de um ponto de partida e toda obra filosófica ou científica se insere num contexto de correspondência a uma tradição) em relação ao mundo. A respeito disso, ele diz:

A Filosofia encontra-se escrita neste grande livro que continuamente se abre perante os nossos olhos (isto é, o universo), que não se pode compreender antes de entender a língua e conhecer os caracteres com os quais está escrito. Ele está escrito em língua matemática, os caracteres são triângulos, circunferências e outras figuras geométricas, sem cujos meios é impossível entender humanamente as palavras; sem eles nós vagamos perdidos dentro de um obscuro labirinto. (GALILEU, 199, p. 46).

Esta é uma de suas citações mais conhecidas entre os estudiosos da área, apresentada no início de sua obra, já deixando evidente que, independente dos próximos ensaios, Sr. Sarsi não teria argumentos considerados fortes (do ponto de vista de Galileu), porque estava limitado ao pensamento de Tycho e não havia compreendido de fato o que Galileu tentou passar através de sua obra em 1610¹². Tudo o que ele falou em resposta a seu rival foi baseado em suas primeiras observações através do telescópio. Ao olhar para o céu, Galileu conseguia ver várias circunferências com texturas, espessuras e tamanhos diferentes. Logo, observou ao seu redor e afirmou que os caracteres em que o mundo foi escrito foram os caracteres matemáticos/geométricos.

O sexto ensaio foi desenvolvido com Galileu respondendo a cada acusação e ataque que lhe foi feito, de maneira lógica e científica, provando que aquilo descoberto, estudado e acreditado por ele tinha coerência e principalmente fundamento, o que evidentemente estava ausente na fala do Sr. Sarsi. Apresentou sua defesa ao telescópio; porém, esta não foi uma defesa puramente técnica e científica, como ele fez em “O mensageiro das estrelas”, mas sim sua de caráter filosófico (até porque “O Ensaíador” é considerada sua obra mais filosófica):

Ora, usar o telescópio em relação a estas estrelas, assim como aquele halo¹³ que perturbava o olho nu e impedia a exata sensação, a qual opera coisas importantíssimas, admiráveis e com grandes consequências, é justamente aquilo que nós quisemos afirmar dizendo que o telescópio “despe as estrelas do halo”, que são palavras só de um momento e de nenhuma consequência: palavras que, se vós ainda estais no grau estudantil, e que por isto podem atrapalhar, podereis mudá-las a vosso gosto, como alterastes já o nosso aumento com a vossa passagem do não ser ao ser. (GALILEU, 1999, p. 238).

O telescópio desmistificava o céu (universo) para Galileu. Era uma ferramenta que possibilitava leitura e entendimento do mundo. Não mediu esforços para avançar seus estudos e entregar à sociedade tudo aquilo que era possível. Nessa sua obra, ele prefere se abster de

¹² *Siderius Nuncius* – “O mensageiro das estrelas”.

¹³ Círculo brilhante que por vezes circunda o Sol e a Lua, ocasionado pela refração da luz.

polêmicas religiosas/políticas, firmando-se no fundamento Físico-filosófico, tendo como seu principal objetivo defender aquilo por ele descoberto e estudado minuciosamente.

2.3. O Diálogo dos Dois Máximos Sistemas do Mundo

Dando continuidade a seus escritos de 1610 (*Siderius Nuncius*), Galileu aprofunda suas pesquisas através do telescópio e se posiciona diante das duas principais teorias do sistema do mundo em sua obra: *O diálogo dos dois máximos sistemas do mundo, ptolomaico e copernicano* (1632). Seu posicionamento na obra levou-o a condenação pela Inquisição, mesmo que ele tenha se dedicado a codificar sua obra em forma de diálogo, utilizando nomes fictícios para representá-lo e representar os pensadores com suas teorias sobre os dois máximos sistemas do mundo.

O sistema ptolomaico era cheio de dispositivos geométricos engenhosos e tinha a Terra como centro. Ptolomeu fez todo o seu sistema a olho nu. Ele propunha uma certa maneira para estimar as posições dos planetas; este sistema de alguma forma foi útil para a astronomia, mas tinha muitas imperfeições. Algum tempo depois, mesmo antes do telescópio, Nicolau Copérnico notou que se o sol fosse colocado como o centro do universo e não a Terra, os cálculos para descobrir a posição dos planetas seriam mais simplificados. Nesse sistema, a Terra nunca estaria parada e como ele não podia provar isso, com isso, seu sistema foi condenado e julgado como equivocado pela maioria dos pensadores da época. Galileu já havia lido o sistema de Copérnico e já acreditava que ele pudesse estar certo, mas nem mesmo com o seu telescópio ele conseguia provar tal fato: Galileu passou muito tempo observando o céu, em busca de evidências de que a teoria de Nicolau Copérnico fazia mais sentido (diante do novo recurso de estudar o céu) do que a de Cláudio Ptolomeu. Foi assim que surgiu o livro “Os dois máximos sistemas do mundo” (1632).

Neste livro, o autor utiliza codificações na sua linguagem; com o fito igualmente de não ser direto em suas afirmações, escreveu o livro em forma de diálogo entre 3 personagens, a saber: Salviati, que representava o próprio Galileu; Simplicio, que representava o aristotélico-ptolomaico e Sagredo, que representava Copérnico. Para a análise dessa obra, utilizamos a tradução e notas de Pablo Rubén Mariconda, que realizou uma divisão na obra e colocou títulos nas seções, assim facilitando nosso entendimento do conteúdo e explicitando alguns termos utilizados pelo autor.

2.3.1. Primeira jornada: A homogeneidade do mundo

O primeiro momento¹⁴ é marcado pelo diálogo inicial de Salviati e Simplicio a respeito das causas naturais e seus efeitos, conscientes de que suas visões referentes ao assunto são totalmente distintas. Para Salviati, a matemática possui o papel principal das investigações da natureza, e partindo desse pressuposto ele se dedica a apresentar para Simplicio esse papel dado por ele à matemática. Para iniciar a passagem de seu pensamento, Salviati retorna à base da Filosofia:

Salviati:

Que os pitagóricos tinham em máxima estima a ciência dos números e que mesmo Platão admirava o intelecto humano e o considerava partícipe da divindade somente por ele entender a natureza dos números, eu sei muito bem, nem estaria longe de fazer o mesmo juízo. (GALILEU, 2011, p. 97).

A retomada da Filosofia clássica foi um ponto de partida pensado por Galileu, pois ele já deixa em evidência a importância da matemática para o entendimento daquilo que ele vai explicar adiante. Porém, um dos pontos centrais de sua colocação está quando ele acrescenta a primeira fala de Sagredo, incentivando-o a exemplificar a defesa que Salviati faz da descrição de mundo:

Sagredo:

Acrescentai, pelo menos, se a tivesse sabido, ou se ela lhe tivesse ocorrido. Mas vós, Sr. Salviati, dar-me-íeis um imenso prazer acrescentando alguma razão evidente, se tendes alguma razão tão clara, que possa ser por mim compreendida. (GALILEU, 2011, p. 97).

O incentivo de Sagredo direcionou a um extenso diálogo, com base matemática, entre os três personagens da obra, sendo esta conversação assim interrompida por Simplicio:

Simplicio:¹⁵

Por favor, seja-me permitido, devido a minha pouca prática nas ciências matemáticas, dizer livremente que vossos argumentos, assentados sobre proporções maiores ou menores e sobre outros termos por mim não compreendidos quanto seria necessário, não me removeram dúvida [...]. (GALILEU. 2015, p. 115).

Ao ler essa citação, entendemos que Galileu teve o intuito de passar que um bom entendedor do mundo é aquele que domina a matemática, ou o aristotélico-ptolomaico, Simplicio não possuía domínio algum a respeito do assunto, logo, não compreendia o mundo de maneira adequada. Como uma segunda interpretação, pode-se ter que o objetivo de Galileu não era apenas mostrar a importância da linguagem matemática, mas também que ele estava disposto a ensinar essa linguagem, por ele vista como essencial; por este motivo, mais adiante

¹⁴ A tridimensionalidade do mundo e o papel da matemática na investigação da natureza – Referência do sumário analítico do tradutor.

¹⁵ Nota feita pelo tradutor Pablo Mariconda; esse trecho está entre barras, acrescentadas pelo próprio Galileu ao exemplar da edição original, que se encontra na biblioteca do Seminário de Pádua.

neste mesmo diálogo o autor explica detalhadamente o que seu colega de diálogo não estava conseguindo compreender.

Por fim, no último tema¹⁶ abordado em sua primeira jornada, Galileu, pelo seu personagem Salviati, explicita sua concepção referente à relação do homem e Deus, pois contrariamente aos que o condenaram, ele acreditava em Deus, e quanto mais ele compreendesse o mundo em que vive, mais ele compreenderia a Deus e suas obras, tendo como o melhor caminho a matemática:

Salviati:

[...] quando considero quantas e que coisas maravilhosas têm os homens entendido, investigado e operado, ainda mais claramente conheço e entendo que a mente humana é obra de Deus e das mais excelentes. (GALILEU, 2015, p. 187).

Na perspectiva de Galileu, a mente humana seria a única capaz de compreender o mundo: é por este motivo eminente que ele aponta ser umas das obras mais excelentes de Deus. Foi devido a esta obra divina que o mesmo conseguiu aperfeiçoar sua luneta, tendo como maior e principal consequência uma maneira inédita de estudar astronomia.

2.3.2. Segunda jornada: O movimento diurno da Terra

No primeiro momento da segunda jornada, Sagredo faz um breve resumo da primeira jornada, deixando bem evidentes as duas opiniões de Simplicio e Salviati mencionadas, que são respectivamente a dicotomia aristotélica entre o céu e a Terra, ou seja, a visão de universo heterogêneo; e a diferença entre a Terra e os outros corpos celestes, a visão do universo homogêneo. Após esta síntese, Sagredo conclui que a segunda opinião era a mais verossímil:

Sagredo:

[...] Fizeram-se por último muitos paralelos particulares entre essa Terra e a Lua, e mais com a Lua que com o outro planeta, talvez por termos nós daquela maior e mais sensível notícia, devido ao seu menor afastamento. E tendo finalmente concluído que esta segunda opinião era mais verossímil que a outra. [...] (GALILEU, 2015, p. 189).

Sagredo foi o personagem criado por Galileu para representar Corpénico, buscando defender e concordar com as explicitações e pensamentos de Salviati (personagem que representava o próprio Galileu).

Em um segundo momento, Salviati vai falar sobre o princípio da relatividade do movimento da Terra, sendo um dos sete argumentos em favor da rotação diurna da Terra¹⁷. Galileu afirma através de seu personagem:

¹⁶ O intelecto humano e o intelecto divino – Referência do sumário analítico de Pablo Mariconda.

¹⁷ Referência do sumário analítico.

Salviati:

(...) Ora, se, para alcançar o mesmo efeito *ad unguem*¹⁸, tanto faz se somente a Terra se mova, ficando parado todo o restante do universo, que se, ficando parada somente a Terra, todo o universo se mova com um mesmo movimento, quem quiserá acreditar que a natureza tenha escolhido fazer mover um número imenso de corpos enormes, e com uma velocidade inestimável, para obter aquilo que com o movimento insignificante de um só em torno do seu próprio centro poderia obter. (GALILEU, 2015, p. 199).

Com o trecho acima, o autor faz sua primeira comparação entre o sistema de Copérnico e o sistema Ptolomaico, de modo que seu objetivo é mostrar ao leitor e a Simplicio que o primeiro sistema é mais plausível, pois não tem sentido a natureza fazer com muitas coisas aquilo que ela pode fazer com poucas.

Vejamos um trecho do diálogo em que fica evidente a sua defesa¹⁹ do heliocentrismo, defendendo que aqueles que seguem a linha de pensamento copernicana são estudiosos, não ignorantes, diferentemente daqueles que seguem as ideias aristotélicas e ptolomaicas. O autor resguarda esse novo sistema e justifica sua defesa evidenciando que foram feitas observações e experiências que confirmam tal teoria:

Salviati:

[...] Mas vós escutareis seguramente outras novidades, e vereis esses seguidores do novo sistema formular contra si mesmos observações, experiências e razões com força muito maior que aquelas formuladas por Aristóteles e Ptolomeu, ou por outros opositores das mesmas conclusões e, desse modo, podereis certificar-vos de que não foi por ignorância ou inexperiência que foram levados a seguir tal opinião. (GALILEU, 2015, p. 210).

Em sua fala, Salviati (Galileu) apresenta que, após ele apresentar com segurança e prova as novidades que descobriu, e possibilitando a qualquer indivíduo verificar a veracidade de tais afirmações, quem se manter apoiador das antigas conclusões não será por motivo de ignorância ou falta de experiência.

2.3.3. Terceira jornada: O movimento anual da Terra

O início da terceira jornada é marcado por um diálogo conclusivo entre Salviati e Sagredo, em relação ao que foi debatido na jornada anterior. Ambos chegam à conclusão que os seguidores de Aristóteles e Ptolomeu já haviam preestabelecido que a Terra era o centro do Universo, e através dessa conclusão eles elaboram premissas que justifiquem tal afirmação; Galileu faz o caminho oposto: ele apresenta todas as premissas (que são frutos de suas observações) para depois concluir que a teoria do heliocentrismo era a que mais fazia sentido

¹⁸ Ou seja, “de modo preciso” ou “muito precisamente”. – Notas do tradutor.

¹⁹ O argumento da “conversão” ou de como os copernicanos conhecem razões contrárias à sua teoria e os aristotélicos desconhecem as razões copernicanas. – Sumário analítico.

diante dos fatos. A partir disso, eles ficam em busca de premissas que justifiquem tal conclusão. A respeito disso, Sagredo conclui:

Sagredo:

Esses, portanto, não deduzem a conclusão das premissas, nem a estabelecem a partir das razões, mas acomodam, ou melhor dizendo, desacomodam e subvertem as premissas e as razões às suas conclusões preestabelecidas e obstinadas. Não é, portanto, prudente provocar semelhantes indivíduos, ainda mais porque sua prática não é somente repugnante, mas também perigosa²⁰. (GALILEU, 2015, p. 356).

Os demais momentos são marcados por um extenso diálogo extremamente técnico, que contém exemplificações e demonstrações mais precisas e semelhantes àqueles presentes no *Mensageiro das estrelas*, a diferença estando na atualização de dados que a obra o *Diálogo dos dois máximos sistemas do mundo* obteve, pois se trata de uma obra escrita em 1610 e a outra em 1632, respectivamente.

2.3.4. Quarta jornada: A teoria do fluxo e refluxo do Mar

Essa é a jornada mais conhecida e polêmica, pois Galileu apresenta sua teoria das marés, teoria essa que acredita ser a prova conclusiva e necessária sobre a verdade do sistema copernicano, uma vez que as marés seriam o resultado do duplo movimento da Terra, de rotação e translação.

Para exemplificar melhor sua primeira conclusão geral sobre não poder acontecer o fluxo e refluxo do mar com a Terra imóvel, Salviati diz:

Salviati:

[...] Somente o elemento da água, por ser vastíssimo e não estar unido e ligado ao globo terrestre, como são todas as suas outras partes sólidas, mas que, por sua fluidez, fica em parte *sui juris*²¹ e livre, permanece, entre as coisas sublunares, como a única na qual podemos reconhecer algum vestígio e indício do que faz a Terra quanto ao movimento e repouso. (GALILEU, 2015, p. 493).

Salviati reconhece que o fluxo e o refluxo do mar é apenas um dos exemplos diante da vastidão dos mares e da velocidade do movimento do globo terrestre:

Salviati:

[...] Tampouco é necessário que seja muito grande para produzir o efeito que se vê na variação das grandezas dos fluxos e refluxos, porque não somente tais variações, mas os mesmos fluxos e refluxos são uma coisa pequena com respeito à grandeza dos sujeitos nos quais se produzem, embora pareçam coisas grandes com respeito a nós e a nossa pequenez. (GALILEU, 2015, p. 531).

²⁰ Perigosa, pois ele refere-se à Santa Inquisição, que tem a ideologia citada por Sagredo, e ele tinha a pretensão de explicar a Salviati que o mais seguro a se fazer era manter o diálogo amistoso com seu conhecido Simplicio; não seria prudente explicar mais o diálogo.

²¹ Ou seja, que determina sua própria lei; ou no contexto, sob sua própria jurisdição. – Nota do tradutor Pablo Mariconda.

A reflexão dessa quarta jornada é que Salviati fez um caminho diante desses quatro dias²² de diálogo, evidenciando exemplos criados e testados por ele, com tudo aquilo que poderia ser sólido e ligado de alguma maneira à Terra, assim abrindo possibilidade para que Simplicio conseguisse rebater as teorias inovadoras com as suas justificativas. Por essa razão, acredito que ele tenha deixado a água, a parte independente do mundo, por último, depois de já ter esgotado e escutado todos os argumentos do aristotélico-ptolomaico.

Diante da análise feita nessa obra, é de certa forma esclarecido que Galileu não tinha intenção de ditar sua teoria de mundo e sim explicar e pontuar que isso seria apenas o início de uma nova ciência, a qual ele está determinado a concluir. Como sabemos, no entanto, infelizmente ele foi privado de compartilhar mais detalhadamente e explorar melhor aquilo que iniciou; feita essa ressalva histórica, contudo, deu um embasamento teórico e prático para toda a Física Moderna.

²² Pois cada jornada representa um dia de diálogo entre os personagens de Galileu.

3. A EPISTEMOLOGIA DE WERNER HEISENBERG

Heisenberg elaborou uma teoria determinante na física atômica e nuclear; ele foi um dos físicos modernos que revolucionou a física atômica, dando largada à mecânica quântica, e ganhou o Prêmio Nobel de física em 1932. Ele teve como um dos objetivos: fazer a ponte entre a filosofia e a ciência, mostrar que elas caminham juntas; o diferencial desse revolucionário na fundamentação do seu projeto na física atômica e nuclear é que posteriormente, cerca de 25 anos depois de estudos e elaboração de sua teoria, ele fundamenta filosoficamente suas próprias teses sobre a mecânica quântica. Apesar de suas concepções filosóficas não serem passíveis de uma sistematização completa, a relação que Heisenberg estabeleceu entre a filosofia grega e os problemas da teoria dos quanta acabou por resultar em uma interpretação da realidade física na qual é predominante um platonismo e um incipiente estruturalismo matemático, conforme explicitaremos na seção 2.1.1. Para ele, a filosofia forneceria instrumentos conceituais mais sofisticados que auxiliariam a melhor compreensão do cientista em seu trabalho e o seu objeto de estudo, aperfeiçoando o próprio desenvolvimento científico.

De todas as suas obras, a mais adequada para realizar nossos objetivos neste trabalho é *Physics and philosophy*, publicada em 1958. No livro, ele analisa a teoria quântica e outras teorias que dizem respeito às suas implicações filosóficas e a algumas de suas possíveis consequências sociais²³.

A tese mais nova e importante deste livro talvez seja a afirmação feita pelo autor de que a mecânica quântica reviveu o conceito aristotélico de potencialidade²⁴ na física moderna. Heisenberg não tinha apenas embasamento em Newton e em Galileu; ele também tinha semelhanças com o pensamento de Albert Einstein, como por exemplo a ideia de que para se compreender o objeto do conhecimento científico devemos partir de suposições teóricas a seu respeito. A teoria quântica reintroduziu o conceito de potencialidade na física e ambos tinham isso em mente. Mesmo que Heisenberg tenha embasado suas teses nesses grandes físicos, há uma diferença crucial entre a mecânica quântica e as mecânicas relativística e clássica, de Einstein e de Newton. Em ambas, podemos especificar o estado de um sistema físico em

²³ Conforme o capítulo 11: o papel da física moderna na evolução atual do pensamento humano, da obra supramencionada.

²⁴ O conceito aristotélico de potencialidade é aquilo que em determinado momento não é, mas pode vir a ser.

qualquer instante de tempo; mas a diferença está no fato de que a teoria quântica introduz o conceito de probabilidade em sua definição de estado²⁵.

Na modernidade, período em que Heisenberg desenvolveu suas teorias, foi um momento menos conturbado para falar sobre ciência, comparado ao momento em que Galileu Galilei viveu, momento este que foi uma de suas fontes de estudo. Heisenberg sentiu a necessidade de abdicar do materialismo de Demócrito e retomar as ideias de simetria da filosofia platônica.

Assim como Galileu e Copérnico discordavam das teorias científicas de Aristóteles²⁶, Heisenberg também discordava das teorias aristotélicas porque o pensamento aristotélico foi utilizado como base para a teoria ptolomaica, principalmente por estar em uma época onde a ciência aristotélica já havia sido refutada²⁷.

Em nossa pesquisa, serão apresentados os argumentos coerentes e consistentes que Heisenberg apresentou e provou para o indeterminismo da mecânica quântica. Acreditamos que a coragem exigida para se afastar do determinismo sem qualificações da física clássica moderna pode ser devidamente apreciada, ressaltando que um cientista renomado, ousado e criador como Einstein recuou.

3.1. Física e Filosofia

A obra *Física e Filosofia*²⁸ de Werner Heisenberg, tem como seu maior objetivo revelar as relações entre a física atômica e problemas filosóficos gerais; a linguagem e metodologia adotadas no livro não são puramente técnicas, e sim adaptadas para que até mesmo leigos em mecânica quântica consigam compreender as correlações mais importantes feitas pelo autor. Porém, existem partes para as quais necessitamos inevitavelmente de um conhecimento prévio da área para entender as demais relações. Em nossa análise, conseguimos identificar que um dos capítulos mais complexos é o capítulo 8 (críticas e contrapropostas à interpretação de Copenhague²⁹ da teoria quântica, porque nele tem mais detalhes e termos técnicos do que nos outros capítulos.)

²⁵ Para a análise de alguns conceitos da mecânica quântica, tais como: sistema físico, estado, probabilidade, sugerimos a tese da Profa. Dra. Eleonora Enoque: *Os fundamentos físicos e filosóficos da mecânica quântica*.

²⁶ Galileu e Copérnico defendiam a teoria do heliocentrismo - teoria que apresenta o sol como centro do Universo, enquanto Ptolomeu e Aristóteles defendiam o geocentrismo - teoria que apresenta a Terra como centro do Universo.

²⁷ Comparação entre os modelos de Aristóteles e Galileu.

²⁸ Original de 1958 e tradução de 1987.

²⁹ A interpretação de Copenhague sugere que sistemas físicos não têm propriedades definidas antes de serem medidos, e que o ato de medir afeta o sistema, fazendo com que o conjunto de probabilidades se reduza a apenas um dos valores possíveis imediatamente após a medição.

A obra que estamos investigando e analisando nessa pesquisa atribui à filosofia o papel de protagonista, mas conjuntamente com a ciência, mostrando que uma precisa da outra para ter um melhor desenvolvimento. Em relação a essa ligação, o professor F.S. Northrop, da Universidade de Yale, afirma:

As teorias da física não são uma mera descrição de fatos experimentais e nem, tampouco, algo dedutível de uma tal descrição; ao invés disso, como enfatizou Einstein, o físico só chega à formulação de sua teoria por via especulativa. (NORTHROP, in HEISENBERG, 1987, p. 11).

Em seus escritos, Heisenberg explica que a via especulativa³⁰ é essencial para a formulação de uma teoria física, e por meio da filosofia compreende a natureza do mundo e expressa os resultados da nova ciência.

3.1.1. As bases da teoria quântica³¹

Com objetivo de explicar o início da teoria quântica e das raízes da ciência atômica, Heisenberg introduziu sua explicação da estrutura do átomo, com o objetivo de chegar em sua própria definição de átomo. O surgimento da ideia de um átomo veio com Demócrito e Leucipo na filosofia clássica grega, quando eles estavam apresentando suas teorias em relação à causa primeira, ou seja, uma doxografia de entendimento do mundo de maneira lógica, sem apelo a mitos ou misticismos. Para eles, o átomo seria a menor partícula possível e as coisas do mundo só poderiam ter forma, se houvesse um agregado de átomos, e assim segundo eles o mundo foi sendo construído.

O percurso de Heisenberg, após conceitualizar o início do termo átomo, foi retomando toda a filosofia pré-socrática de maneira cronológica; em meio de sua análise a respeito das causas primeiras, ele relaciona a visão pré-socrática à da física moderna:

Pode ser interessante observar-se, agora, que o problema – se a substância primeira pode, ou não, ser uma entre as substâncias conhecidas ou deve, por necessidade, ser algo essencialmente diferente – ocorre de uma maneira um tanto diversa na parte mais moderna da Física atômica. Os físicos, nos dias de hoje, tentam encontrar, para a matéria, uma lei fundamental de movimento da qual se possa derivar matematicamente todas as partículas elementares e suas propriedades. (HEISENBERG, 1987, p. 50)

³⁰ Para Heisenberg, tratavam-se de conjecturas sem fundamentos em fatos concretos. Por isso, ele se utiliza das teorias filosóficas; evidenciando que, mesmo sem conhecer uma partícula elementar, os filósofos já falaram sobre ela, assim como outros filósofos que não tratavam diretamente da partícula tinham teorias que facilmente poderiam ser relacionadas à mecânica quântica.

³¹ Baseado no capítulo IV do livro *Física e Filosofia* de Heisenberg, 1958.

Enquanto na Filosofia pré-socrática havia uma necessidade de ir em busca da origem e causas de todas as coisas que constituíam o mundo, na física moderna a preocupação era o com o comportamento das partículas que formam as coisas, utilizado por Heisenberg no exemplo: o movimento das ondas³² protônicas³³ e mesônicas³⁴.

Para o supramencionado físico, a maneira que os pré-socráticos buscavam uma causa natural tinha sentido, pois o mundo consiste em uma variedade infinita de coisas; porém, para conseguirmos identificar essa causa primeira, necessitamos necessariamente de uma metodologia, uma ordem, ou seja, reconhecer o que seria igual, sendo assim, portanto, a forma de unidade. Mas, quando vão em busca de descobrir esse princípio fundamental, sempre vem a dificuldade dele se derivar a infinita variedade das coisas. Com isso, Heisenberg parte para o pensamento de Heráclito de Éfeso, segundo o qual acreditamos na existência ontológica da mudança como princípio do ser, mudança essa que necessitava de uma causa material, causa esta à qual foi atribuída o elemento fogo, por ser matéria e força motriz. Heisenberg associa a teoria de Heráclito à física moderna:

Se substituirmos a palavra “fogo” por “energia”, poderemos quase repetir suas afirmações, palavra por palavra, segundo nosso ponto de vista moderno. A energia é, de fato, a substância da qual são feitas todas as partículas elementares, átomos e, portanto, todas as coisas, assim como é também aquilo que move. A energia é uma substância porque sua quantidade total não muda, e partículas elementares podem de fato ser formadas dessa substância, conforme se observa em muitas experiências sobre a criação dessas partículas. A energia pode ser transmutada em movimento, calor, luz e em tensão. Ela pode ser chamada a causa fundamental de toda mudança no mundo. Essa comparação, entre filosofia grega e as ideias da ciência moderna, será discutida posteriormente. (HEISENBERG, 1987, p. 52).

Em sua escrita, fica cada vez mais evidente que Heisenberg tem como objetivo fazer a ponte entre a filosofia e a construção da mecânica quântica; ele aplica o pensamento dos filósofos a suas teorias, assim conseguindo de maneira mais didática explicar a origem dessa física moderna apresentada por ele; sem a filosofia e as especulações feitas por ela, ele não conseguiria entender que a ciência se faz também por meio de especulações e não apenas por experiências empíricas. Diferentemente do que muitos físicos acreditavam, Heisenberg em sua obra tem conseguido mostrar que para fundamentar a revolução científica vivida e construída por ele é necessário voltar ao princípio, que para ele não é necessariamente uma causa primeira material, e sim a filosofia.

³² Na mecânica quântica, as funções de onda representam nosso conhecimento e o comportamento das partículas.

³³ Sendo o próton uma partícula que compõe o núcleo atômico, compreender sua natureza ondulatória poderia levar a reduzir a física aos "building blocks" ou partículas fundamentais.

³⁴ Sendo o méson um Hadron, responsável por intermediar a interação da força nuclear forte, estudar sua natureza ondulatória poderia levar a um melhor entendimento da "substância" das coisas, seja ela onda, matéria ou as duas.

De alguma maneira, Heisenberg utiliza de embasamento a filosofia para explicar parte da sua teoria na física moderna:

A antítese entre o Ser e o Não-Ser, na filosofia de Parmênides, é aqui secularizada na antítese entre o “Cheio e o “Vazio”. Ser não é somente o Um, que pode repetir-se um número infinito de vezes. Ele é agora o átomo, a menor unidade indivisível da matéria. O átomo é eterno e indestrutível, mas tem um tamanho finito. Movimentos tornam-se possíveis através do espaço vazio entre os átomos. Assim, pela primeira vez na história, enuncia-se a ideia da existência de partículas extremamente diminutas e indivisíveis (nós as chamaríamos de “partículas elementares”), que seriam os “tijolos” da matéria. (HEISENBERG, 1987, p. 53-54).

Com essa relação, Heisenberg ignora o argumento lógico de Parmênides contra o “não-ser”, porque, do ponto de vista da Metafísica, se algo não existe, ele não pode ser pensado e nem falado; assim, ele deixa de ser. Mas Heisenberg se utiliza do “não-ser” como um meio de explicar os movimentos dos átomos.

É também feito um comparativo por Heisenberg em relação à geometria aplicada na resposta da física quântica ao problema do vazio e a fundamentação platônica da teoria dos sólidos regulares, descoberta pelos pitagóricos:

Quanto à questão de se os sólidos regulares, que representam os quatro elementos, possam ser mesmo comparados com os átomos, Platão deixa bem claro que tais sólidos não são indivisíveis. Platão os constrói a partir de dois triângulos básicos, o equilátero e o isósceles, esses juntados a um dos outros para se obter a superfície desses sólidos. Portanto, os elementos podem (pelo menos parcialmente) ser transformados um nos outros. Ademais, os sólidos regulares podem ser decompostos em uma coleção de triângulos básicos, e deles novos sólidos poderão então ser construídos. (HEISENBERG, 1987, p. 55).

Aquilo que Platão chamava de triângulos era visto pela física quântica como átomo, triângulos esses que poderiam se transformar em outros elementos ou cujo elemento poderia se separar, assim restando apenas triângulos. Logo, a geometria pode produzir a matéria e a matéria pode produzir a geometria; desta forma, a resposta dada pela filosofia platônica se assemelha à resposta da física moderna.

Por mais que a filosofia clássica e a física moderna tenham suas divergências, a explicação de mundo que os filósofos antigos apresentavam servira de guia para a construção da moderna visão de matéria:

A partícula elementar na física moderna, portanto, é ainda uma entidade bem mais abstrata que o átomo dos antigos gregos e é, por essa mesmíssima qualidade, guia mais consistente na busca da explicação do comportamento da matéria. (HEISENBERG, 1987, p. 57).

Desde a física clássica com Galileu Galilei e Isaac Newton, foram realizados estudos detalhados da natureza, através de experiências isoladas. Galileu estudou a natureza do céu a

partir da experiência que o telescópio lhe proporcionava, isolando o seu objeto de estudo (o céu) para refinar seus resultados, enquanto Newton, para criar as leis da física, isolou seus estudos na dinâmica dos movimentos dos corpos; desde então, a física segue isolando seus objetos de estudos e trabalhando os detalhes de determinado objeto, chegando a resultados mais precisos do que aqueles obtidos pela filosofia anterior.

Heisenberg apresenta sua teoria em relação ao que ele acredita ser a equação final do movimento; em relação à matéria, resultará uma equação de ondas:

A equação final de movimento, para a matéria, será provavelmente uma equação de ondas, não linear e quantizada – para operadores associados a campos de ondas – que simplesmente representará a matéria e, não qualquer tipo específico de onda ou partícula. Tal equação de ondas será, provavelmente, equivalente a sistemas um tanto complicados de equações integrais, cuja solução revelará seus “autovalores” e “autofunções”, na nomenclatura dos físicos. (HEISENBERG, 1987, p. 58).

A teoria desses operadores relacionados a campos de ondas e o sistema de equações integrais foi melhor desenvolvida com a teoria ondulatória e corpuscular da luz com Louis De Broglie, que iniciou seus estudos na construção de sua tese em 1923.

3.1.2 Linguagem e realidade na física moderna³⁵

A maneira com que a sociedade científica estava lidando com a teoria da relatividade alcançou um grande nível de censura em plena modernidade, fazendo com que cientistas buscassem defender seu ponto de vista através de métodos políticos. Essa censura ao desenvolvimento da física atual esboçava o desespero dos demais cientistas com o medo do fracasso da física. Ao mesmo tempo, essa reação traz outra interpretação, que provavelmente ainda não encontrara a linguagem correta. Em sua obra, Heisenberg fala sobre essa outra interpretação:

Ao mesmo tempo, essa reação significa, provavelmente, que ainda não se encontrara a linguagem correta que expressasse a nova situação e os pronunciamentos incorretos feitos, aqui e ali, no entusiasmo que se seguiu às novas descobertas, deram lugar a todo tipo de mal-entendidos. Trata-se aqui de um problema realmente fundamental: o progresso da técnica experimental de nossos tempos coloca, ao alcance da ciência, novos aspectos da Natureza que não podem ser descritos em termos de conceitos da vida diária. (HEISENBERG, 1958, p. 127).

A problemática apresentada por Heisenberg nesse capítulo consiste nas questões da interpretação e da necessidade de uma linguagem correta, para que todos conseguissem entender aquilo que estava sendo descoberto. A busca de uma solução para como a sociedade científica estava lidando com a nova ciência e como essa nova ciência, baseada na teoria da

³⁵ Baseado no capítulo X do livro *Física e Filosofia* de Heisenberg, 1987.

relatividade, estava sendo passada para os leigos em física. Nesse meio científico, é bastante comum haver ideias novas, debates, polêmicas ao criticar teorias e pensamentos ultrapassados; porém, a linguagem utilizada é a matemática, linguagem essa que comumente é compreendida apenas pelos estudiosos e pesquisadores da área. O supramencionado físico acredita que a simplicidade da linguagem vai depender do grau de conhecimento do cientista:

Mas mesmo para o físico, a capacidade de poder exibir uma exposição em linguagem simples constituir-se-á em um critério do grau de entendimento a que ele chegou. Nesse contexto, as seguintes perguntas são pertinentes: até que ponto uma tal exposição é possível? Pode-se falar do próprio átomo? Aqui defrontamo-nos com um problema de linguagem e, ao mesmo, tempo de física e, assim, é nosso mister apresentar algumas informações a respeito da linguagem em geral e sobre a linguagem científica em particular. (HEISENBERG, 1987, p. 127-128).

Os questionamentos apresentados por Heisenberg nos fazem perceber que um dos maiores problemas da física é a linguagem: na forma de passar o que foi descoberto de forma compreensível ao senso comum e como seria expresso em palavras aquilo que estava sendo visto nos experimentos, como se definiria uma partícula, um átomo para leigos e acadêmicos. A linguagem é composta por inúmeros conceitos, esses que costumam ser convenientes para a descrição dos fatos cotidianos; porém, esses conceitos foram adquiridos sem uma grande análise crítica e sim pelo uso constante da linguagem; assim, ele exemplifica:

[...] Um exemplo mais sério da dificuldade que subsiste na vinculação entre as palavras e conceitos é o fato de que as palavras “vermelho” e “verde” são empregadas mesmo por daltônicos embora, para eles, o alcance dessas palavras seja bastante diverso do nosso. (HEISENBERG, 1987, p. 128)

Os significados das palavras apenas não são suficientes para compreensão de algum texto ou frase sem que a ambiguidade da interpretação esteja presente; por isso foi necessário criar a definição dos conceitos, assim possibilitando o melhor entendimento, porque a definição é a delimitação do domínio de aplicabilidade das palavras utilizadas, com isso permitindo que compreendêssemos que o daltonismo é uma condição na qual o indivíduo apresenta dificuldade na identificação de cores, como vermelho e verde; logo, o que é normalmente conceitualizado como cor vermelha para um daltônico não tem a mesma aplicabilidade.

Para fortalecer seu argumento referente à aplicabilidade de conceitos e significados, Heisenberg retorna à filosofia clássica:

O problema dos conceitos na linguagem comum foi um tema maior na filosofia grega, desde Sócrates, cuja vida – a acreditar na representação artística que Platão oferece do seu mestre, nos *Diálogos* – foi dedicada à discussão constante acerca do conteúdo dos conceitos na linguagem comum e das limitações nos modos de expressão. (HEISENBERG, 1987, p. 128).

3.1.3 A teoria dos quanta sob a perspectiva de Russell

O filósofo Bertrand Russell, em seu livro *Análise da Matéria*, mais especificamente no capítulo “A Estrutura do mundo físico”, afirma:

[...] Se pudéssemos aceitar a teoria dos quanta de luz, suporíamos haver algum processo causal no mundo físico, tal que a ação durante certo período seja h (constante de Planck). [...] relacionada à teoria dos quanta, a continuidade não é a essência da identidade material; a essência é a inferibilidade de um grupo de fenômenos em certo instante, a partir de um grupo para outro, quando ambos os grupos estão dispostos em torno do centro. (RUSSELL, 1978, p. 311 e p. 316)

Na citação acima, quando Russell fala de um grupo de fenômenos dispostos em torno do centro, ele quer dizer que “se Heisenberg, estiver certo, não podemos identificar um elétron em um certo instante com um elétron em outro. Isto seria uma dificuldade se o elétron fosse concebido como substância, mas para nós ele é apenas uma limitação empírica da concepção de uma linha causal”. (RUSSELL, 1978, p. 316, nota de rodapé).

Russell apresenta sua explicação através de uma perspectiva empírica, enaltecendo a coerência do princípio da incerteza formulado pelo Heisenberg.

A problemática da linguagem existe desde a tentativa da primeira explicação da existência do mundo até a explicação simples de fatos cotidianos; é por isso que Heisenberg acredita que o mundo da ciência não poderia escapar dessa questão e dedica um capítulo de seu livro a isso. A ciência está obrigatoriamente refém da linguagem, pois para ela evoluir é necessário a comunicação e conhecimento de antigas e novas teorias; por este motivo ele afirma:

[...] a ciência esta forçosamente baseada na linguagem como seu único meio de comunicação; nesse caso, onde a ausência de ambiguidade torna-se crucial, os modos lógicos encontram seu verdadeiro papel. (HEISENBERG, 1987, p. 130).

Comunicação necessária não apenas no meio científico, porque as descobertas feitas nesse meio precisavam ser passadas para a sociedade, de maneira simples e direta, não permitindo a interpretação ambígua das descobertas científicas e da evolução física e tecnológica que estava acontecendo.

O que mais intrigava os físicos era a inacessibilidade da linguagem puramente matemática e a imprevisibilidade da linguagem comum, na expansão de vocabulário, mudança nos conceitos e na aplicabilidade nas palavras; para eles era necessária uma linguagem precisa, que pudesse ser adaptada à linguagem comum e ao mesmo tempo precisava ser algo que eles entendessem sem nenhuma ambiguidade e alteração; a respeito disso, Heisenberg afirma:

Mesmo assim, no processo de evolução do conhecimento científico, ocorre em paralelo uma expansão correspondente da terminologia que a linguagem ostenta. Novos termos são criados e os mais antigos ganham um maior domínio de aplicabilidade, ou então tomam significados distintos do uso comum. Termos como “energia”, “eletricidade” e “entropia” são exemplos bem conhecidos. É dessa maneira que se desenvolveu uma linguagem científica, a qual poderá ser encarada como uma *extensão natural* da linguagem comum, uma adaptação aos novos campos do conhecimento. (HEISENBERG, 1987, p. 131).

Antes era utilizada a linguagem puramente matemática, a qual Heisenberg acreditava não ser mais suficiente para a nova ciência; a linguagem simples seria a ideal para poder explicar aos leigos no assunto; porém, para conseguir escrever sobre a nova ciência com ela seria necessário ter um entendimento muito avançado sobre aquilo que estava sendo escrito, tendo além do mais de lidar com a imprevisibilidade da expansão de conceitos; logo, ele estava em busca de uma nova linguagem para o surgimento da nova ciência, pois sabia que a linguagem ideal seria necessária para a comunicação; com isso, o supramencionado físico conclui:

[...] Se, todavia, quisermos falar alguma coisa acerca das próprias partículas atômicas, deveremos utilizar o esquema matemático da teoria quântica (o único suplemento da linguagem natural) ou, então, combiná-lo com uma linguagem que faça uso da lógica modificada ou, mesmo, que não utilize nenhuma lógica bem definida. Nas experimentações com fenômenos atômicos, temos que lidar com coisas e fatos, com fenômenos que são tão reais quanto aqueles da vida cotidiana. Mas os próprios átomos e partículas elementares não exibem o mesmo tipo de realidade: eles dão lugar a um universo de potencialidades ou possibilidades, ao invés de um mundo de coisas e fatos. (HEISENBERG, 1987, p. 140).

A linguagem lógico-matemática parece ser a mais eficaz para atender às necessidades de registros e comunicação da nova ciência proposta por Werner Heisenberg, mesmo que nas experiências atômicas sejam necessárias lidar com fenômenos semelhantes àqueles do cotidiano; jamais, no entanto, poderão ser lidas com uma linguagem simples, pois a nova ciência é a revolução da modernidade, desprendendo-se de tudo aquilo que era conhecido para algo totalmente novo e único: a mecânica quântica.

3.1.4 O papel da física moderna na evolução atual do pensamento humano

É incontestável o papel da física na evolução do mundo tecnológico e na expansão do pensamento humano, destaque esse que resultou no surgimento de indústrias, assim como proporcionou o armazenamento de energia no carvão, uma maneira inovadora de unir a natureza com a ciência. A criação de máquinas possibilitou uma maior produção, essa de que apenas o homem não era capaz e quanto mais a ciência evoluía, a sociedade evoluiu em conjunto.

Contudo, existe um outro lado, de acordo com Heisenberg não tão positivo, que o faz questionar se era de fato um progresso ou uma involução no meio científico. O processo expansionista da civilização tecnológica transformou fundamentalmente as condições de vida do planeta, as armas nucleares escaparam de qualquer tipo de controle humano; em referência a esse desastroso inconveniente, Heisenberg afirma:

[...] Por um lado, essa sorte de desenvolvimento demonstrou, muito claramente, que as mudanças, ocorridas em consequência da aliança entre ciência e técnica, não podem somente ser encarada de um ponto de vista otimista, o que justifica – pelo menos em parte – as posições assumidas por aqueles que, reiteradamente, levantaram seu brado de alerta contra os perigos dessa transformação radical de nossas condições naturais de vida. Por outro lado, mesmo as nações e indivíduos que procuraram se afastar desses perigos viram-se compelidos a manter sob estreita observação esses novos desenvolvimentos pois, obviamente, o predomínio político – em sua acepção militar – tem por base a posse de armas nucleares. Bem, é claro que, entre as tarefas desse livro, não se pode incluir uma discussão pormenorizada das implicações políticas da física nuclear. Mas, mesmo assim, podemos dizer umas poucas palavras acerca desses problemas, pois eles são os primeiros a ser evocados no espírito dos leigos quando se menciona física nuclear. (HEISENBERG, 1987, p. 143).

A preocupação que Heisenberg, apresentada em sua fala, relembra todo o contexto histórico da segunda guerra mundial, tendo como uma das principais causas o expansionismo da Alemanha nazista, a partir da invasão da Polônia realizada em 1939,; porém, seu marco decisivo foram as atrocidades acontecidas pelo holocausto e pelo lançamento de bombas atômicas, ou seja, sua preocupação era de como seriam limitados esses avanços com armamentos nucleares e na possibilidade de uma outra guerra, após a mudança na estrutura política do mundo.

Com o grande marco da segunda guerra mundial e tendo como consequência a mudança na estrutura política, surgiram problemas inusitados no mundo da ciência:

A influência política da ciência tornou-se consideravelmente mais forte do que jamais fora antes da segunda guerra mundial, e esse fato fez com que pesasse sobre o cientista, em particular o físico nuclear, uma dupla responsabilidade. Ele poderá assumir ativamente uma posição administrativa em seu país, em consequência da importância social da ciência: ele terá eventualmente que assumir responsabilidades frente a decisões da maior importância que ultrapassam de muito as de seu pequeno círculo universitário, ao qual se acostumara. (HEISENBERG, 1987, p. 144).

Heisenberg passa a apresentar uma nova perspectiva do papel do físico na sociedade; diferentemente da outra seção do presente trabalho, a problemática do físico não está agora focada na linguagem e sim no dilema ético e político;: o meio acadêmico passou a andar ao lado do meio político; não se tratava mais apenas de fazer ciência, e sim de como usar a ciência do modo mais adequado. A partir de outro ponto de vista, o cientista possui a liberdade de não se envolver em dilemas políticos, apenas informar ao governo da dimensão das armas termonucleares; porém, sabe mais do que ninguém os danos que uma decisão

errada pode causar à sociedade, então, ele abstendo-se de decisões e deixando um leigo no assunto assumir a responsabilidade da escolha, e se o mesmo agisse de maneira precipitada, o físico entraria em um dilema ético de que ele poderia ter ajudado na decisão mais adequada para determinada situação.

Após a segunda guerra, Heisenberg passou a questionar o motivo que o investimento maior feito na física estava sendo na área de física nuclear:

A grande importância que muitos governos dão à pesquisa em física nuclear, na atualidade, e o fato de que o nível do trabalho científico mostra muita disparidade, entre diferentes países, favorece a colaboração internacional desse domínio. Jovens cientistas, de muitos países, poderiam ter a possibilidade de se reunir em instituições de pesquisa, onde se fizesse presente a atividade vigorosa no campo da física moderna, o trabalho comum – na solução de problemas complexos – promovendo mútuo entendimento. (HEISENBERG, 1987, p. 145).

É notório que a preocupação dos países não estava em resolver dilemas físicos ou avançar em estudos acadêmicos ou de tecnologia, e sim em ter mecanismos de defesa e de ataque diante de uma possível futura guerra. Um dos pontos ressaltados por Heisenberg foi a falta de estímulo a jovens pesquisadores, que infelizmente se faz presente até os dias atuais (2024); o investimento no incentivo a pesquisa não deve ser em departamentos isolados, não só aqueles que o governo ache que é de maior proveito para o país, e sim ser feito de maneira geral, propiciando possibilidades conspícuas para os acadêmicos que vão em busca de uma evolução e resolução de teorias, assim possibilitando o desenvolvimento da sociedade.

Um dos maiores revolucionários da física moderna, Heisenberg analisa que suas descobertas quebraram toda a estrutura rígida de conceitos da mecânica clássica, porque acredita que o entendimento das partes essenciais da realidade não seria entendido segundo o esquema da ciência do século XIX:

Essa ruptura ocorreu em dois estágios distintos. O primeiro foi a descoberta feita na teoria da relatividade de que mesmo conceitos fundamentais, como espaço e tempo, poderiam ser modificados e, de fato, tinham mesmo que mudar, à luz das novas experimentações. Essa mudança não dizia respeito aos conceitos, um tanto vagos, de espaço e tempo presentes na linguagem comum; mas se referia, isso sim, a suas formulações exatas na linguagem precisa da mecânica newtoniana que, erroneamente, tinham sido aceitas como finais. O segundo estágio consistiu na discussão a respeito do conceito de matéria, que foi imposta por resultados experimentais acerca da estrutura atômica. A ideia da realidade de matéria foi provavelmente a componente mais forte naquele esquema rígido de conceitos que o século XIX nos legou; e essa ideia tinha, pelo menos, que ser modificada ante as novas evidências experimentais. (HEISENBERG, 1987, p. 149).

No primeiro estágio o autor não faz uma crítica direta às teorias de Newton; a crítica feita por ele é referente ao que foi considerado como uma lei determinante e única, porém, como foi possível acompanhar ao longo desse capítulo, é razoável pensar que Heisenberg está sempre retomando as teorias passadas para apresentar de maneira mais clara as suas teorias e

a razão pela qual elas são consideradas uma revolução na ciência. Assim, ele expõe que em sua teoria conceitos como espaço e tempo não são exatos; é possível ver isso na análise de partículas elementares, não é possível acessá-las diretamente através da experiência imediata ou segundo uma definição exata; porém, pode-se apenas inferir uma interpretação matemática dos estados possíveis do sistema.

Por fim, para Heisenberg a física moderna proporcionou grandes desastres; porém, traz em seu bojo uma esperança:

Chegando agora a uma conclusão: a partir de tudo que dissemos sobre a ciência moderna, talvez possamos afirmar que a física moderna é tão-somente uma parte, mas muito característica, de um processo histórico geral que tende a uma unificação, a um alargamento do nosso mundo presente. Esse processo tenderia, por si só, a diminuir as tensões culturais e políticas que põem em perigo a nossa época. Ele, todavia, é acompanhado por um outro processo que age em sentido oposto. O fato de que as grandes massas populares tornaram-se conscientes desse processo de unificação conduz a uma instigação de todas as forças, nas comunidades culturais existentes, no sentido de assegurar a seus valores tradicionais o maior papel nesse estágio final unitário. (HEISENBERG, 1987, p. 154).

Heisenberg acredita que a física tem relação com todas as coisas e pessoas existentes; por isso ele dedica um capítulo de sua obra para falar da relação que a física quântica tem com a sociedade, os potenciais danos que ela pode oferecer à sociedade e os benefícios que essa evolução pode proporcionar. Ele sugere que tudo descoberto e desenvolvido até sua época deve ser usado única e exclusivamente de maneira a que beneficie a todos, preservando e respeitando os valores culturais de cada comunidade, porque o supramencionado físico acredita que os estudos e descobertas da física moderna serão de conhecimento geral, assim, tendendo a uma unificação e diminuindo as tensões políticas e culturais.

4. IMPLICAÇÕES DAS REVOLUÇÕES CIENTÍFICAS SOB UMA PERSPECTIVA EPISTEMOLÓGICA

Neste último capítulo, apresentaremos a relação entre as epistemologias de Galileu e Heisenberg a partir da obra *L'indagine del mondo fisico*, de Toraldo di Francia. Em seguida, apontaremos algumas observações de Karl Popper a respeito do programa epistemológico de Heisenberg; e, por fim, explicitaremos a nossa reflexão crítica dessas observações apresentadas.

Em 1976, o físico italiano Toraldo di Francia escreveu o livro *L'indagine del mondo fisico*³⁶. A obra trata da epistemologia da ciência e dos princípios da física moderna a partir de uma reflexão crítica e filosófica, e é dividida em 5 capítulos. O capítulo que nos chamou a atenção foi o 4, intitulado “La microfísica”, em particular a 1ª seção denominada “*gli oggetti della fisica*”³⁷, a qual possui uma discussão relevante nos campos da física e da lógica, em especial na sua abordagem sobre a individualidade dos objetos físicos.

Buscando trabalhar a indeterminação dos objetos da mecânica quântica, Karl Popper argumenta que a física falhou em abandonar conceitos metafísicos, os quais considera como incógnitas. Diante dos problemas da teoria quântica, Popper (1998, p. 237) afirma: os interessados pela física quântica sentiram que a solução de alguns dos problemas da teoria quântica, ainda não resolvidos, há de ser buscada na terra-de-ninguém³⁸ que jaz entre a Lógica e a Física. Ele acreditava que a física não seria suficiente para solucionar os problemas que ela mesma criou, e mais adiante veremos isso com sua análise da falta de êxito da aplicabilidade do princípio da incerteza do Heisenberg nas grandezas inacessíveis à observação, como por exemplo, as órbitas dos elétrons.

O Popper diz que fará uma investigação em torno dos fundamentos da teoria quântica, evitando todo formalismo matemático, preocupando-se apenas com as consequências lógicas da interpretação física de sistemas e conceitos da teoria que ele considera a maior descoberta da história da ciência.

³⁶ A investigação do mundo físico (tradução nossa).

³⁷ Os objetos da física (tradução nossa).

³⁸ Expressão utilizada por Popper para falar sobre a relação entre a lógica e a física.

4.1. Relações entre as epistemologias de Galileu e Heisenberg

Na obra *L'indagine del mondo fisico*, Toraldo di Francia apresenta a complexidade da definição do termo 'objeto', que frequentemente é relacionado ao mundo físico, pois os objetos aparentam ser bem determinados, autossuficientes e unitários, sendo assim independentes de qualquer observador. Nada que dependa da finalidade humana pode ser atribuído ao termo 'objeto', mas, ao mesmo tempo, tudo depende do que se quer chamar de objeto. Diante da conclusão acima, pensemos em um exemplo: a página de um livro é um objeto, a capa de um livro também é um objeto, o livro em si é um objeto, logo, 'objetos' é uma unidade, pertencente a várias outras unidades por natureza, assim como as páginas e a capa do livro pertencem a ele; porém, também podem ser independentes dele.

Quando pensamos no exemplo acima, a partir da mecânica de Galileu, acreditamos que ele transformou o céu em uma coleção de corpos de mesma natureza; porém, ele através do telescópio conseguiu analisar e estudar esses "corpos" ou "objetos" e sozinho concluiu que mesmo que todos façam parte de um só corpo, se faz necessário isolá-los para compreender o todo. Já na modernidade Heisenberg, em sua obra "Física e Filosofia", redefine o conceito de objeto em um contexto quântico. Seu trabalho no desenvolvimento de uma nova linguagem (Mecânica Matricial) para estudar os fenômenos quânticos resulta no princípio da incerteza, o qual afirma a impossibilidade de conhecer simultaneamente a posição e momento de um objeto com precisão.

Após realizar a análise histórica e conceitual de objeto, Toraldo decide deixar de lado a busca de uma definição rigorosa e formal do que é um objeto físico; porém, apresenta a definição de Russell como uma noção geral do que se trataria um objeto físico. Adotando como representante da Mecânica Quântica Werner Heisenberg, a teoria russelliana não consegue ter a aplicabilidade literal, pois para o renomado físico o objeto não existe de fato e sim em potência;³⁹, Heisenberg, então, sugere que fenômenos físicos são como conjuntos de possibilidades, cujas propriedades, como estado e velocidade, são prescritas por leis físicas, não predefinidas. Por exemplo, ao analisar as partículas elementares, não é possível acessá-las diretamente através da experiência imediata como Russell sugere, porém, pode-se apenas inferir uma interpretação matemática dos estados possíveis do sistema. Já na Física Clássica, adotando como representante Galileu, a aplicabilidade da teoria russelliana se faz consolidada,

³⁹ O conceito aristotélico de potencialidade: é aquilo que em determinado momento não é, mas pode vir a ser.

já que através do telescópio torna-se possível ter a experiência imediata, analisável e observável.

Para Toraldo, os objetos não são necessariamente apenas físicos, mas também podem ser psicológicos, matemáticos, filosóficos e assim por diante. Por exemplo, o desejo, o número 5, o conceito de causa podem ser objetos de nosso pensamento. Além disso, ele diz que a objectuação é uma atividade primitiva, ou seja, logicamente (e cronologicamente) anterior a todas as outras atividades do pensamento. Mais adiante no texto, o autor fala da individualidade, da indistinguibilidade das partículas idênticas e das características das partículas elementares como objetos nomológicos.

A respeito disso, Décio Krause e Steven French afirmam:

Segundo Dalla Chiara e Toraldo Francia, os objetos da microfísica são nomológicos”. Por “nomológico” eles querem dizer que não apenas partículas do mesmo tipo possuem o mesmo conjunto de propriedades intrínsecas ou independentes de estado, mas que essas propriedades são “fixadas” pela lei física. Os objetos clássicos, sustenta Toraldo di Francia, não são 'nomológicos', uma vez que “... sua configuração individual nada tem a ver com leis”. A ideia parece ser que na mecânica clássica o valor da massa de uma partícula, digamos, não é dado por lei, para que possa ter uma faixa contingente de valores. Para um objeto nomológico, por outro lado, este valor, e também os de outras propriedades, como carga, momento angular, etc., é bem determinado e “prescrito” pela lei física¹. (Krause and French, 2006, p. 221, tradução nossa.)

Assim, conclui-se através dessa relação que, apesar das divergências conceituais e abordagens metodológicas para analisar os ‘objetos’ de estudo da física, ambos foram bem-sucedidos na descrição da realidade. Ao utilizar de exemplo os pensamentos desenvolvidos por Galileu e Heisenberg, conseguimos fundamentar que apesar de formularem modelos diferentes de mundo, ambos partiram da ideia comum de ‘objeto’ de estudo para revolucionarem a física.

4.2 O programa de Heisenberg e as relações de incerteza segundo Popper

Heisenberg, em sua teoria atômica, elimina os fenômenos *não observáveis*⁴⁰, e parte para o seu programa epistemológico e para aquilo que torna possível eliminar a teoria de Bohr das suas insuficiências.

Popper acredita que até o próprio Heisenberg tem consciência de que seu programa não foi realizado em sua totalidade, e para isso ele inicia o capítulo explicando e pontuando o princípio da incerteza:

⁴⁰ A teoria dos não observáveis surgiu antes da teoria quântica de Heisenberg; ela apareceu com Niels Bohr e consiste em fenômenos observáveis; a estes, porém, as teorias científicas não são capazes de descrevê-los v como de fato são.

Esse estado de coisas relaciona-se ao chamado princípio da incerteza enunciado por Heisenberg; e admite, quem sabe, a explicação que se proporá a seguir. Toda medida física envolve troca de energia entre o objeto medido e o aparelho de mensuração (que será, talvez, o próprio observador). Assim, um raio de luz pode ser dirigido sobre o objeto, e uma porção de luz refletida pelo objeto pode vir a sofrer absorção por parte do aparelho de medida. Qualquer troca de energia desse tipo alterará o estado do objeto que, após ter sido medido, se encontrará em condição diversa da anterior. Nesses termos, a medida, por assim dizer, proporciona conhecimento de um estado que acabou de ser destruído pelo processo de mensuração. Essa interferência do processo de mensuração no objeto medido pode ser desprezada quando se trata de objetos macroscópicos, mas não no caso de objetos atômicos, pois estes são fortemente afetados, por exemplo, pela irradiação luminosa. É impossível, pois, a partir do resultado da medida, fazer inferência acerca do preciso estado de um objeto atômico, imediatamente após ele ter sido medido. Consequentemente, a medida não pode servir de base para previsões. (POPPER, 2013, p. 193)

Em seus escritos, Popper apresenta o que ele considera ser a primeira dificuldade nas relações da incerteza de Heisenberg:

Manifesta-se, aqui, a primeira dificuldade. As relações de incerteza só se aplicam às magnitudes (características dos estados físicos) próprias da partícula após efetivada a medida. A posição e o momento de um elétron, *até o instante da medida*, podem ser determinados, em princípio, com precisão ilimitada. Isso decorre do próprio fato da possibilidade de realizar várias operações de medida em sucessão. Nessas condições, combinando os resultados de (a) duas medidas de posição, (b) de uma medida de posição precedida por uma medida de momento e (c) de uma medida de posição, seguida de medida de momento, haveria como calcular, com auxílio dos dados obtidos, as coordenadas precisas de posição e momento, para o período integral de tempo *entre* as duas medidas. (POPPER, 2008, p. 194).

Nesta citação, Popper apresenta como funcionaria a execução do método de Heisenberg imparcialmente, evidenciando que a execução de tal método obtém um resultado consideravelmente bom; porém, Popper não acredita que esse resultado seja suficiente ou muito menos completo, pois implicaria em um acúmulo de dados inconstantes, uma vez que o tempo que fosse descoberto de uma medida para outra seria totalmente diferente na próxima observação; saber-se-ia apenas o período integral entre as duas observações.

Diante disso, Popper apresenta de fato sua primeira crítica ao modelo adotado por Heisenberg:

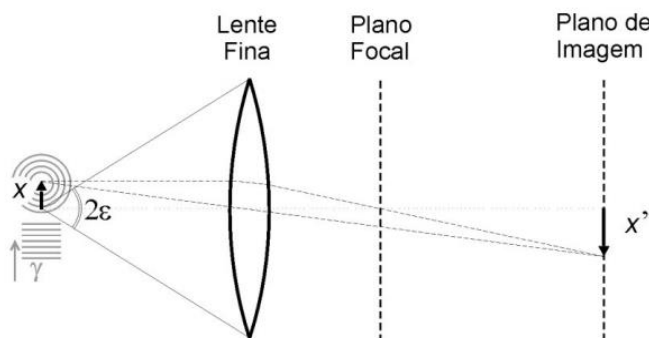
Esses cálculos precisos são, entretanto, ao ver de Heisenberg, inúteis para fins de previsão: é portanto impossível submetê-los a teste. Assim ocorre porque os cálculos são válidos apenas para a trajetória entre os dois experimentos, caso o segundo seja sucessor imediato do primeiro, no sentido de que interferência alguma haja ocorrido no lapso de tempo que medeia entre um e outro. Qualquer teste que se faça com o objetivo de verificar a trajetória entre os dois experimentos perturbará tanto essa trajetória que os cálculos de trajetória exata se tornam ilegítimos. (POPPER, 2008, p. 194).

Os cálculos eram, de fato, precisos, porém na perspectiva de Popper não eram consistentes e afastavam qualquer possibilidade da descoberta de uma possível trajetória ou constância daquilo que estava sendo observado. A interpretação de Popper (2008, p. 243) encara o princípio da incerteza como um limite imposto a nosso conhecimento; por conseguinte, ela se torna subjetiva, pois ele não conseguiu suspender os elementos metafísicos da MQ. Não obstante, Popper aprofunda sua crítica ao experimento mental de Heisenberg, conhecido como Microscópio de Raios γ (gama), o qual serviu de fundamentação para o princípio da incerteza. Popper aponta que o experimento não demonstra a não-comutatividade da posição e momento do elétron. Assim, considera que o experimento é uma ilustração falha do princípio da incerteza e não pode fundamentar a interpretação da teoria quântica.

4.3 Microscópio de Raio γ (gama)

No surgimento do princípio da incerteza, Heisenberg e físicos contemporâneos a ele concordavam que as perguntas da teoria quântica tinham em comum resposta de qual seria a relação entre posição e momento; assim, sentiram a necessidade de responder como seria essa relação. Heisenberg, que obteve maior sucesso em esclarecer o significado do que seria a ‘posição de um objeto’, para isso precisou criar um experimento mental que exemplificasse sua teoria e demonstrasse como seria possível calcular a posição de uma partícula elementar; assim surgiu o microscópio de Raio γ , com objetivo de esclarecer a relação de indeterminação para posição e movimento.

Microscópio de raio γ de Heisenberg



Fonte: (PESSOA JUNIOR, 2005, p. 78)

A medição da posição ocorre através da iluminação que vai acontecer no elétron através do Raio γ , fazendo com que essa luz se espalhe e atravesse a lente fina do

microscópio, formando ondas esféricas que vão chegar a um ponto de encontro no plano de imagem, fazendo com que seja possível saber a posição do elétron naquele momento em que ele foi iluminado pelo raio. Todas as vezes que o elétron entra em contato com o raio ele é lançado para uma outra posição que não pode ser descoberta sem anular o resultado anterior e recomeçar todo o processo do zero. Quanto maior a precisão na determinação da posição do elétron, menor é a precisão na determinação de sua velocidade ou de sua quantidade de movimento. Na Física Quântica, ao contrário da Física Clássica, a posição de uma partícula num certo instante fica determinada, mas não simultânea a velocidade dela, logo, só conseguiremos calcular um por vez, sabendo que esses dados não serão acumulativos e essa é a base do indeterminismo.

4.4 Aspectos físicos e filosóficos do princípio do indeterminismo

Esse tópico tem como foco de estudo a seção 78 (metafísica indeterminista) do capítulo 09 do livro: *A lógica da pesquisa científica* de Karl Popper. Consideramos essa seção a de maior contribuição para nossa pesquisa, onde o autor conclui as suas críticas ao princípio da incerteza formulado por Heisenberg.

No início da seção, o autor apresenta a relação que existe entre as macroleis e microleis:

O dualismo que nos leva a distinguir macroleis e microleis – ou seja, o fato de que operamos com ambas – não será facilmente ultrapassado, a julgar pelo atual estado do desenvolvimento científico. Logicamente possível, porém, é a redução de todos os enunciados de precisão conhecidos a enunciados de frequência – interpretando-se os primeiros como macroleis. A redução inversa não é possível. Enunciados de frequência nunca podem ser deduzidos de enunciados de precisão, tal como vimos na seção 70⁴¹. Eles requerem pressupostos próprios, que devem ser especificamente estatísticos. Probabilidades só podem ser calculadas a partir de estimativas de probabilidade (POPPER, 2013, p. 216).

Popper esclarece que é necessária a utilização de ambas as leis para o desenvolvimento científico, ou seja, torna-se necessário o contato da física clássica com a física quântica para que o progresso no meio da ciência ocorra de maneira plena. Porém, ele vai apontar essa relação para iniciar a fundamentação de sua crítica ao princípio da incerteza formulado pelo Heisenberg, porque se tal teoria está sendo trabalhada com probabilidades, ela só conseguirá fornecer um resultado probabilístico.

Para defender a busca de uma lei precisa e não probabilística, Popper afirma:

⁴¹ Seção 70 do livro de Popper: *Deduzibilidade das macroleis a partir das microleis*.

Tal é a situação lógica. Ela não encoraja nem uma concepção determinista, nem uma concepção indeterminista. Mesmo que viesse a ser possível trabalhar, no campo da Física, apenas com enunciados frequenciais, continuaríamos sem ter condições de chegar a conclusões indeterministas, equivalendo isso a dizer que não teríamos condições de afirmar que “não existem leis naturais precisas, que não existem leis a partir das quais possam ser deduzidas previsões de processos singulares ou elementares”. O cientista não deverá permitir que coisa alguma o detenha, na busca de leis, inclusive de leis desta espécie. Embora possamos conseguir êxito operando com estimativas de probabilidade, não deveremos por isso concluir que a busca de leis de precisão é vã. (POPPER, 2013, p. 216)

De acordo com o autor, nem a física nem a lógica podem deduzir algo a partir de conclusões indeterministas, mas é válido considerar que não é a pretensão de nenhum deles fazer isso.

A teoria criticada pelo Popper não tem aplicabilidade no passado e nem é uma teoria de dados acumulativos, ou seja, a sua tentativa de ir em busca de leis de precisão se torna insustentável, porque o verdadeiro objetivo do princípio da incerteza era obter uma maior precisão na determinação da posição de uma partícula elementar.

Ainda sustentando a ideia da busca por leis de precisão e expandindo sua interpretação do princípio da incerteza, Popper afirma:

As fórmulas de Heisenberg – assim como enunciados semelhantes, que só podem ser corroborados por meio de suas consequências estatísticas – não levam obrigatoriamente a conclusões indeterministas. Todavia, isso não prova que não possa existir outro enunciado empírico justificador dessas ou de similares conclusões indeterministas: por exemplo, a conclusão de que a regra metodológica mencionada – decisão de nunca abandonar a busca de leis – não pode atingir seu objetivo, talvez porque seja fútil, ou sem sentido, ou “impossível” tentar estabelecer leis e formular previsões singulares. Não pode haver, contudo, em um enunciado empírico de consequências metodológicas que nos obriguem a abandonar a procura de leis. Isso porque um enunciado, isento, por hipótese, de conclusões metafísicas só admite conclusões metafísicas se estas forem falseáveis. (POPPER, 2013, p. 217)

É perceptível que na construção da sua crítica ao princípio da incerteza ele deixou de lado o principal objetivo da teoria analisada, para ir em busca da aplicabilidade do seu método hipotético-dedutivo em resultados não acumulativos e probabilísticos. A sua concepção do princípio da incerteza é uma conclusão sustentada a partir de seu método, mas a mecânica quântica apresentada por Heisenberg não tem pretensão de falsear as conclusões de uma metafísica indeterminista.

Sobre o declínio da metafísica determinista e a ascensão da indeterminista, Karl Popper disserta:

Do ponto de vista histórico, é perfeitamente compreensível o surgimento da metafísica indeterminista. Por longo tempo, os físicos acreditavam na Metafísica determinista. Porque não se compreendia inteiramente a situação lógica, o fracasso

das várias tentativas de deduzir os espectros de luz – que são efeitos estatísticos – a partir de um modelo mecânico do átomo, levou a colocar o determinismo em crise. Hoje, vemos claramente que o fracasso era inevitável, pois é impossível deduzir leis estatísticas a partir de modelo não estatístico (mecânico) do átomo. (POPPER, 2013, p. 218)

[...] Das ruínas do determinismo surgiu o indeterminismo, apoiando ao Princípio da Incerteza formulado por Heisenberg. Ele desenvolve-se, porém – vemo-lo agora – a partir dessa mesma incompreensão acerca do significado de enunciados de probabilidade formalmente singulares. (POPPER, 2013, p. 218 – 219)

Popper conclui que a metafísica determinista não consegue sustentar-se após a teoria quântica de Werner Heisenberg (o princípio da incerteza), porque os resultados que obtemos em tal teoria são probabilísticos e singulares, e por este motivo não permitem a aplicação de leis gerais, já que se trata de resultados singulares e não acumulativos.

Por fim, Popper conclui sua crítica a MQ apresentada por Heisenberg da seguinte maneira:

A lição a tirar dessas considerações é a de que devemos tentar estabelecer leis estritas – proibições – que possam apoiar-se na experiência. E a de que devemos, porém, abster-nos de colocar proibições que ponham limites às possibilidades de pesquisa. (POPPER, 2013, p. 219).

Se é necessário o estabelecimento de leis estritas que proíbam uma pesquisa que vá além de um viés empírico, toda a crítica de Popper baseia-se numa atitude metodológica que é consistente com uma certa interpretação da Física Quântica, mas que não afeta em nada a abordagem que Heisenberg deu ao princípio de incerteza. Pois com essa afirmação ele nos apresenta que em momento nenhum ele foi capaz de compreender o verdadeiro objetivo da teoria quântica de Werner Heisenberg e só sustentou toda a sua argumentação na tentativa de provar que tudo aquilo que não possa ser aplicado ao método hipotético-dedutivo não pode ser considerado uma teoria física.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tema da nossa pesquisa consiste em explicitar as interpretações de mundo feitas nas revoluções científicas de Galileu Galilei e Werner Heisenberg. A tese que norteou a nossa investigação é de que a linguagem formal e os métodos científicos são os principais recursos para Galileu explicar o mundo macroscópico e Heisenberg explicar o mundo microscópico.

Para isso, no cap. 2 apresentamos a epistemologia de Galileu, a partir da descrição de fenômenos e das teorias que fundamentaram a mecânica clássica. Já no cap. 3 apresentamos a epistemologia de Heisenberg, a partir das primeiras teorias que fundamentaram a mecânica quântica. No capítulo 4, explicitamos a relação feita por Toraldo di Francia das duas mecânicas apresentadas em nossa pesquisa e a contraproposta de Popper ao programa epistemológico estabelecido por Heisenberg, junto com a nossa reflexão crítica de ambos os pontos apresentados.

Diante das reflexões apresentadas em cada capítulo, concluímos que a epistemologia de Galileu Galilei foi revolucionária tanto na ciência, quanto na filosofia, em seu método de transmitir suas descobertas; este método pode ser analisado segundo uma perspectiva aristotélica, onde encontramos muitos elementos da retórica ou até mesmo de uma visão platônica, na qual conseguimos ver a reprodução de um diálogo como meio de transmissão de acontecimentos e descobertas. A epistemologia de Werner Heisenberg foi desafiadora a todos os princípios da mecânica clássica, e é por esta razão que a consideramos uma revolução; uma das maneiras que ele fundamentou sua teoria foi através da Filosofia Clássica, apresentou cronologicamente o contexto histórico daquilo que ele nomeou de via especulativa, na tentativa de provar que desde sempre se falavam de partículas elementares e o princípio da incerteza formulado consistia essencialmente no aprimoramento desses estudos tão antigos. A contraproposta apresentada por Karl Popper é, por nós, considerada inconsistente, pois ele não tinha como objetivo alcançar essa compreensão e sim encaixar a teoria elaborada por Heisenberg (o princípio da incerteza) em seu método hipotético-dedutivo.

O contexto filosófico se faz presente em ambas as revoluções como alicerce; nota-se que a relação entre as duas epistemologias vai além do que Toraldo di Francia nos apresenta, pois apesar de concordarmos com o pensador acreditamos que essas duas revoluções científicas têm como principal elo a Filosofia. Foi por essa mesma razão que escolhemos o pensamento de Popper para nos apresentar uma perspectiva oposta, seu contexto na Filosofia e seus métodos. Após evidenciar tais perspectivas, nosso trabalho cumpre todos os objetivos.

REFERÊNCIAS

BKOUICHE, R. **La géométrie entre mathématiques et sciences physiques.** In: KOURKOULOS G. TROULIS, C. T. M. (Ed.). *Proceedings of 4th International Colloquium on the Didactics of Mathematics.* Université de Crète: [s.n.], 2006. v. 11.

DE BROGLIE, L. **Recherces sur la théorie des quanta.** Annales de la Fondation Louis De Broglie, 1973.

FREIRE, Olival Jr., PESSOA, Osvaldo Jr. e BROMBERG, Joan Lisa (org.). **Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais.** Campina Grande: EDUEPB, 2011.

GALILEU. **Diálogo dos dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano.** Trad. Pablo Mariconda. 3 ed. São Paulo: Editora 34, 2011.

GALILEU. **O mensageiro das estrelas.** Trad. Henrique Leitão. 4 ed. Lisboa: Editora Calouste Gulbenkian, 2015.

GALILEU, G. **Mensageiro das estrelas.** Trad. Carlos Ziller Camenietzki. São Paulo: Ediouro, 2009.

GALILEU. *Sidereus Nuncius.* Venetiis, Apud Thomam Baglionum, 1610.

GALILEU. *Massini sistemi del mondo tolemaico, e copernicano.* In Florenza, Per Gio: Batifta Landini, 1632.

GALILEU. O Ensaiador. Il Saggiatore. Ed. Nova Cultural. 1999.

HEISENBERG, Werner. **Física e filosofia.** Trad. Jorge Leal Ferreira. Brasília: Ed. UnB, 2ed, 1987;

HEISENBERG, Werner. **Physics and Philosophy.** New York, planned and edited by Ruth Nanda Anshen. 1958.

PESSOA, Osvaldo. **Conceitos de Física Quântica.** V.1 Editora Livraria da Física, 2003.

POPPER, Karl. **A lógica da pesquisa científica.** Ed. Cultrix, 1978.

POPPER, K. R. **Quantum Mechanics without “The Observer.”** In. Bunge, M (org.) Quantum Theory and Reality. Springer-Verlag Berlin · Heidelberg, p. 7–44, 1967.

RUSSELL, Bertrand. **Os problemas da filosofia.** (1912). Lisboa: Edições 70, 2008.

RUSSELL, Bertrand. **Da denotação.** In: LACEY, Hugh Matthew (Org.). Lógica e conhecimento. São Paulo: Abril Cultura, 1978. (Coleção Os Pensadores), p. 03-14.

RUSSELL, Bertrand. **Análise da Matéria.** Trad. Nathanael C. Caixeiro. Rio de Janeiro: Editora Jorge Zahar. 1978.

SILVA, Eleonoura Enoque. **Epistemologia em Física**. Revista Opinião Filosófica, Porto Alegre, v. 06; nº. 01, 2015.

SILVA, Eleonoura Enoque. **Fundamentos da Mecânica Quântica em Teoria das Categorias**. Tese de Doutorado. Orientador Giovani Queiroz. Programa Integrado de Doutorado em Filosofia da UFPB-UFPE-UFRN, 2015.

TORALDO DI FRANCIA, Giulliano. **L'indagine del mondo fisico**. 1976.

TORALDO DI FRANCIA, G. **'What is a physical object?'**, Scientia 113, pp. 57–65, 1978.

PESSOA JUNIOR, Osvaldo. **Conceitos de física quântica**, vol. I / Osvaldo Pessoa Jr. – 2. ed. – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.