

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE FILOSOFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA**

**A UNIDADE ONTOLÓGICA DO MUNDO
EM WERNER HEISENBERG**

ALEXSANDRO MELO MEDEIROS

Recife – PE

2008

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE FILOSOFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA**

**A UNIDADE ONTOLÓGICA DO MUNDO
EM WERNER HEISENBERG**

ALEXSANDRO MELO MEDEIROS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Filosofia, Departamento de Filosofia, Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Filosofia sob orientação do Prof. Dr. Witold Skwara.

Recife – PE

2008

Medeiros, Alexsandro Melo

A unidade ontológica do mundo em Werner Heisenberg /
Alexsandro Medeiros . - Recife: O Autor, 2008.

109 folhas: il., tab.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de
Pernambuco. CFCH. Filosofia, 2008.

Inclui bibliografia.

1. Filosofia. 2. Filosofia da natureza. 3. Metafísica. 4. Matéria
- constituição. 7. Monismo. I. Título.

1
100

CDU (2. Ed.)
CDD (22. ed.)

UFPE
CFCH2008/70

TERMO DE APROVAÇÃO

ALEXSANDRO MELO MEDEIROS

Dissertação de Mestrado em Filosofia **aprovada**, pela Comissão Examinadora formada pelos professores a seguir relacionados, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Filosofia, pela Universidade Federal de Pernambuco.

Dr. WITOLD SKWARA


ORIENTADOR

Dr. ALFREDO DE OLIVEIRA MORAES


1º EXAMINADOR

Dr. ELIAS SILVA FILHO


2º EXAMINADOR

RECIFE/2008

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Witold Skwara, por suas importantes orientações, contribuições e sugestões à realização desta dissertação e por não ter imposto nenhuma camisa de força que pudesse tolher o livre exercício da minha capacidade de pensar e articular idéias.

Aos Professores Doutores Alfredo Moraes, Washington Martins e Elias Filho, por terem tornado possível este projeto.

Ao grupo de estudos em Filosofia da Natureza que, pelo espaço proporcionado à análise dos textos que serviram de base a este trabalho, permitiram-me que estivesse constantemente refletindo e deram um maior alcance sobre minhas próprias idéias.

À Prof. Rosário Leite pelas correções gramaticais da Língua Portuguesa.

À Prof. Auristela Oliveira pelas sugestões de tradução dos textos em língua francesa.

DEDICATÓRIA

Ao impulso criador da vida e à inspiração Divina
– sempre presente nos meus momentos de meditação e solidão –
que me permitiram concluir este trabalho
e me tornar um homem melhor do que fora,
não apenas em relação ao conhecimento,
mas também em dignidade humana.

RESUMO

A presente dissertação tem como objetivo principal analisar os pressupostos filosóficos e ontológicos da idéia monista subjacente ao pensamento do físico alemão Werner Heisenberg. São notáveis os esforços empreendidos no século XX na busca de uma teoria unificada da matéria ou, para usar o título desta dissertação, de uma unidade ontológica do real. Ao longo de suas obras Heisenberg está constantemente retornando ao tema de uma teoria unificada que descreva a realidade a partir de uma única substância, tanto em sentido físico quanto filosófico. E ao abordar o aspecto filosófico do problema, Heisenberg não deixar de reconhecer, entre os pré-socráticos, aqueles que primeiro se esforçaram por tentar entender a natureza de forma unificada. Esta dissertação retoma a relação estabelecida por Heisenberg, entre a física contemporânea e os filósofos pré-socráticos, como base para se pensar uma possível unidade ontológica do real. Aponta os principais aspectos do desenvolvimento da concepção atomista da matéria e da física de partículas do século XX. Para, enfim, se debruçar sobre o tema principal deste trabalho que é estabelecer as bases físicas e filosóficas desta visão monista do universo.

Palavras-Chave: Física, Metafísica, Filosofia da Natureza, Estrutura da Matéria, Monismo.

ABSTRACT

The main purpose of this dissertation is to analyze the philosophical and ontological assumptions about the monistic idea from the thinking of the German physicist Werner Heisenberg. They are remarkable efforts in the twentieth century to find a unified theory of matter or, to use the title of this dissertation, an ontological unity of the real. Throughout his works Heisenberg is constantly returning to the theme of a unified theory that describes the reality since only one substance, in both sense physical and philosophical. While he discusses about the philosophical aspect of the problem, Heisenberg recognizes, among the Presocratics, who first made efforts to try to understand the nature of unified way. This dissertation takes the link made by Heisenberg, between the physics contemporary and the Presocratic philosophers as a basis to think a possible ontological unity of reality. It shows the main aspects of the development of the conception atomist of matter and of the physics of particles in the twentieth century. For, at last, to deal with the main theme of this work which is to establish the physical and philosophical foundations of this vision unified of the universe.

Keywords: Physics, Metaphysics, Philosophy of Nature, Structure of Matter, Monism

SUMÁRIO

<i>Introdução</i>	09
I. <i>Filosofia da Natureza e Ciências da Natureza</i>	16
PARTE 1	
PHYSIS GREGA E PHYSIS CONTEMPORÂNEA	
II. <i>Física e Filosofia da Natureza (Physis)</i>	27
III. <i>Antiga e Nova Concepção da Matéria</i>	34
3.1 <i>Monismo e Dinamismo</i>	34
3.2 <i>Pluralismo e Atomismo</i>	43
3.3 <i>Formalismo Matemático</i>	47
PARTE 2	
A ESTRUTURA DA MATÉRIA NOS SÉCULOS XIX E XX	
IV. <i>O Desenvolvimento da Concepção Atomista</i>	49
V. <i>A Física de Partículas no Século XX</i>	55
PARTE 3	
A BUSCA DA UNIDADE META-FÍSICA	
VI. <i>Teorias da Unificação</i>	64
VII. <i>Monismo na Física Contemporânea: Einstein, Heisenberg e TGU</i>	69
7.1 <i>As Bases Metafísicas da Física Contemporânea e a “substância”</i>	
<i>Energia em Heisenberg</i>	76
7.2 <i>Análise Metafísica das Transformações da Matéria: a Questão da</i>	
<i>Transmutação em Heisenberg</i>	84
VIII. <i>A Unidade Ontológica em Heisenberg</i>	90
CONCLUSÃO	
<i>Considerações Finais</i>	97
<i>Referências Bibliográficas</i>	102

INTRODUÇÃO

Antes de nos determos no corpo desta dissertação julgamos necessário algumas considerações sobre o seu título. A questão de uma *unidade metafísica* é um tema que tem sido alvo de pesquisas de físicos, os mais renomados, de nossa época. *Steven Weinberg*, prêmio Nobel de Física de 1979 e autor do livro *The First Three Minutes*, publicou recente artigo na revista *Scientific American* do Brasil intitulado: *À procura de um universo unificado* (vide Bibliografia), no qual afirma que um dos objetivos primordiais da física é entender a Natureza de forma unificada; desde Newton – ao unificar a mecânica terrestre e a mecânica celeste – à Maxwell – com as teorias da eletricidade e do eletromagnetismo – até Einstein – unificando a geometria do espaço-tempo e da gravitação. No mesmo ano de 1979, *Abdus Salam* recebeu o prêmio Nobel de Física pelo trabalho envolvendo a unificação da força eletrofraca¹, tal como *Steven Weinberg*. A unificação das forças que agem na Natureza é o grande desafio no qual físicos de todas as áreas do mundo tem trabalhado com grande interesse. *Albert Einstein*, cuja personalidade dispensa comentários, dedicou os últimos 30 anos de sua vida em busca da *teoria do campo unificado*, uma teoria que reunisse a teoria da relatividade geral (sua teoria do espaço-tempo e da gravitação) e o eletromagnetismo de Maxwell. Embora se reconheça que do ponto de vista matemático sua teoria estava errada, a idéia de uma *teoria unificada* é uma das maiores contribuições que o gênio alemão deixou para a posteridade de físicos que andam em busca de uma teoria de tudo, uma teoria que unifique todas as forças da natureza.

Qual o papel da Filosofia diante destas questões? Para *Bertrand Russel*, saber o que é a matéria e seus constituintes fundamentais é uma questão que deve ser respondida por meio da física. Mas as implicações que daí resultarem devem ser interpretadas por meio de uma filosofia que dê conta da nossa realidade ontológica. Não existe hoje uma espécie de convergência entre o trabalho do físico e o trabalho do filósofo? Não fazem, um e outro, a mesma pergunta? Entre tais pesquisadores observamos uma tentativa cada vez mais crescente de discutir as idéias da física contemporânea e suas conseqüências filosóficas. Na mesma linha de investigação científica e filosófica encontramos *Werner Heisenberg*, cujas

¹ E autor do livro *A unificação das forças fundamentais: o grande desafio da física contemporânea*

idéias se identificam com a corrente de pensamentos destes eminentes físicos do século XX e XXI.

A nossa proposta de trabalho, em sentido amplo, se relaciona com a questão, filosófica e científica, da *Unidade do Mundo*, pensada, em sentido restrito, através de uma *unidade metafísica originária* em Heisenberg, estabelecendo ainda uma aproximação com os pré-socráticos, sobretudo o monismo filosófico do naturalismo jônico e heraclítico².

Heisenberg sabe que a descrição, feita por ele, dos fenômenos físicos das partículas elementares corresponde a uma descrição filosófica da realidade, no mesmo sentido em que os pré-socráticos procuraram descrever a estrutura da *physis* a partir de um (ou vários) elemento(s) primordial(is) e originário(s) da multiplicidade fenomênica do real. Por trás da descrição de Heisenberg existe, não há dúvida, um postulado metafísico, uma idéia filosófica, monista (no mesmo sentido do monismo jônico e heraclítico) de que “Tudo é Um”. Somente uma visão acanhada e estreita não verá aqui uma identificação entre o *philosophos* e o *physiologoi* (ou *physikoi*), para usar a mesma terminologia com a qual Aristóteles se refere aos pré-socráticos. Será preciso um novo Aristóteles para perceber esta estreita relação? Talvez não. Basta um pouco de sensibilidade filosófica para saber reconhecê-la.

Nossa dissertação não pretende explorar de forma exaustiva o pensamento grego originário, mas apenas tomá-lo como referência para pensar a estrutura básica do real em sua expressão contemporânea. Daremos um enfoque maior à física contemporânea, sobretudo, amparados e inspirados pelo modo de pensar a que nos propõe Heisenberg. Não temos a pretensão de dar uma resposta definitiva – e nem teríamos condições de fazê-lo – a tal questão que permanece subjacente aos maiores sistemas cosmológicos registrados nos anais da história da humanidade, o que não nos impede, porém, de considerar as mais recentes descobertas da ciência moderna procurando perscrutar-lhes seu sentido e significado filosófico.

² Heisenberg é bastante conhecido pelo princípio da incerteza, que leva o seu nome, razão pela qual ganhou o Nobel de 1932. Mas suas contribuições à física contemporânea não se detêm neste ponto. E é o próprio Heisenberg quem realiza uma tal aproximação da física contemporânea com os filósofos pré-socráticos, sobretudo no capítulo IV da obra acima mencionada, demonstrando, assim, sua notável sensibilidade filosófica para questões que vão além dos limites do trabalho do físico meramente experimental.

Pretendo, pois, defender a idéia de que existe uma fundamentação teórico-filosófica baseada nos pressupostos da física de partículas do século XX na obra de Heisenberg, para se pensar uma unidade metafísica do real.

Esta dissertação é, fundamentalmente, um prosseguimento e uma continuação da minha monografia, sob a orientação do Prof. Dr. Witold Skwara. Na base da minha monografia está o livro de Heisenberg, *Física e Filosofia*, especificamente os capítulos IV e IX, respectivamente: *A teoria quântica e as raízes da ciência atômica* e *A teoria quântica e a estrutura da matéria*. No capítulo IV, o autor faz uma aproximação da física moderna com a idéia monista, subjacente ao pensamento pré-socrático da escola jônica e também do pensamento de Heráclito, visando alcançar a unidade básica da estrutura fundamental da matéria, da *arché*. No capítulo IX, Heisenberg analisa os pressupostos da física nuclear na tentativa de pensar a estrutura básica do real como uma unidade – *monismo filosófico* – e conclui, em virtude das experiências realizadas por intermédio da radiação cósmica e dos grandes aceleradores de partículas que é possível pensar uma *unidade ontológica originária*.

O livro *Física e Filosofia* demonstra basicamente que a idéia através da qual Heisenberg pensa a “unidade da matéria” tem a ver com as observações dos fenômenos radioativos, a transmutação das partículas elementares e os constituintes do núcleo atômico (temas que são trabalhados de forma mais detalhada em seu outro livro *La physique du noyau atomique*). Teoricamente, é impossível admitir que não haja uma “substância” compartilhada por tais partículas, sem a qual não haveria possibilidade de ocorrer a transmutação. Como consequência da nova estrutura relativística temos a compreensão de que a massa nada mais é senão uma forma de energia. Mesmo um objeto em repouso tem energia armazenada em sua massa, e a relação entre as duas é dada pela famosa equação de Einstein $E = mc^2$. O que nos permite interpretar, de acordo com o ponto de vista sugerido por Heisenberg, que existe uma “substância” compartilhada por tudo o que existe no universo, desde as partículas elementares até os sistemas planetários, embora, para o nosso século, essa “substância” (energia) *seja tão determinada quanto o indeterminado (apeíron) de Anaximandro*. Assim, a física moderna revelaria a unicidade básica do universo. Seria difícil entender como duas substâncias, absolutamente heterogêneas, poderiam se transmutar uma na outra: “Todas as partículas elementares podem, a energias

suficientemente altas, transmutar-se em outras (...) Assim, temos aqui, de fato, a prova final da Unidade da Matéria” (HEISENBERG, 1981, p. 122). Os processos de colisão de alta energia por meio da radiação cósmica ou dos aceleradores de partículas, nos quais partículas materiais são criadas e destruídas, transmutando-se em outras partículas; as transformações nucleares por emissão radioativa, emissão α e β , servem de base à sua argumentação.

Heisenberg insiste na formulação de uma teoria que não faça uso de constituintes elementares (não aceitando, portanto, a visão atomista de Demócrito), mas que descreva o comportamento da matéria em geral, a qual derivaria da matéria primordial, que ele chamou em alemão de: *Urmaterie*³. As partículas observadas na Natureza são manifestações dessa “matéria” primordial, origem de toda a estrutura da matéria.

Seguem abaixo, para melhor visualização e compreensão desta dissertação, os diferentes “momentos” da exposição do nosso projeto a partir da seguinte estrutura:

Parte I: **Physis Grega e Physis Contemporânea**

Parte II: **A Estrutura da Matéria nos Séculos XIX e XX**

Parte III: **A Busca da Unidade Meta-Física**

Após tecer nossas considerações iniciais no primeiro capítulo desta dissertação, faremos uma breve exposição das principais doutrinas e pensamentos dos pré-socráticos, que corresponde a primeira parte deste trabalho. Qual a relevância de buscar uma aproximação com os pré-socráticos? Primeiro porque é o próprio Heisenberg quem percebe esta relação e o faz repetidas vezes no conjunto de sua obra. Segundo porque é com os pré-socráticos que a filosofia se inicia. Através destes pensadores originários, se pensa uma *forma física* determinada da qual o “um” ou o “múltiplo” é a essência, a origem de todas as coisas. Se, acerca de alguns, entre eles Tales de Mileto, Anaximandro, Anaxímenes, Heráclito e Pitágoras, podemos falar em um monismo filosófico, não podemos esquecer que a este monismo sucede um pluralismo em que não se pensa mais uma unidade originária, como podemos perceber no pensamento de Empédocles, Anaxágoras e dos

³ Note-se que o termo utilizado por Heisenberg poderia ser interpretado como uma tradução alemã do termo grego, *apeiron*, de Anaximandro.

atomistas gregos. Desde então, desde o pronunciamento de Tales, sugerindo a idéia de uma substância fundamental, da qual todas as outras se constituiriam dela modificadas, a Filosofia tem teorizado sobre a provável *unidade do universo*, à procura de fatos inexoráveis e irredutíveis, desejando explicar à luz de princípios universais, a mútua referência entre os vários fenômenos interligados e também revelar suas leis e princípios básicos.

A Física de partículas – que se dedica ao estudo dos constituintes fundamentais da matéria – é a herdeira histórica do atomismo grego, que data de cerca de 400 a.C. Tal como Heisenberg, farei também uma exposição, um pouco mais detalhada, do desenvolvimento da concepção atomista na modernidade chegando até o século XX e que corresponde à segunda parte desta dissertação. A Física tem se caracterizado por uma penetração sempre crescente nesse mundo de dimensões submicroscópicas, chegando ao reino dos átomos, dos núcleos e seus componentes. Essa exploração do mundo submicroscópico tem sido motivada por uma questão básica que tem ocupado e estimulado o pensamento humano através dos séculos desde o pronunciamento de Tales: de que é feita a matéria? Desde o início da filosofia natural, os homens têm especulado acerca dessa questão, tentando encontrar a “substância básica” da qual é feita toda a matéria. Somente no nosso século, contudo, tornou-se possível buscar uma resposta através da realização de experimentos.

No início do século XX, a idéia que teve início na Escola Jônia, monista por excelência, de focalizar a unidade fundamental de tudo o que existe, permanece com toda sua força na mente de pesquisadores, filósofos e, sobretudo, físicos da nossa era; para tal, basta mencionar apenas os mais conhecidos: Albert Einstein, Erwin Schrödinger, Steven Weinberg, Stephen Hawking e, em particular, Werner Heisenberg⁴. A realidade natural, a(s) substância(s) básica(s) que a compõe, o misterioso comportamento dos átomos, foi pouco a pouco sendo revelado, durante as primeiras três décadas do século 20, por um grupo de físicos que inclui Einstein, o próprio Heisenberg, Schrödinger, Bohr, Dirac, Pauli e muitos outros. Foram 30 anos que abalaram profundamente os alicerces da física, transformando a nossa concepção de mundo, demonstrando assim, a estreita relação que pode e deve existir entre o pensamento científico e filosófico. A Filosofia não pode passar

⁴ “... as numerosas e contínuas tentativas de construir uma teoria unificada da natureza não desembocaram até hoje em algum resultado significativo, embora nelas se tenham empenhado estudiosos como Einstein e Heisenberg” (REALE, 1991, p. 978, vol. III).

indiferente a estes novos clarões trazidos a lume pela teoria quântica. Para o Filósofo francês *Jean Guitton*, trata-se de uma revolução do nosso pensamento, no que é acompanhado por físicos, filósofos e pensadores: “estamos no limiar de uma revolução de pensamento, de uma ruptura epistemológica não experimentada pela filosofia desde vários séculos (...) através da via conceitual aberta pela teoria quântica, emerge uma nova representação do mundo” (GUITTON, 1992, p. 06)⁵. Tal como sugere Bertrand Russel, o nosso trabalho será o de estudar as implicações filosóficas que resultam da interpretação heisenbergiana dos fenômenos radioativos e da física nuclear. E esta é a parte final da nossa dissertação. Estudar, analisar, compreender e interpretar a filosofia da física moderna.

Os resultados da física moderna tocam de perto em conceitos fundamentais como realidade, substância, espaço e tempo, tornando ainda mais evidente a estreita relação que deve existir entre ciência e filosofia, se interpretarmos esta última como Whitehead: “o primeiro objetivo da filosofia é unificar completamente (...) a filosofia é a visão geral das ciências, com o objetivo de as harmonizar e completar” (WHITEHEAD, 1951, p. 161).

Com Heisenberg, temos uma nova representação do mundo a partir do arcabouço da física quântica. Nova, apenas no sentido de que se funda sobre uma realidade amplamente aceita experimentalmente, mas tão velha, quanto a necessidade interior humana de buscar compreender o real e sua estrutura. E, tal como Nietzsche, referindo-se à Tales, não poderíamos dizer: as extrapolações teóricas de Heisenberg, não constituem também elas, postulados metafísicos que exprimem a idéia presente no pensamento humano desde a Antigüidade Clássica de que “Tudo é Um”? Por certo, entre Tales e os jônios, e Heisenberg, há uma diferença crucial de que este se apóia sobre toda uma ordem de pressupostos científicos de que somente o século XX poderia nos trazer à luz. Eis o trabalho do filósofo: interpretar os resultados da física moderna e suas implicações, à luz de teorias que dêem conta da nossa realidade ontológica.

Por fim e não menos importante, ligado ao problema da unidade fundamental da matéria, tal como o sugere Heisenberg, está o problema do *dinamismo* (estudado também na parte final do nosso projeto). Não apenas Heisenberg defende a teoria de que todos os compostos materiais compartilham de uma mesma “substância” mas, uma vez aceita como

⁵ E mais adiante: “Embora apoiada em vários séculos de teorias físicas e de experiências, a visão materialista do mundo se apaga diante de nossos olhos: devemos nos preparar para penetrar num mundo *totalmente desconhecido*” – Ibidem, p. 09 (grifo nosso).

modelos dinâmicos de energia, a matéria deixa de ser algo indestrutível e estático para se converter num contínuo padrão dinâmico de energia que formam as estruturas nucleares, atômicas e moleculares estáveis que constroem a realidade. Veremos que para Heisenberg, este dinamismo é uma consequência direta do seu postulado de que em todos os níveis da vida e do universo, tudo deriva da “energia”.

Para encerrar esta introdução, algumas observações sobre o procedimento metodológico: seguindo as normas da ABNT, optamos por manter a referência bibliográfica no corpo do texto, quando a citação não ultrapassar um total de três linhas, e indicar na nota de rodapé a referência, quando a citação estiver em destaque em relação ao texto; além disso, todas as citações em língua estrangeira foram traduzidas diretamente no corpo do texto seguindo o mesmo critério anterior em relação à referência bibliográfica.

I. FILOSOFIA DA NATUREZA E CIÊNCIAS DA NATUREZA

Este capítulo está colocado aqui em primeiro lugar porque algumas considerações se fazem relevantes antes de darmos início ao desenvolvimento da nossa dissertação e são de vital importância para sua análise e compreensão, sem o que permaneceria incompleta. Apoiando-nos nas observações de autores eminentes como Filippo Selvaggi e Jacques Maritain, defendemos a necessidade de uma filosofia da natureza, colocada entre a filosofia do ser em geral (metafísica)⁶ e os dados das ciências da natureza, como forma de entender e compreender o ser do mundo na sua especificidade ontológica

... quem admite a existência e a necessidade de uma filosofia do ser em geral (e todos devem admiti-la, porque a sua negação já implica uma filosofia do ser em geral, como sucede no positivismo e no materialismo, que reduzem o ser em geral ao ser material experimentalmente cognoscível) deve admitir também a legitimidade e a necessidade de uma análise e reflexão filosófica sobre o ser do mundo na sua especificidade, sobre o seu valor em si e em relação ao homem, para inserir a realidade mundana na totalidade sistemática e hierárquica do ser em geral. Portanto, toda filosofia deve incluir também uma filosofia do mundo, e não só da sua cognoscibilidade, mas também da sua natureza. Neste sentido (...) todos os grandes sistemas filosóficos sempre incluíram também uma filosofia do mundo e da natureza⁷.

Acresce a isto, a semelhante afirmação de Jacques Maritain, em sua obra *Philosophie de la nature*, “As ciências experimentais precisam se completar pela filosofia da natureza; por outro lado, o inverso é igualmente verdadeiro: a filosofia da natureza precisa se completar pelas ciências experimentais” (*La philosophie de la nature*, p. 90). Filippo Selvaggi concorda com Maritain sob muitos aspectos, como podemos facilmente observar ao ler os livros destes dois autores. A filosofia da natureza, como “reflexão filosófica sobre o ser do mundo”, deve tomar em consideração os resultados da ciência contemporânea⁸. A filosofia “deve ser a ciência total e radical do ser em geral e, portanto deve incluir como parte complementar uma filosofia da matéria e do mundo físico, filosofia

⁶ “A filosofia da natureza serve como fundamento para a *metafísica*... É difícil, para não dizer impossível, construir uma metafísica rigorosa sem contar com uma reflexão igualmente rigorosa sobre o mundo físico” (ARTIGAS, 2005, p. 23).

⁷ SELVAGGI, 1980, p. 152.

⁸ cf. SELVAGGI, 1980, p. 152.

da natureza e cosmologia filosófica” (SELVAGGI, 1980, p. 155). Isto porque, o conhecimento da realidade física, obtido através das ciências da natureza é o pressuposto para um conhecimento mais amplo e, portanto, uma compreensão filosófica mais vasta do mundo. “A ciência permite uma progressiva penetração no mistério do mundo e da natureza, com a progressiva descoberta das forças e das leis que regulam o curso dos fenômenos” (SELVAGGI, 1980, p. 462).

Também para o pensador russo, Alexandre Koyré, Ciência e Filosofia estão de tal modo entrelaçadas que não é possível separá-las sem prejuízo para ambas. De acordo com Koyré, a influência das concepções filosóficas sobre o desenvolvimento da ciência é tão grande quanto o da concepção científica no desenvolvimento da filosofia e isto, em sentido epistemológico e metafísico. Para este ilustre pesquisador o pensamento científico nunca esteve inteiramente separado do pensamento filosófico; as grandes revoluções observadas nas ciências sempre foram determinadas por mudanças de concepções filosóficas; o pensamento científico não se desenvolve no vazio, mas sempre se encontra no interior de um quadro de idéias, de princípios fundamentais, de evidências axiomáticas que habitualmente foram consideradas como pertencentes à filosofia⁹.

Sob uma orientação diversa, mas igualmente relevante, poderíamos dizer que, de acordo com o filósofo francês, Gaston Bachelard, uma Ontologia não deve desconsiderar as mais recentes descobertas e avanços das ciências naturais¹⁰. Para o Prof. Jésus Vazquez, do

⁹ Ver ainda a este respeito Carl F. Von Weizsäcker: “Lado à lado com a física experimental nós temos também física matemática ou física teórica. Nosso século particularmente tem novamente tornado claro que este tipo de teoria tem origens e conseqüências filosóficas” (WEISZÄCKER; JUILFS, *Contemporary Physics*, p. 11). Heisenberg desenvolveu uma importante escola de formação de pesquisadores, em Leipzig, dos quais von Weizsäcker era um deles (cf. MARTINS, 2006, p. 72).

¹⁰ “Todo espírito filosófico que se colocasse à escola da ciência veria quanto a ciência contemporânea é filosófica, no fundo” (BACHELARD, *Le materialisme rationnel*, p. 180). Dizemos sob uma orientação diversa porque Bachelard se move muito mais no campo da epistemologia do que da ontologia: “Nós queremos, com efeito, caracterizar os novos conhecimentos sublinhando as necessárias revoluções epistemológicas que eles implicam” (BACHELARD, *Le materialisme rationnel*, p. 06). Entretanto, podemos dizer, tal como o Prof. Vazquez (1996), que a epistemologia bachelardiana perde o seu fundamento e inteligibilidade sem uma base ontológica que a sustente. Embora não seja nosso propósito aqui enfatizar o aspecto epistemológico, é preciso considerar de nossa parte uma posição minimamente realista. Para uma abordagem realista (realismo crítico) do conhecimento, cf.: BUNGE. *Quantum Theory and Reality*. Ver também BUNGE, 2000, p. 79 à 130 (Especificamente o capítulo *Sobre o que Versam as teorias físicas?* Sobre tudo a página 129: 1) há coisas em si mesmas, isto é, objetos cuja existência não depende de nossa mente; 2) as coisas em si mesmas são cognoscíveis, embora de maneira parcial e por sucessivas aproximações; 3) o conhecimento de uma coisa em si é alcançado em conjunto pela teoria e pelo experimento; 4) o conhecimento é hipotético mais do que apodíctico, portanto é corrigível e não final; 5) o conhecimento de uma coisa em si, longe de ser direto, é circundante e simbólico. É muito reducionista limitar fatos que se apresentam aos nossos sentidos como mera construção do intelecto humano. Quando vemos um planeta

Departamento de Filosofia da UFPE, “... Bachelard exige que uma ontologia explícita, enquanto teoria dos princípios comuns do ser concreto, respeite as ciências da natureza e se deixe instruir por elas...” (VAZQUEZ, 1996, p. 38)¹¹. Bachelard parece mesmo, em alguns momentos, satirizar o filósofo que pretende dar conta da nossa realidade sem considerar os aspectos fundamentais trazidos à lume pelos avanços científicos, teóricos e, sobretudo, experimentais. Cada hipótese, cada teoria, cada problema, cada experiência, reclama sua filosofia¹², embora, seja necessário dizê-lo, a filosofia do conhecimento científico é essencialmente uma filosofia aberta.

“A ciência contemporânea fez o homem entrar em um mundo novo” (BACHELARD, *Le materialisme rationnel*, p. 02). Tal acontecimento não pede, então, um esforço por parte do filósofo para entender que mundo novo é este que a ciência nos fez

realizar sua órbita em torno do Sol, não estamos vendo uma construção do nosso intelecto, embora procuremos interpretar esse movimento com teorias, hermeneuticamente construídas pela razão humana, mas isso não tira a realidade de que vemos um corpo (que chamamos planeta), girar em torno de um outro corpo (que chamamos Sol), descrevendo um movimento (que chamamos elíptico). Os conceitos foram construídos pelo intelecto humano. A realidade não. A concordância entre teoria e fatos, que pretendem descrever a realidade do modo mais exato, se modifica, mas isso não tira a realidade dos fatos, realidade ontológica que a razão não quer cansar-se de compreender. Para uma posição filosófica minimamente realista e que preserve a consistência e a completude da mecânica quântica dentro de uma interpretação realista ver o artigo: *A incompletude da mecânica quântica*; (CHIBENI, 1991). Sobre a relação entre conceitos científicos e construção filosófica ver: *Ciência e Filosofia em Gaston Bachelard*; (GONÇALVES, 2001). Para entender os referentes da teoria quântica e uma contraposição entre Realismo x Instrumentalismo ver *A fuga do real: uma introdução ao mundo quântico*; (DIAS, 1991 – os objetos da mecânica quântica existem? O que eles são?). Para a idéia de que toda ciência representa uma hermenêutica do real construída pela razão e de que o homem é um hermenauta do universo ver *Empirismo e Metafísica*; (SOUZA, 1995). Ainda sobre o problema da relação entre a realidade e a teoria física ver *Implicação da relatividade e da física quântica na constituição de uma nova imagem do mundo*; (SERPA, 1995). Para uma “falsa filosofia da física” ver BUNGE, 1973, p. 12 a 2 e para uma “nova filosofia da física” ver BUNGE, 1973, p. 21-22.

¹¹ Seguindo mais ou menos esta mesma linha de raciocínio está Nicolai Hartmann: “A tentativa mais sistemática de formular uma filosofia da natureza de acordo com o progresso das ciências é, provavelmente, de Nicolai Hartmann (1882-1950). Em 1950, ele publicou a sua ‘Filosofia da Natureza’ (volume IV da sua ‘Ontologia’), concebida como uma ‘teoria especial das categorias’ que, com um matiz neokantiano mas realista, depende do estado dos conhecimentos científicos em cada momento e renuncia a uma metafísica positiva... Segundo Hartmann, a metafísica trata de questões que não admitem respostas, porque vão além do que podemos conhecer das coisas: só uma ontologia que nunca chegasse ao nível metafísico e nem respostas definitivas seria possível. Trata-se de uma filosofia hipotética e provisional, que procura analisar e esclarecer os problemas adotando, como método, a análise das categorias do nosso pensamento. Neste contexto, a filosofia da natureza é concebida como análise das categorias especiais, como uma reflexão filosófica acerca dos conhecimentos proporcionados pelas ciências, e que, por isso, participa de permanente provisoriedade destes conhecimentos” (ARTIGAS, 2005, p. 44).

¹² “o espírito pode mudar de metafísica; o que não pode é passar sem a metafísica” (BACHELARD, 1991, p. 15).

entrar, não apenas em sentido epistemológico, mas ontológico?¹³ E isto porque a “ciência é muito mais filosófica do que nós imaginamos” (JANEIRA, 1993, p. 38).

Assim, tal como os dados das ciências da vida e das ciências humanas, da biologia à fisiologia, genética, psicologia, sociologia etc., devem integrar a construção de uma antropologia filosófica integral, também as ciências da natureza não podem permanecer estranhas à filosofia e devem formar o objeto da reflexão filosófica, integral, inclusive, como elemento indispensável de uma ontologia que procure descrever a realidade no seu nível mais fundamental, originário e radical.

... perguntamos agora se além do conhecimento empírico e da ciência da natureza, física experimental e física matemática e teórica, existe ainda um grau ulterior, um conhecimento e inteligibilidade “filosófica” da natureza, uma verdadeira e própria filosofia do mundo... e isto não só como filosofia do conhecimento do mundo... mas ainda como filosofia da natureza e essência do mundo, ou seja, não só como epistemologia, mas como ontologia do mundo¹⁴.

Por fim, apenas para não nos estendermos demasiado citando autores eminentes da área da filosofia da ciência, cabe destacar, ainda, como Mario Bunge percebe esta “filosofia da física”:

¹³ “Possas a nova física, uma vez depurada de uma filosofia obsoleta, estimular novos desenvolvimentos em epistemologia e ontologia” (BUNGE, 2000, p. 232). A este respeito é válido também citar o Prof. F. S. Northrop no seu texto introdutório ao livro de Heisenberg, *Física e Filosofia*, intitulado: *Introdução aos problemas da filosofia natural*. “Essas suposições [as que encontramos no corpo do livro], além do mais são de caráter filosófico. Elas podem ser ontológicas, isto é, referem-se ao objeto do conhecimento científico, o qual é independente do observador; ou então, podem elas ser epistemológicas, quer dizer, referem-se à relação entre o cientista, como experimentador e conhecedor, e o objeto que conhece. As teorias da relatividade, restrita e geral, de Einstein, modificam a filosofia da física moderna no aspecto ontológico acima referido, alterando radicalmente a teoria filosófica de espaço e tempo, e a relação desses com a matéria. A mecânica quântica, principalmente o princípio de indeterminação de Heisenberg que encerra, notabilizou-se pela mudança que trouxe à epistemologia do físico, da relação entre o experimentador e o objeto de seu conhecimento científico. 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 potencialidade na física moderna [e, acrescentamos, sua afirmação sobre a unidade da natureza da matéria]. Conseqüência disso é que a mecânica quântica é igualmente importante para a ontologia e a epistemologia. Nesse ponto, a filosofia da física de Heisenberg, tem um elemento em comum com a de Whitehead” (In: HEISENBERG, 1999, p. 13 e 14).

¹⁴ SELVAGGI, 1980, p. 143. Assim também para o Prof. F. S. Northrop: “A física não é epistemológica e ontologicamente neutra... tente-se negar qualquer um dos pressupostos ontológicos e não restará conteúdo bastante nos postulados matemáticos da teoria física, axiomáticamente construídos, a permitir a dedução de sua versão dos fatos experimentais, a qual é introduzida a fim de predizer, organizar consistentemente e explicar os resultados revelados pela experiência. Assim, portanto, na medida em que os físicos experimentais nos asseguram que sua teoria da física contemporânea seja indireta e experimentalmente verificada, eles *ipso facto* nos garantem ser igualmente verificada a mui rica e complexa filosofia, ontológica e epistemológica, associada àquela teoria” (In: HEISENBERG, 1999, p. 41).

A física e a filosofia conviveram desde o seu nascimento: às vezes misturadas, outras vezes cooperando entre si e freqüentemente lutando uma com a outra. *Desde os pré-socráticos até Einstein e Heisenberg, não houve grande físico que não sofresse o fascínio e não se sentisse em parte motivado pela filosofia.* De Aristóteles até Whitehead e Russel não houve grande filósofo que não tivesse meditado sobre a física, não utilizasse alguns de seus resultados e não se inspirasse, às vezes, em seus métodos... o fato é que, até agora, a física tem constituído o paradigma da ciência e o principal provedor de materiais para a elaboração filosófica¹⁵.

E mais adiante, assim se refere Bunge, aquilo que ele chama de a “ressurreição da metafísica”:

A proscrição da metafísica foi levantada nos anos de 1950: podemos agora aventurar-nos a discutir problemas ontológicos, tais como os de espaço, tempo, princípio de causalidade, probabilidade e lei. Mas isto não constitui um mero retorno à metafísica selvagem... Isto não é para dizer que a metafísica científica está a caminho, mas pelo menos alguns problemas metafísicos estão sendo tratados com um respeito mínimo pela lógica e pela ciência. Estamos começando a sentir que discutir a natureza do tempo não é vergonhoso exceto se isso é feito à maneira existencialista, isto é, com total desrespeito pela linguagem, pela lógica e pela física¹⁶.

Com tais afirmações acreditamos poder justificar e legitimar o objetivo do nosso projeto ao pretendermos aproximar, de um modo geral, ciência e filosofia ou, mais especificamente, física e metafísica¹⁷, tendo como relação intermediária entre ambas a filosofia da natureza¹⁸, embora ciente de que esta relação pode não agradar a todos os espíritos de nosso tempo, seja filosófico ou científico¹⁹. A filosofia da natureza está, de um

¹⁵ BUNGE, 2000, p. 09 – *grifo nosso*.

¹⁶ BUNGE, 2000, p. 61.

¹⁷ Neste projeto utilizo indistintamente os termos ontologia e metafísica, entendendo ambas como uma descrição da estrutura fundamental da realidade, em seu aspecto primordial, originário, fundamental; para denotar qualquer conceito, de teoria científica ou filosófica, que se refere ao objeto de conhecimento, ao invés da relação meramente epistemológica entre o sujeito conhecedor e objeto a ser conhecido. Para críticas eventuais sobre uma possível falta de clareza de conceitos podemos dizer que não somos os únicos a entender uma certa similaridade entre os referidos conceitos. Bunge, por exemplo, fala indistintamente de metafísica e ontologia.

¹⁸ “A filosofia da natureza abarca uma temática muito ampla, já que se estende desde o átomo até o universo, incluindo os viventes e o homem, enquanto ser natural. Pergunta-se, aliás, pelo significado da natureza e pelo seu fundamento radical. Dessa forma, constitui a ponte lógica entre o conhecimento ordinário, as ciências e a metafísica” (ARTIGAS, 2005, p. 27).

¹⁹ “Em particular, se se pretende esclarecer os problemas da ciência através da reflexão metafísica... corre-se o risco de não agradar a ninguém: nem aos cientistas, nem aos filósofos, nem aos historiadores... Com efeito, os

lado, relacionada com as ciências da natureza e, de outro, com a metafísica²⁰. Esta relação abre caminho para um tipo de explicação ontológica. “... é mais que evidente que uma filosofia do mundo e da matéria não se pode constituir adequadamente sem ter em conta tudo o que as ciências modernas nos fazem conhecer a respeito deles, da física e química gerais, à física atômica e nuclear, à astronomia, e à cosmologia científica e a todas as outras ciências da natureza” (SELVAGGI, 1980, p. 156)²¹. É impossível tratar hoje em dia de questões como da causalidade, substância, espaço, tempo, materialidade, que sempre fizeram parte da filosofia da natureza, sem levar em conta os resultados experimentais e as teorias científicas. E a ciência, sempre que procura descrever a realidade física, não tem como se desembaraçar de preocupações ontológicas. A ciência, no mínimo, pressupõe conceitos de origem filosófica ou metafísica. “Assim, quando a ciência elabora a noção de elétron ou a de quanta, não se trata de convicções filosóficas pressupostas, trata-se de noções propriamente científicas, entrando na textura da ciência e que tem, a este título, um certo valor explicativo e uma certa relação com a realidade ontológica” (MARITAIN, *La philosophie de la nature*, p. 60 e 61).

A filosofia da natureza deve fazer uso dos fatos científicos, do imenso domínio das observações científicas, com a condição de tratá-los filosoficamente, de interpretá-los sob um tal prisma. A filosofia da natureza procura conciliar “o mundo das ciências particulares, que lhe é inferior, ao mundo da sabedoria metafísica, que lhe domina” (MARITAIN, *La*

cientistas consideram inútil uma preparação metafísica... [o filósofo] pensa ter sem a ciência, antes da ciência, o poder de analisar esta atividade harmoniosa [a atividade harmoniosa das funções espirituais]... Assim a filosofia das ciências fica muitas vezes contornada nas duas extremidades do saber: no estudo, feito pelos filósofos, dos princípios muito gerais, e no estudo, realizado pelos cientistas, dos resultados particulares” (BACHELARD, 1991, p. 07, 08 e 09).

²⁰ “na filosofia da natureza a física oferece a matéria, a metafísica a forma” (SELVAGGI, 1980, p. 162). A ciência fornece à filosofia da natureza o seu conteúdo: composição dos corpos, matéria, vida orgânica etc. A filosofia da natureza procura os constitutivos essenciais desses dados para inferir sua inteligibilidade à luz do *ser material*. A filosofia da natureza depende dos dados científicos para ter material de reflexão filosófica, se não quiser estar limitada ao senso comum, mas a filosofia da natureza não é simples segmento das ciências, posto que seu objeto formal é bem diverso. “A filosofia da natureza não pode deixar de considerar os conhecimentos alcançados pelas diferentes áreas da ciência experimental. Porém, o seu enfoque é diferente, uma vez que, como afirmamos, busca descobrir as causas últimas da natureza e propõe explicações gerais, que vão além do que se investiga na ciência experimental. Por exemplo, propõe os conceitos de substância, potencialidade e atualidade, para explicar determinadas características da natureza” (ARTIGAS, 2005, p. 24).

²¹ Ver também Mariano Artigas: “A filosofia da natureza é o ramo da filosofia que se ocupa do mundo natural ou físico... [e neste caso] há uma estrita relação entre ciências [naturais] e a filosofia da natureza” (2005, p. 21 e 22). E ainda Mario Bunge: “Faz-se cada vez mais claro que a metafísica não é algo inteiramente externo à física: que parte dela está dentro da maçã da física e que depende de nós se isto vai ser verme ou semente” (BUNGE, 2000, p. 66).

philosophie de la nature, p. 146). Analisando os fatos científicos à luz do conhecimento filosófico podemos tirar deles aquilo que eles comportam de valor ontológico, tal como o intelecto, se assim podemos nos exprimir, tira da experiência sensível os objetos inteligíveis.

Ao pretender descrever a realidade as ciências pedem um conhecimento que as completem, “elas precisam se completar por um outro conhecimento do mesmo universo sensível, que será um conhecimento ontológico, e que será precisamente a filosofia da natureza” (MARITAIN, *La philosophie de la nature*, p. 89)²².

O que estamos tentando defender e mostrar é a necessidade de uma filosofia da natureza, mostrar que é necessário reconhecer uma explicação ontológica ou filosófica da natureza que, embora distinta do conhecimento das ciências experimentais, delas se sirva como base explicativa e venha as completar: “quando as ciências experimentais querem resolver plenamente seu objeto à luz dos primeiros princípios inteligíveis, então elas deverão recorrer à filosofia e se fazer completar pela filosofia, dar lugar à filosofia” (MARITAIN, *La philosophie de la nature*, p. 105).

É assim que podemos dizer que com a física contemporânea – a física quântica e a teoria da relatividade²³ –, mesmo que não saibamos ainda claramente como, é nossa

²² Tomando por base a filosofia aristotélica, Jacques Maritain e também Filippo Selvaggi se referem a três níveis, ou graus, de abstração ontológica sendo que o primeiro grau de abstração é precisamente aquele que faz referência direta aos sentidos: “no que concerne à análise ontológica, dizendo que a análise ontológica, no primeiro grau de abstração, trata, também ela, sobre o ser sensível, mas antes de tudo como inteligível” (MARITAIN, *La philosophie de la nature*, p. 83). É assim que podemos dizer que a filosofia da natureza refere-se a uma análise de tipo ontológica na visualização abstrata de primeira ordem. O que revela o mundo sensível, dos fenômenos, objeto das ciências, tem também um valor especulativo “Filosofia da natureza e ciências da natureza são colocadas no mesmo grau genérico de visualização abstrata, tratando identicamente sobre o ser sensível ou móvel” (MARITAIN, *La philosophie de la nature*, p. 117), sendo que as ciências se prendem à análise empírica, enquanto que a filosofia da natureza se prende à análise ontológica do real sensível. Entre as ciências naturais e a filosofia da natureza há uma relação de complementaridade, malgrado esta distinção específica. O objeto material de estudo da filosofia da natureza é o ente material e, neste caso, coincide com o objeto material das ciências da natureza, diferindo quanto ao objeto formal.

²³ “Nos começos do século XX, a física quântica e a teoria da relatividade provocaram uma avalanche de novas idéias na filosofia da natureza e nas ciências. Demonstraram que a física clássica, que se considerava como um edifício definitivo ao qual só era necessário adornar melhor, somente é válida para determinados âmbitos de fenômenos: quando estudamos os componentes microfísicos da matéria, devemos utilizar a física quântica; e quando intervêm velocidades muito grandes, recorremos à teoria da relatividade. O impacto filosófico destas duas teorias foi enorme, pois proporcionaram conhecimentos acerca de aspectos da natureza que se encontram muito distantes da experiência ordinária, mas que afetam conceitos básicos da filosofia da natureza” (ARTIGAS, 2005, p. 43).

representação do mundo que está em jogo²⁴. “As magníficas renovações da qual a física é devedora de uma parte à Lorentz, Poincaré, Einstein, de outra parte à Planck, Louis de Broglie, Dirac, Heisenberg, renovam também e estimulam na mesma o sentido do mistério ontológico do mundo da matéria” (MARITAIN, *La philosophie de la nature*, p. 142). Os próprios filósofos devem interrogar-se sobre o significado destas mudanças procurando responder, entre outras, a questão sobre como estes novos valores trazidos à luz pela física contemporânea nos ajudam a compreender melhor a realidade e forjar uma nova visão do mundo.

A nossa dissertação tem como objetivo específico refletir sobre a legitimidade filosófica das interpretações que Heisenberg propõe dos fenômenos subatômicos. Uma das perguntas que poderíamos colocar na base de nossa dissertação bem poderia ser esta: a descrição física da matéria proposta por Heisenberg é um enunciado ontológico, isto é, seus enunciados descrevem como o mundo material é em seu nível mais fundamental? Não podemos nos furtar a afirmar aqui, tal como o faz Selleri, em sua obra *Le grand débat de la théorie quantique – O grande debate da teoria quântica –* que: “Sólidas afirmações de natureza filosófica se encontram igualmente no trabalho de Heisenberg” (1994, p. 112)²⁵.

Assim, veremos no decorrer da nossa dissertação que através do estudo das reações nucleares e das desintegrações radioativas pode-se esclarecer muitos dos problemas ligados à estrutura física do universo. E neste estudo está a base – o *fio de Ariadne* – que nos permite pensar a possibilidade de um todo unificado tendo como origem uma única substância, primordial, presente em toda a textura do universo físico. Tal estudo nos é proposto pela intuição do físico alemão, Werner Heisenberg, apoiando-se nos fatos empíricos que a física contemporânea nos revela. Veremos, com isso, que, não apenas a

²⁴ Julgamos relevante transcrever aqui, parte do prefácio a edição alemã, escritas do próprio punho de Werner Heisenberg, da obra principal que serve de base a este projeto – *Física e Filosofia*. “Em diversas universidades da Escócia realizam-se anualmente, as assim chamadas Conferências Gifford, as quais – de acordo com a vontade testamentária de seu instituidor – deveriam versar sobre a teologia natural, vale dizer, aquela disposição – que diz respeito às questões últimas – que resulta quando se prescinde de todo vínculo com qualquer religião ou ideologia pessoal. Esse propósito é usualmente interpretado de forma que o tema dessas palestras não tenha por objeto problemas específicos de uma dada ciência, mas sim seu conteúdo filosófico ou conseqüências que tenham a ver com nossa concepção do mundo. Por essa razão, quando o autor se dispôs a proferir as Conferências Gifford, durante o semestre de inverno de 1956-57, na Universidade de St. Andrews, o tema que lhe foi proposto teve por objeto precípua revelar as relações entre a física atômica e problemas filosóficos gerais”.

²⁵ esse sentido podemos dizer que o físico sustenta, na maioria das vezes sem o saber, um conjunto de princípios filosóficos (cf. BUNGE, 2000, p. 12).

conversão de uma força unificada em quatro forças distintas²⁶ (gravitacional, eletromagnética, nuclear forte e nuclear fraca) ocorreu com a expansão do universo, como também a abundância relativa das diversas partículas no universo podem ser interpretadas como o resultado de reações nucleares que ocorreram durante os primeiros minutos após esta expansão, quando a temperatura era então da casa de bilhões de graus. Com o resfriamento do universo, em virtude da expansão, as partículas começaram a unir-se em diversas combinações para formar núcleos de peso atômico variados, mas tendo como origem uma unidade básica e fundamental: *a energia*.

Mas para poder chegar a um entendimento adequado das reações nucleares e desintegrações radioativas é preciso ter em mente como o estudo dos fenômenos químicos do século XVIII reviveu a teoria atômica da matéria. Como a evolução das idéias científicas não deixavam nenhuma dúvida quanto à existência destas partículas que se acreditavam indivisíveis, no sentido da teoria atômica grega de Demócrito e Leucipo, acreditando-se ter chegado aos últimos constituintes de toda substância material, os átomos. O fim do século XIX, porém, apresentou ao mundo a existência do fenômeno da *radioatividade*. O estudo de suas leis foi particularmente fecundo, contribuindo para os nossos conhecimentos relativos à estrutura íntima da matéria. A penetração em camadas cada vez mais profundas da matéria – a exploração do mundo dos átomos e dos núcleos atômicos – deu origem a diversas e incríveis modificações em nossa concepção da matéria e levou a uma nova e igualmente relevante transformação de nossas concepções. Além disso, a teoria da relatividade trouxe consigo o conceito de equivalência entre massa e energia. A matéria não é senão uma forma modificada da energia. Físicos, os mais renomados, tentam interpretar, à luz dos conceitos da física contemporânea, a composição básica e fundamental da matéria e, mais uma vez, deparamo-nos com a questão, crucial,

²⁶ “Outra área em que a física de partículas nos forneceu importantes subsídios é a da cosmologia do surgimento do universo, a tal ponto que esse tema tornou-se sinônimo de física das partículas. Isto ocorre porque as transições de fase, que separam uma era cosmológica de outra, são também os mecanismos pelos quais a força unificada final é convertida em duas (gravitacional + eletro-nuclear), em três (eletrofraca + nuclear forte + gravitacional), e finalmente nas quatro forças (eletromagnética + nuclear forte + nuclear fraca + gravitacional), à medida que a temperatura global do universo vai declinando. O fato de essas transições ocorrerem a altas temperaturas (que vão de 300 a 10^{20} massas do próton), sendo improvável que temperaturas superiores a 10^6 massas do próton possam jamais vir a ser obtidas em aceleradores produzidos pelo homem, torna o universo primitivo e sua cosmologia atraentes para o físico experimental de partículas, uma vez que fornecem o único laboratório em que, pelo menos indiretamente, será possível testar nossas teorias (por meio da detecção de vestígios de eras passadas, de temperaturas mais elevadas, que ainda possam ser encontradas hoje)” (SALAM, 1993, p. 48 e 49).

para nossa compreensão e entendimento do universo físico: *qual o papel da filosofia diante de todos estes dados?*

Nesse aspecto podemos reafirmar que à metafísica cabe assentar a validade de seus enunciados na própria estrutura do real. Somente assim ela pode garantir a verdade de seus pronunciamentos. E como garantir uma tal validade, senão apoiando-se, ainda que em nível periférico (superficial), nas ciências naturais?

É inconcebível, portanto, que haja conflito definitivo entre a interpretação científica da realidade, assentada sobre rigorosa observação dos fatos e a interpretação filosófica do real, não obstante o nível de profundidade que a interpretação filosófica busca alcançar. Cabe à filosofia respeitar as contribuições das ciências de observação e usufruir da factualidade das proposições científicas para aperfeiçoar e enriquecer sua interpretação do sentido imanente do real. Compete à ciência experimental, porém, não negar à filosofia um espaço de significado que o próprio real, na sua bidimensionalidade estrutural, lhe oferece. A compreensão da realidade do homem se aperfeiçoa e se enriquece a cada dia através da contribuição das ciências experimentais²⁷.

Diante de nosso olhos temos o mundo material e, frente a ele, pelo menos duas perguntas se tornam possíveis: como podemos conhecer o mundo material e, uma vez sendo factível, em que medida a descrição que fazemos dele é exata? Mas também podemos perguntar pela essência do mundo material, de que ele é feito em sua estrutura mais elementar. A primeira questão podemos situá-la no campo da epistemologia e a segunda, tanto no campo da Filosofia da Natureza ou da Cosmologia, como no campo da Metafísica mesma.

Antes de prosseguirmos para o próximo capítulo gostaríamos de destacar um fato interessante que ocorreu quando Heisenberg tinha 23 anos de idade e se refugiou na ilha de Helgoland (situada numa baía formada por parte da costa norte da Alemanha e pela costa oeste da Dinamarca), para tentar controlar uma forte crise de febre de feno²⁸. Foi na ilha de Helgoland que Heisenberg fomentou suas idéias sobre aquilo que deveria romper de forma mais radical com as idéias da Física Clássica; foi contemplando o nascer do sol, no alto de uma rocha em formato de torre, sob a qual as luzes da alvorada penetrava o mar, que Heisenberg experimentou que algo de profundo estava para acontecer na história do

²⁷ SOUZA, 1995, p. 33.

²⁸ um mal alérgico provocado pelos polens continentais da estação.

pensamento humano; no dia 16 de junho de 2000, o Instituto Max Planck e a Sociedade Física Alemã inauguraram, no planalto da ilha de Helgoland, uma pedra comemorativa da descoberta de Heisenberg, onde podemos ler:

Em junho do ano de 1925
chegou aqui a Helgoland,
com 23 anos de idade,
Werner Heisenberg.
A ruptura
na formulação
da Mecânica Quântica,
a teoria fundamental
das leis da Natureza
no domínio atômico,
influenciou profundamente,
muito mais além que a Física,
*o pensamento humano*²⁹.

Nessa tentativa de compreender os fenômenos da natureza e o mistério do mundo dos átomos, nessa longa odisséia do pensamento humano, em que alguns homens dedicaram inteiramente até mesmo suas vidas, não podemos deixar de incluir o nome de Werner Heisenberg nesta interminável aventura pelo desvelamento de um mundo inacessível aos nossos sentidos. Um mundo que Heisenberg explorou com coragem e brilhantismo e do qual soube extrair, ao menos em linhas gerais, importantes implicações filosóficas, no nível epistemológico e ontológico e que, tal como afirma a inscrição, *influenciou profundamente o pensamento humano.*

²⁹ cf. PIZA, 2003, p. 31 e 32 – *grifos nosso.*

II. FÍSICA E FILOSOFIA DA NATUREZA (PHYSIS)

A física de partículas – a área da física que se dedica ao estudo das partículas fundamentais da matéria – é a herdeira histórica do atomismo grego, que data de cerca de 400 a.C.³⁰. Segundo os atomistas, a matéria é composta por entidades indivisíveis e indestrutíveis, os átomos. Todas as formas materiais na natureza podiam ser descritas como combinações de átomos em posições diferentes. E, embora as interpretações modernas dos eventos atômicos tenham muito pouco a ver com a genuína filosofia atomista grega, veremos que o estudo contemporâneo da física de partículas está, em certo sentido, imbuído do mesmo espírito de perquirição filosófica que encontramos nos gregos, tendo por base essa ânsia infatigável da razão humana em querer conhecer a estrutura mais fundamental da realidade na qual estamos inseridos.

(...) a idéia da constituição atômica da matéria remonta á filosofia antiga. Foram os filósofos que tiveram a audácia de admitir que existiam partículas indivisíveis da qual a reunião constituía a matéria; a física do núcleo atômico é um dos domínios mais recentes da física. Há apenas quarenta anos que a palavra núcleo atômico foi pronunciada pela primeira vez por Rutherford, e não é senão a aproximadamente quinze anos que se possui um conhecimento bastante extenso dos núcleos atômicos³¹.

Ao tentar compreender essa estrutura básica e primordial do real os primeiros filósofos – monistas, pluralistas, atomistas – fizeram uso do conceito de natureza (*physis*), de tal modo que podemos, com grande razão, chamar os pré-socráticos de *filósofos da physis*, ou se se preferir, tal como o faz Aristóteles, de físicos (*physiologi*).

A física antiga é parte integrante da filosofia. Ela é filosofia da natureza, cosmologia, filosofia do mundo, a que tem por objetivo o mundo físico, que a filosofia integra em suas preocupações como partes de um todo ordenado: o Cosmos.

³⁰ Cumpre notar que uma filosofia da natureza distinta tanto da física como da metafísica não era explicitamente reconhecida na Antiguidade e na Idade Média, e hoje em dia também é contestada por positivistas e mesmo dentro da própria filosofia. Além disso, enquanto os modernos absorveram a filosofia da natureza nas ciências da natureza, os antigos absorveram as ciências na própria filosofia. Mas caberia aqui uma reflexão das mais importantes, do nosso ponto de vista: abandonar a filosofia da natureza é renunciar aquilo que deu nascimento à própria Filosofia VI séculos a.C.

³¹ HEISENBERG, *La physique du noyau atomique*, p. 05.

Esta física procura o (ou os) princípio que permitem dar conta ao mesmo tempo da ordem estabelecida e da sucessão dos seres, no mundo físico. A filosofia, e com ela, a física, aparecem, em suas origens comuns, como uma difícil tentativa de racionalização dos saberes anteriores. Seus discursos se substituem aos mitos para desvelar o princípio e a gênese do Cosmos³².

Os primeiros filósofos denominam o “princípio” que é a fonte e origem de todas as coisas com o termo “*physis*”, que indica a realidade primeira e fundamental, embora não haja um consenso entre os especialistas nos filósofos antigos sobre os vários significados que pode assumir a concepção de “*physis*” para os pré-socráticos.

A palavra *physis* indica aquilo que por si brota, se abre, emerge, o desabrochar que surge de si próprio e se manifesta neste desdobramento, pondo-se no manifesto. Trata-se, pois, de um conceito que nada tem de estático, que se caracteriza por uma dinamicidade profunda, genética... Neste sentido, a *physis* encontra em si mesma a sua gênese; ela é *arké*, princípio de tudo aquilo que vem a ser³³.

O conceito de *physis* compreende a totalidade daquilo que é, de tudo o que existe³⁴: o natural e além. À *physis* pertencem o céu e a terra, o mineral, o vegetal, animal e inclusive, os deuses. O princípio universal das coisas, apesar de ser buscado em uma realidade natural, não é apenas substância ou matéria, mas é substância e força³⁵, é a natureza (*physis*) originária, que é também o divino – *theion*³⁶.

O conceito grego de *physis*, geralmente traduzido por *natureza* é, em sua origem, o do princípio gerador das coisas do qual deriva a multiplicidade destas. Os primeiros naturalistas, tal como Anaximandro de Mileto, identificam explicitamente com este

³² LOCQUENEUX, *Histoire de la physique*, p. 03.

³³ cf. BORNHEIM, 1993, p. 12. Esta visão dinâmica da estrutura do real é também adotada por Heisenberg. Na realidade, é uma consequência direta do seu monismo, pois como veremos nos capítulos finais, uma vez aceita como uma forma de energia, não se torna mais possível pensar a matéria como algo estático e inerte, senão algo profundamente dinâmico imerso num constante vir-a-ser.

³⁴ “Pensar o todo do real a partir da *physis* é pensar a partir daquilo que determina a realidade e a totalidade do ente” (cf. BORNHEIM, 1993, p. 14).

³⁵ “... o princípio, para os jônicos, é uma matéria animada por uma força interior de movimento ou de transformação, por isso foi chamada por eles de hilosoísmo (concepção de matéria vivente)” (Cf. MONDOLFO, 1971-73. 2v, p. 238 e 239).

³⁶ Cf. MONDOLFO, 1971-73. 2v, p. 238.

princípio divino, a natureza (physis), fundamento de todas as coisas³⁷. É a fonte universal de onde derivam todas as coisas e ao qual retornam; é a mãe geratriz de tudo quanto existe no universo, restando sempre permanente e imutável, através do vir-a-ser, das mais diversas transformações a qual possa se submeter. A infinita multiplicidade e variabilidade das coisas é explicada por meio da unidade e permanência de um princípio (arché) que reúna toda a multiplicidade em si, como fonte e causa do seu devir, origem e explicação de todo o fluxo universal, sobretudo no naturalismo jônio³⁸.

Em certo sentido, podemos dizer que o estudo da physis, tal como podemos observar entre os filósofos pré-socráticos, tem sido retomado pela ciência contemporânea, e além, a concepção moderna de um universo ordenado racionalmente também está muito próxima da concepção grega.

A physis designava “a realidade, a própria manifestação do real, a totalidade do que existe, o início e o fim de tudo o que se origina, a realidade como fonte, e assim por diante. Não há motivos para discordar dessas concepções... Os esforços especulativos dos primeiros filósofos, observando o mundo pela lente do logos, tornaram a realidade racionalizável. Estava certo Charles Kahn quando afirmou que ‘em certo sentido, a concepção grega de um universo ordenado racionalmente é também essa da ciência moderna’ (In: C. Kahn. *Anaximander and the Origins of Greek Cosmology*. New York: Columbia Univ. Press, 1960, p. 211). Eles tornaram o Cosmos capaz de ser investigado logicamente, capaz de ser medido e calculado... Sua abordagem para compreender a realidade rompe com a causalidade individualizadora do mito e busca explicações gerais para as coisas, para o todo da physis”³⁹.

Dizemos em certo sentido porque, por um lado, a física contemporânea carece de mesmo alcance filosófico a que a elevaram os pré-socráticos na tentativa de compreender a

³⁷ cf. MONDOLFO, 1971-73, p. 35.

³⁸ A physis grega pode assumir significados específicos, dependendo do ponto de vista que se possa assumir, embora, no geral, ela seja admitida sempre como a origem de todas as coisas, o primário, o fundamental. Para JAEGER a physis é o processo de surgir e desenvolver-se; fonte originária das coisas; aquilo a partir do qual tudo se desenvolve; BURNET define a physis como o que é primário, fundamental e persistente; Para HEIDEGGER a physis é o próprio ser, graças ao qual o ente se torna e permanece observável (cf. BORNHEIM, 1993, p. 12). VEAZIE parece divergir da concepção de physis como substância primeira, referindo-se a physis como princípio de movimento e não como substância primeira, como quis Burnet (cf. KOIKE, 1999, p. 172).

³⁹ KOIKE, 1999, p. 177-178. Sobre a visão de um universo ordenado racionalmente na física contemporânea ver: David Bohm (1992), Amit Goswami (2002), Filippo Selvaggi (1980), Albert Einstein (1981), Jean Guilton (1992).

totalidade de tudo o que existe, ao passo que estes careceram do seu apoio técnico experimental.

Na física contemporânea, a realidade natural – a(s) substância(s) básica(s) que a compõe – e o misterioso comportamento dos átomos, foi pouco a pouco sendo revelado, durante as primeiras três décadas do século XX, por um grupo de físicos que inclui Einstein, Bohr, Dirac, Schrödinger, Pauli, o próprio Heisenberg e muitos outros. Foram 30 anos que abalaram profundamente os alicerces da física, transformando a nossa concepção de mundo, demonstrando assim, a estreita relação que pode e deve existir entre o pensamento científico e filosófico. Por meio de experimentos em aceleradores de partículas⁴⁰ extremamente sofisticados, hoje é possível saber o que ocorre dentro de um próton, por exemplo. O mundo subatômico revelou-se muito diferente do que ocorre a nossa volta. É impossível medir com precisão a posição e a velocidade de uma partícula⁴¹. No mundo quântico, tudo flutua, nada está parado. Essas flutuações de energia levam à criação e destruição de partículas e antipartículas⁴².

As partículas atômicas revelaram-se não ser indestrutíveis como se supunha e, ainda, são capazes de sofrer várias transformações e interações entre si, incluindo o fato de poderem se desintegrar em radiação eletromagnética, a conversão entre matéria e energia descrita pela famosa equação $E=mc^2$. Mas a motivação nos dois casos – desde o naturalismo jônico até à física contemporânea – é a mesma: a busca pelas entidades

⁴⁰ Os **aceleradores de partículas** são equipamentos que fornecem energia a feixes de partículas subatômicas eletricamente carregadas. Todos os aceleradores de partículas possibilitam a concentração de alta energia em pequeno volume e em posições arbitrárias e controladas de forma precisa. O acelerador de partículas é um instrumento essencialmente construído utilizando uma fonte de partículas carregadas expostas a campos elétricos que as aceleram. Após a aceleração passam em seguida por um campo magnético que as desvia de suas trajetórias focalizando-as e controlando as direções (defletindo-as).

⁴¹ Essa impossibilidade é determinada pelo *princípio de incerteza* de Heisenberg. O **princípio da incerteza de Heisenberg** consiste num enunciado da mecânica quântica, formulado inicialmente em 1927, impondo restrições à precisão com que se podem efetuar medidas *simultâneas* sobre a posição e a velocidade de uma partícula.

⁴² As pesquisas seguem adiante em um ritmo quase alucinante. Poderíamos dizer, servindo-nos da expressão de Chris Smith (pesquisador do Departamento de Física da Universidade de Oxford), que os detectores de partículas são os olhos eletrônicos dos físicos. O mesmo Chris Smith, em artigo da *Scientific American*, é quem nos fala da construção de um novo colisor de partículas que está em prosseguimento enquanto escrevemos estas linhas. Localizado na fronteira da França com a Suíça, em um túnel de 27 quilômetros a 100 metros de profundidade, o Grande Colisor de Hádrons (LHC) deverá começar a funcionar em 2007. “O LHC terá cerca de sete vezes a energia do colisor Tevatron, localizado no laboratório Acelerador Nacional Fermi, em Batavia, Illinois, que descobriu, no começo da década de 1990, uma partícula procurada havia muito tempo, o quark top”. In: SMITH, Chris Llewellyn. *No coração da matéria*. *Scientific American do Brasil*. Edição Especial N. 08, p. 52-59, 2005, p. 53. Ver também sobre o LHC: KANE, Gordon. *A aurora da física além do Modelo Padrão*. *Scientific American do Brasil*, n. 14, p. 76-83, julho, 2003.

fundamentais da matéria, pelo que existe de mais íntimo por trás da realidade material que nos cerca⁴³.

Mais especificamente, poderíamos dizer que no século XX, a Física tem se caracterizado por uma penetração sempre crescente nesse mundo de dimensões submicroscópicas, chegando aos reinos dos átomos, dos núcleos e dos seus componentes. Essa exploração do mundo microscópico tem sido motivada por uma questão básica que tem ocupado e estimulado o pensamento humano através dos séculos desde o pronunciamento de Tales: de que é feita a matéria? Desde o início da filosofia natural, os homens têm especulado acerca dessa questão, tentando encontrar a “substância básica” da qual é feita toda a matéria⁴⁴. Somente no século XX, contudo, tornou-se possível buscar uma resposta através da realização de experimentos. Tentar estabelecer este diálogo entre Física e Filosofia será, de fato, um dos nossos objetivos constantes para o qual nos esforçaremos ao máximo para concentrar nossas atenções.

Que é a matéria? Para Bertrand Russel, esta questão deve ser respondida por meio da física. Mas as implicações que daí resultarem devem ser interpretadas por meio de uma filosofia que dê conta da nossa realidade ontológica⁴⁵.

Com a ajuda de tecnologia altamente sofisticada, os físicos puderam explorar primeiramente a estrutura dos átomos. Ao fazê-lo, observaram que os mesmos eram constituídos de núcleos e elétrons; por sua vez, descobriram que a estrutura dos núcleos atômicos era constituída de prótons, nêutrons, comumente denominados núcleons. No último século, os físicos deram passos importantes e começaram a investigar a estrutura dos núcleons – os componentes dos núcleos atômicos – que, novamente, não pareciam ser as partículas elementares últimas, mas sim, constituídos de outras entidades. O primeiro passo

⁴³ “Os filósofos gregos abordaram problemas filosóficos fundamentais e formularam respostas que conservam a sua importância, ainda que a sua perspectiva estivesse condicionada pelo escasso desenvolvimento das ciências” (ARTIGAS, 2005, p. 28).

⁴⁴ “A antiga filosofia grega, de Tales de Mileto aos atomistas, ao procurar descobrir um princípio de unificação dentro da mutabilidade universal de todas as coisas, criou o conceito de matéria cósmica, vale dizer, a substância universal que passaria por todas essas transformações, da qual todas as coisas emergiriam para depois a ela retornar. Essa matéria primordial era, em parte identificada com algum tipo específico de matéria, como por exemplo, água, ar ou fogo” (HEISENBERG, 1999, p. 205).

⁴⁵ “Nenhuma filosofia pode passar inadvertida as mudanças que em nossas idéias do mundo físico acreditaram necessário introduzir os homens de ciência (...) Nossa idade penetrou mais profundamente na natureza das coisas que nenhuma outra idade precedente, e fora inadequada modéstia sobreestimar do que ainda se pode aprender dos metafísicos dos séculos XVII, XVIII e XIX” (RUSSEL, *Fundamentos de Filosofia*, p. 107 e 108).

na penetração em camadas cada vez mais profundas da matéria – a exploração do mundo dos átomos – deu origem a diversas e profundas modificações em nossa concepção da matéria. A penetração no mundo dos núcleos atômicos e seus componentes nos têm levado a profundas transformações em nossas concepções. Até bem pouco tempo atrás (antes da revolução da física nuclear), a idéia que se tinha da matéria era simples: se eu quebro uma pedrinha, obtenho grãos de poeira que, por sua vez, são formados de moléculas e estas, formadas de átomos, algo como “bolinhas” de matéria, supostamente indivisíveis. Eis nos no início dos anos 1900. A teoria quântica nos diz que, para compreender o real, é preciso renunciar à noção tradicional de matéria: matéria tangível, concreta, sólida. Existimos através de “alguma coisa” cuja natureza e espantosas propriedades temos bastante dificuldade de apreender.

A filosofia não pode passar indiferente a estes novos clarões trazidos a lume pela teoria quântica e este será, despretensiosamente, objeto de nossas indagações e reflexões que pretendemos promover durante a redação da nossa dissertação. Sobretudo, com base na idéia heisenbergiana de pensar a *unidade* da estrutura básica do real estabelecendo, inclusive, pontos de contato com a filosofia grega, retomando, assim, o monismo filosófico que de algum modo se assemelha ao monismo dos naturalistas jônicos e heraclítico. Este extraordinário esforço da razão humana, dos primeiros filósofos, tornaram a realidade racionalizável, no mesmo sentido em que a ciência contemporânea também procura entender este imenso mecanismo que anima desde as mínimas partículas do universo até os gigantes corpos celestes com seu cortejo de estrelas, galáxias, planetas etc. Os gregos abriram o caminho para que a ciência atual pudesse penetrar nos mais ínfimos mistérios da vida e do cosmos e deixaram uma herança incalculável: “Parece-me fascinante – diz Heisenberg – pensar que hoje, nos mais diversos países do mundo e com os meios mais poderosos de que dispõe a moderna tecnologia, se desenvolve uma luta para resolver em conjunto problemas colocados há dois milênios e meio pelos filósofos gregos” (BORN; [et al], 2004, p. 27)⁴⁶.

O que torna o conhecimento científico diferente destas idéias originárias consiste em atrelar tal conhecimento em conformidade com as experiências científicas dos nossos

⁴⁶ Este livro contém quatro conferências, das quais uma delas foi proferida por Heisenberg, em Genebra, e publicada na referida obra

dias, a partir do qual podemos considerar a transmutação das partículas como transmutações dos elementos que compõem a matéria, mas também, e principalmente, como transmutação da matéria em uma forma dada de energia e vice-versa.

Influenciado pelo mesmo espírito filosófico que animava os jônicos, também Heisenberg via a unidade na multiplicidade. Na mutabilidade e transformabilidade das substâncias materiais, na imensa heterogeneidade das formas, esconde-se uma homogeneidade de substância, uma unidade fundamental da matéria: é, como veremos, o que propõe Heisenberg.

III. ANTIGA E NOVA CONCEPÇÃO DA MATÉRIA

O objeto de investigação dos primeiros filósofos é o mundo natural, a *physis*, procurando explicar os fenômenos naturais a partir de causas naturais; a chave da compreensão da realidade natural encontra-se nela mesma e não fora dela, em um mundo sobrenatural.

A maior parte dos primeiros filósofos⁴⁷ considerava como os únicos princípios de todas as coisas os que são de natureza da matéria. Aquilo de que todos os seres são constituídos, e de que primeiro são gerados e em que por fim se dissolvem, enquanto a substância subsiste mudando-se apenas as afecções, tal é, para eles, o elemento (*stokheion*), tal é o princípio dos seres; e por isso julgam que nada se gera nem se destrói, como se tal natureza subsistisse sempre... Pois deve haver uma natureza qualquer, ou mais de uma, donde as outras coisas se engendram, mas continuando ela a mesma. Quanto ao número e à natureza destes princípios, nem todos dizem o mesmo. Tales, o fundador de tal filosofia, diz ser a água [o princípio] (é por este motivo também que ele declarou que a terra está sobre a água), levado sem dúvida a esta concepção por ver que o alimento de todas as coisas é úmido, e que o próprio quente dele procede e dele vive (ora, aquilo de que as coisas vêm é, para todos, o seu princípio). Por tal observar adotou esta concepção, e pelo fato de as sementes de todas as coisas terem a natureza úmida; e a água é o princípio da natureza para as coisas úmidas⁴⁸.

3.1 MONISMO E DINAMISMO

A Tales de Mileto (séc. V ou VI a.C.), é atribuída a idéia de que a *água* seria a causa material de todas as coisas. O pronunciamento de Tales foi a primeira sugestão da idéia de uma substância fundamental, da qual todas as outras seriam constituídas por modificações. Assim, o filósofo postula a idéia de que todas as coisas poderiam ser reduzidas a um único princípio⁴⁹.

⁴⁷ Como dissemos, Aristóteles também chama-os de físicos – *physiologi*.

⁴⁸ Aristóteles. In: OS PRÉ-SOCRÁTICOS, 1999, p. 40.

⁴⁹ É muito significativo que a idéia de uma substância que dê origem a todas as outras tenha começado com a água. A água é, das substâncias conhecidas (terra, água, fogo e ar), a que mais se presta, aos nossos sentidos, a mudar de estado (líquido, gasoso, sólido). Hoje sabemos que o que diferencia a água nestes diferentes estados é a velocidade de vibração das moléculas de hidrogênio e oxigênio. Tales, certamente, não sabia disto. Não sabia se quer da existência de moléculas presentes na água. Mas é bem provável que, partindo da observação

A proposição de Tales de que a água é o princípio de todas as coisas, *arché*, é, como dirá Nietzsche, um postulado metafísico, mais do que um postulado científico; com tal proposição, dissemos, a Filosofia se inicia, porque, através dela, se pensa uma *forma física* determinada⁵⁰ de que o “um” é a essência, a origem de todas as coisas.

A filosofia grega parece começar com uma idéia absurda, com a proposição: a água é a origem e a matriz de todas as coisas (...) nela – na proposição – embora apenas em estado de crisálida, está contido o pensamento: “Tudo é um” (...) em virtude – desta mesma proposição – Tales se torna o primeiro filósofo grego (...) Ao expor essa representação de unidade através da hipótese da água, Tales não superou o estágio inferior das noções físicas da época, mas, no máximo, saltou por sobre ele. As parcas e desordenadas observações da natureza empírica que Tales havia feito sobre a presença e as transformações da água ou, mais exatamente, do úmido, seriam o que menos permitiria ou mesmo aconselharia tão monstruosa generalização; o que o impeliu a esta foi um postulado metafísico, uma crença que tem sua origem em um intuição mística e que encontramos em todos os filósofos, ao lado dos esforços sempre renovados para exprimir-lhe melhor – a proposição: ‘Tudo é um’,⁵¹.

Tales é considerado o primeiro filósofo por ser o precursor de um modo de explicação da realidade natural a partir dela mesma. “Tales foi o iniciador da filosofia da

dos diferentes estados da água, pudesse generalizar e admitir a idéia de que toda realidade bem poderia ser entendida como transformações dessa substância, originária, donde derivaria toda a diversidade encontrada no real. Assim, por condensação, a água se solidifica e se torna terra e por rarefação, se vaporiza e se torna ar. Por um processo análogo, temos então, na origem de todas as substâncias, uma transmutação do elemento água, nas mais diferentes substâncias. Nesse sentido, a grandiosidade de Tales (ou de qualquer outro que pudesse ter tomado a água como princípio originário) se torna ainda mais relevante, pois ele não apenas iniciou uma tradição que procurou explicar a realidade à luz de princípios racionais a partir dela mesma, como pensou a única substância que poderia ser, até então, tomada como tal, pois nenhuma outra (terra, fogo, ar) se apresenta de forma tão evidente em estados diferentes como a água. Somente então, a partir da água, Anaxímenes poderia pensar o ar, Anaximandro o apeiron etc. Mas se não houvesse uma substância como a água, que se prestasse à experiência comum, aparecendo em diferentes estados, dificilmente a idéia de uma outra substância como princípio originário seria aceita pelas mentes grandiosas da aurora da filosofia grega. Assim, parece que o fato que mais particularmente atraiu a atenção dos físicos gregos, entre os fenômenos de mudança, era a possibilidade que apresenta a matéria de passar sucessivamente por diferentes estados físicos sem se destruir. A persistência das propriedades dos elementos então conhecidos conduziram os físicos da Escola de Mileto e entre eles, Tales de Mileto, a considerar tal ou qual substância como princípio de todas as coisas. Além disso, não é improvável que, também partindo da observação, Tales admitisse a idéia de que toda vida depende da água para sobreviver. Então, não só a água é o elemento originário, como também o elemento constitutivo fundamental de todo ser vivo.

⁵⁰ No “contexto [pré-socrático], a palavra ‘substância’ certamente não foi, naquele tempo, interpretada no sentido puramente material que, frequentemente, a ela atribuímos em nossos tempos. A vida estaria ligada a essa substância ou a ela seria inerente, e Aristóteles também atribui a Tales a seguinte afirmação: ‘Todas as coisas estão cheias de deuses’. Mesmo assim, no primeiro dos pronunciamentos acima citados (de que todas as coisas são feitas de água), a questão dizia respeito à causa material das coisas...” (HEISENBERG, 1999, p. 88).

⁵¹ Nietzsche. In: OS PRÉ-SOCRÁTICOS. 1999, p. 43 e 44.

physis, pois foi o primeiro a afirmar a existência de um princípio originário único, causa de todas as coisas que existem, sustentando que esse princípio é a água” (REALE; ANTISERI, 1990, p. 29).

A tradição indireta diz que Tales deduziu essa sua convicção [de que a água é a origem de tudo] ‘da constatação de que a nutrição de todas as coisas é úmida’, de que as sementes e os germens de todas as coisas ‘têm natureza úmida’ e de que, portanto, a secagem total significa a morte. Assim, como a vida está ligada à umidade e esta pressupõe a água, então a água é a fonte última da vida e de todas as coisas. Tudo vem da água, tudo sustenta sua vida com água e tudo acaba na água⁵².

Daí, a identificação do “princípio” com a “água”. É preciso levar em consideração que a água de Tales não é esta substância físico-química que bebemos, mas o princípio originário de onde tudo deriva e da qual a água que bebemos é apenas uma de suas manifestações. Além disso, de todas as coisas que conhecemos, a água é a substância que parece mais se prestar a tomar formas variadas de estados: sólido, líquido e gasoso⁵³.

Eis, em resumo, as três proposições sobre Tales indicadas por Aristóteles⁵⁴.

1. A terra flutua sobre a água.
2. A água é a causa material de todas as coisas.
3. Todas as coisas estão cheias de deuses.

A primeira destas indicações deve ser compreendida à luz da segunda, que é expressa na terminologia aristotélica, mas significa sem nenhuma dúvida que, na opinião de Tales a água era a coisa fundamental ou primordial da qual todas as outras não eram senão formas puramente transitórias, era justamente, como nós o vemos, uma substância primordial que procurou toda a escola milesiana... a grandeza de Tales consiste no fato de ter sido o primeiro a se perguntar não por qual era a coisa originária, mas qual é, agora, a coisa primordial, ou, mais simplesmente ainda, de que o mundo é feito⁵⁵.

⁵² REALE, 1990, p. 30.

⁵³ Ver Apêndice A

⁵⁴ cf. BURNET, 1952, p. 48.

⁵⁵ BURNET, *L'aurore de la philosophie grecque*, p. 48.

Discípulo de Tales, Anaximandro negava que a substância fundamental fosse a água ou qualquer das outras substâncias já conhecidas; teria como caráter sua indeterminação, o ilimitado – *apeiron* –, sendo tal substância infinita⁵⁶ e indestrutível⁵⁷. Boa parte das idéias de Anaximandro nós o sabemos através da doxografia de Teofrasto. Seu pensamento (ou aquilo que sabemos dele), refere-se a uma unidade primordial de onde derivam e para onde retornam todas as coisas.

A causa material e o elemento primordial não é nem a água nem nenhuma outra substância dos elementos conhecidos, mas uma substância diferente, infinita, de onde tudo deriva, inclusive os céus e os mundos: é o *apeiron*. Anaximandro propõe assim uma noção mais abstrata que não se confunde com nenhum dos elementos tradicionais. “Com Anaximandro, a problemática do princípio se aprofundou: ele sustenta que a água já é algo derivado e que, ao contrário, o ‘princípio’ (arché) é o infinito, ou seja, uma natureza (physis) infinita e in-definida da qual provêm todas as coisas que existem” (REALE; ANTISERI, 1990, p. 31). Anaximandro recusa-se a ver a origem do real em um elemento particular uma vez que tudo o que vemos é limitado e o limitado não pode ser origem de todo o real, mas sim alguma coisa de natureza ilimitada.

... deve haver, por isto, um princípio que lhes seja anterior e que permita compreender tudo o que é limitado. Do ilimitado surgem inúmeros mundos, e estabelece-se a multiplicidade; a gênese das coisas a partir do ilimitado é explicada através da separação dos contrários (como quente e frio, seco e úmido) em consequência do movimento eterno; ciclicamente, o que está separado volta a integrar-se à unidade primordial, restabelecendo-se a justiça⁵⁸.

Do *apeiron* (ilimitado) emerge o nosso mundo por separação de opostos. Segundo a interpretação de Teofrasto, na origem do mundo, uma coisa capaz de produzir o quente e o frio foi separado do ilimitado. A terra e o mar, por exemplo, têm origem na matéria fria e úmida que foi separada no início.

⁵⁶ “O ilimitado é eterno” (frg. 2). Para Anaximandro, o princípio dos seres é infinito, dele tudo vem e nele tudo se dissolve; por ele também são gerados infinitos mundos e novamente separados por dissolução no princípio de onde nascem.

⁵⁷ “O ilimitado é imortal e indissolúvel” (frg. 3).

⁵⁸ BORNHEIM, 1993, p. 24.

Nós vemos aí que quando uma porção do infinito foi separada do resto para formar um mundo, ela se diferenciou primeiro em dois opostos, o quente e o frio. O calor aparece como uma esfera de fogo circundando o frio; o frio como uma terra cercada de ar. Não nos diz, todavia, neste extrato, como o frio veio aí a se diferenciar em terra, ar e água⁵⁹.

Um terceiro filósofo, Anaxímenes, também da escola de Mileto tal como Tales e Anaximandro, ensinava ser o *ar* a substância primeira. Anaxímenes provavelmente tenta conciliar Anaximandro e Tales, dizendo que o “princípio” deve ser infinito, mas algo determinado: o ar. “Como nossa alma, que é ar, soberanamente nos mantém unidos, assim também todo o Cosmo sopra e ar o mantém (frg. 2)”. O filósofo introduziu ainda a idéia de que os processos de condensação e rarefação fossem causa da transformação da substância primeira nas demais substâncias. A condensação do vapor d’água, por exemplo, dando lugar às nuvens. Anaxímenes não afirmou como Anaximandro que o princípio primordial seria indeterminado, mas determinado, dizendo ser este o ar⁶⁰. “A teoria anaximandriana do apeiron foi adotada por Anaxímenes que identificou o apeiron com o Ar, ao qual não é qualitativamente indeterminado” (BURNET, *L'aurore de la philosophie grecque*, p. 61).

Talvez, porque seja o mais incorpóreo e se encontre por toda parte, Anaxímenes tenha adotado o *ar* como princípio originário. O ar seria assim, o elemento invisível e incorpóreo que mais se presta a explicar a realidade física.

(...) por sua natureza de grande mobilidade, o ar se presta muito bem para ser concebido como estando em perene movimento... o ar se presta melhor do que qualquer outro elemento às variações e transformações necessárias para fazer nascer as diversas coisas. Ao se condensar, resfria-se e se torna água e, depois, terra; ao se distender e dilatar, esquentada e torna-se fogo⁶¹.

Com o processo de condensação e rarefação, Anaxímenes introduz um fato dinâmico para as mudanças.

Vejam agora o posicionamento de Heráclito de Éfeso em relação a este mesmo problema. O filósofo de Éfeso, ou, o “obscuro”, como também era conhecido, tomou como

⁵⁹ BURNET, *L'aurore de la philosophie grecque*, p. 67.

⁶⁰ “Dele (ar infinito) dizia terem nascido todas as coisas que existem, as que existirão, e os deuses e as coisas divinas, enquanto que as outras restantes provêm da descendência desse mesmo ar”; (cf. MONDOLFO, 1971-73, p. 45).

⁶¹ REALE, 1990, p. 34.

matéria primeira àquela que parece ser a mais “etérea”: o *fogo*. Alguns dos aspectos essenciais de sua doutrina são: a unidade fundamental (frg. 10, 50, 89, 103)⁶²; a idéia de que todas as coisas estão em movimento: dinamismo como característica essencial do princípio gerador de todas as coisas (frg. 12, 49a, 88); o fogo como gerador do processo cósmico (frg. 30, 31, 60, 90)⁶³.

“...As numerosas coisas aparentemente independentes umas das outras e em conflito umas com as outras da qual nós temos conhecimento, são em realidade unas, e de outra parte, esta unidade é também múltipla. A ‘luta dos contrários’ é em realidade uma ‘harmonia’” (BURNET, *L'aurore de la philosophie grecque*, p. 160). A sabedoria consiste na percepção da unidade que se esconde nesta “luta dos contrários”.

Anaximandro ensinara já que os contrários saíram, por diferenciação, do ilimitado, mas que eles se resolviam nisto e que eles seriam assim punidos de suas injustas usurpações umas sobre as outras. Esta concepção implica que há algum mal na guerra que se fazem os contrários e que a existência do Múltiplo é uma brecha na Unidade do Um. A verdade que proclamava Heráclito, é que não há Um sem Múltiplo nem Múltiplo sem Um. O mundo é ao mesmo tempo um e múltiplo, e é justamente a “tensão contrária” do Múltiplo que constitui a unidade do Um⁶⁴.

Aqui podemos já iniciar a estabelecer alguns pontos de contato entre a filosofia grega (*physis*) e a física moderna: “Do ponto de vista da física moderna, se substituirmos a palavra ‘fogo’ por ‘energia’, poder-se-ia quase repetir suas afirmações [de Heráclito]” (HEISENBERG, 1981, p. 31).

A energia é, de fato, a “substância” da qual são feitas todas as partículas elementares, átomos e, portanto, todas as coisas; tais elementos podem de fato ser formados 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 de toda mudança no mundo. Somemos à idéia de “fogo” de Heráclito, a concepção de que para o filósofo, “a guerra é comum a todas as coisas (frg. 53), conflito é justiça, e que todas as coisas vêm a ser e depois deixam de ser pela discórdia e necessidade

⁶² Frg. 10. ... de todas as coisas, um, e de um, todas as coisas; Frg. 50. (Heráclito afirma a unidade de todas as coisas...) todas as coisas são um.

⁶³ Frg. 90. O fogo se transforma em todas as coisas e todas as coisas se transformam em fogo...

⁶⁴ BURNET, *L'aurore de la philosophie grecque*, p. 161.

(frg. 80)”; tudo flui⁶⁵ (παντα ρει), dizia Heráclito; tudo está em perpétua e contínua mudança. Aqui, os pontos de contato entre a filosofia grega e a ciência moderna vão aparecendo, guardadas as devidas proporções, já evidentes.

O fato de a massa de uma partícula ser equivalente a uma certa quantidade de energia significa que a partícula não pode mais ser encarada como um objeto estático mas sim, que ela deve ser concebida como um modelo dinâmico, um processo que envolve uma energia, que se manifesta a si mesma como a massa da partícula.

Esse conhecimento em termos de processo surge na física com a teoria da relatividade de Einstein. O reconhecimento de que a massa é uma forma de energia eliminou da ciência o conceito de substância material. As partículas subatômicas são padrões de energia, que está associada com atividade, com processo, e isto implica que a natureza das partículas subatômicas é intrinsecamente dinâmica. Ao observá-las, vemos padrões dinâmicos, transformando-se continuamente uns nos outros – “uma contínua dança de energia” –, no dizer de Fritjof Capra.

Eis ainda o que pensa Heisenberg da aproximação entre a visão de Anaximandro e o ponto de vista moderno da teoria atômica. Primeiro, em relação a visão contemporânea das partículas elementares:

- 1) todas as partículas elementares poderiam ser explicadas de alguma maneira por um número menor de partículas elementares ‘fundamentais’...
- 2) todas as partículas elementares poderiam ser explicadas a partir de uma substância universal (chamá-la-íamos de energia ou matéria), nenhuma das partículas elementares podendo ser considerada mais elementar do que a outra. O último ponto de vista, é claro, corresponde à doutrina de Anaximandro e estou convencido de que, em física moderna, é o ponto de vista correto⁶⁶.

Com esta aproximação acreditamos poder cumprir, ao menos parcialmente e de forma ainda limitada, uma das tarefas a que nos conclama o Prof. Jorge de Albuquerque Vieira, da PUC-SP

⁶⁵ No princípio do fluxo universal dos seres faz-se comumente consistir a essência do pensamento de Heráclito.

⁶⁶ HEISENBERG, 1999, p. 90.

(...) muito do que tem sido discutido hoje em dia na moderna ciência foi elaborado pelos filósofos tidos como mais clássicos. Muitos conceitos, vistos como somente filosóficos, têm encontrado correspondência com conceitos científicos desenvolvidos nos últimos tempos. *Cabe a nós a tarefa de fundir esses conceitos, para ter toda a plenitude que eles permitem*⁶⁷.

Antes de encerramos este tópico gostaríamos de destacar um outro filósofo, pouco conhecido e pouco trabalhado, por certo, porque suas idéias não trazem nada de original em relação aos filósofos anteriores, mas que nos ajudarão a compreender melhor nossa temática proposta. *Diógenes de Apolônia* viveu no século V a.C. Foi contemporâneo de Anaxágoras de Clazômenas⁶⁸ e pode ser considerado o último filósofo pré-socrático. Do ponto de vista doutrinário, sua filosofia é uma espécie de retorno ao modo de pensar jônico. Diógenes assumiu um único princípio primordial – o ar – e pretendeu explicar os mais variados fenômenos a partir dele. Ao mesmo tempo, também encontrou espaço para o *nous* de Anaxágoras em seu sistema filosófico. Sabe-se que escreveu uma *Meteorologia*, um livro chamado *Da natureza do homem* e outro chamado *Sobre a ciência natural*. Todos os fragmentos que chegaram até nós derivam desta última obra. Eis um de seus fragmentos, conforme nos atesta Burnet:

2. Minha maneira de ver é, de forma resumida, que todas as coisas são diferenciações da mesma coisa, e são a mesma coisa. E isto é evidente, porque si as coisas que estão agora neste mundo – terra, água, ar e fogo e outras coisas que nós vemos existir neste mundo – se alguma destas coisas, eu digo, fosse diferente de não importa qual outra, diferente, quer dizer tendo uma substância particular para ela própria, e si não fosse a mesma coisa que é freqüentemente mudada e diferenciada, então as coisas não poderiam de nenhuma maneira se misturar umas com as outras de nenhuma forma. Uma planta não poderia crescer da terra, nem um animal nem nenhuma outra coisa vir à existência, se todas as coisas não fossem compostas de modo a serem as mesmas. Mas todas as coisas nascem da mesma coisa; elas são diferenciadas e tomam diversa formas em diferentes tempos e retornam à mesma coisa⁶⁹.

⁶⁷ VIEIRA, 2002, p. 60 – grifo nosso.

⁶⁸ Ver mais adiante.

⁶⁹ In: BURNET, *L'aurore de la philosophie grecque*, p. 408 e 409. Ou ainda: “Minha opinião é que todas as coisas são variações da mesma substância original, elas são o um e o mesmo. E isto é manifesto. Porque se, dentro da ordem presente do universo e de tudo o que nele aparece, uma coisa fosse diferente da outra, quer dizer, se ela fosse diferente em seu ser mesmo e se ela não permanecesse a mesma em suas diversas transformações e variações – então de nenhuma maneira as coisas não poderiam se misturar umas às outras, nem ser úteis ou inúteis umas às outras, uma planta não poderia crescer da terra, um animal qualquer que seja não poderia nascer, se não fosse formado desta maneira que é o um e o mesmo. Bem antes, as coisas variam a

O raciocínio de Diógenes parece ser como segue: as transformações incessantes das substâncias seriam um fato inexplicável, ininteligível, se elas não tivessem todas uma origem comum, quer dizer, se elas não compartilhassem, no fundo, de uma só e da mesma substância. As coisas individuais permaneceriam separadas eternamente umas das outras, sem poder se misturar ou se unir, se a sua origem comum não permitisse a elas uma tendência à se transformar umas nas outras ou a se combinar para voltar, finalmente, ao princípio comum que as engendra.

Este texto, que contém de alguma maneira os princípios filosóficos da teoria da unidade da matéria e das transmutações na física jônica, demonstra o papel representado pela unidade da matéria no vir-a-ser sensível. A matéria constitui o princípio da unidade e de solidariedade dos fenômenos, não apenas porque, logicamente e racionalmente, ela permite de os identificar, de reduzir suas diferenças, mas também porque, fisicamente e experimentalmente, ela é o princípio concreto que produz a mudança dos fenômenos, a causa eficiente da mudança. Não podemos negar, portanto, que em um tal raciocínio, a mudança tem algo de positivo e de muito próximo da substância, porque são precisamente as variações das coisas individuais que nos sugerem e mesmo que nos impõe esta idéia da substância única e idêntica⁷⁰.

Esta visão de Diógenes nos permite estabelecer novamente uma aproximação entre a física grega e a física contemporânea pois, tanto num caso como no outro, a idéia de transmutação – quer dizer da mudança das substâncias – e a da unidade da substância, são duas faces de uma mesma realidade, com a única diferença que a física contemporânea se baseia em todo um conjunto de fatos experimentais, cujos traços principais analisaremos mais adiante⁷¹. É verdade que, considerada em épocas diferentes, a idéia da unidade da matéria e das transformações a ela subjacente compreendem conteúdos diferentes e,

partir de uma mesma substância original, tomam tanto esta forma, tanto aquela e retornam em seguida à mesma substância” (Diels. *Fragmente der Worsocratiker*, I. In: KONCZEWSKA, *L'unité de la matiere et le probleme des transmutations*, p. 17).

⁷⁰ KONCZEWSKA, *L'unité de la matiere et le probleme des transmutations*, p. 18.

⁷¹ Ver Parte II – A estrutura da matéria nos séculos XIX e XX. Nesta parte iremos examinar o conjunto dos fatos que permitiu lançar as primeiras bases experimentais, sobre o qual as teorias da matéria e das transmutações puderam se desenvolver, sob o controle rigoroso da experiência. “As transmutações das espécies químicas, as transformações da energia em matéria e reciprocamente, como por exemplo a materialização e desmaterialização da luz – eis aqui duas formas deste progresso experimental do problema da mudança ou das metamorfoses da substância” (KONCZEWSKA, *L'unité de la matiere et le probleme des transmutations*, p. 289).

entretanto, aqui e ali, a pesquisa deste princípio tende para a afirmação de um mesmo princípio, uno e idêntico, comum aos fenômenos os mais diversos. “Esta pesquisa da unidade da matéria nos aparece portanto como um esforço incessante do pensamento para se reencontrar e se reconquistar, aí onde ele parece espalhar, se dispersar na multiplicidade dos fatos que ele constata sem poder disto obter as relações mais profundas”⁷².

3.2 PLURALISMO E ATOMISMO

Diógenes de Apolônia formulou de uma maneira particularmente clara o problema posto pela física jônica: como os corpos de qualidades diferentes e mesmo contrárias, podem se transformar, se misturar, se unir? O que preocupava, portanto, os físicos gregos, era a possibilidade de encontrar uma ligação de continuidade entre a descontinuidade. Para responder a este problema, os físicos gregos elaboraram a concepção de unidade da matéria. Mas tal concepção não pareceu suficiente e os filósofos pluralistas procuraram resolvê-la postulando a existência não de uma, mas de várias substâncias primordiais, ou então, postulando a existência de pequenas partículas indivisíveis. Da época de Parmênides em diante, todos os pensadores nas mãos dos quais a filosofia fez um real progresso abandonaram a hipótese monista.

Empédocles de Agrigento foi o primeiro a passar do monismo a um certo pluralismo. Talvez a fim de evitar a dificuldade de que uma substância primeira não poderia explicar a variedade das coisas e dos fenômenos, ele assumiu quatro elementos básicos: *terra, água, fogo e ar*⁷³; tais elementos misturar-se-iam uns aos outros e se separariam pela força do Amor (*philia*) e do Ódio (*neikos*)⁷⁴. Para Empédocles os quatro elementos são eternos⁷⁵.

Contemporâneo de Empédocles, Anaxágoras pensou uma variedade infinita de “sementes” (*spérmata*), infinitamente pequenas das quais todas as coisas seriam compostas. Anaxágoras substitui as duas forças (*philia* e *neikos*) de Empédocles, por uma Inteligência

⁷² KONCZEWSKA, *L'unité de la matière et le problème des transmutations*, p. 292.

⁷³ Os elementos representados: água, ar, fogo e terra, podem ser aqui identificados com os estados de úmido, frio, quente e seco.

⁷⁴ “A função do Amor é de produzir a união; a do ódio é de romper...” (BURNET, *L'aurore de la philosophie grecque*, p. 264). Além disso, não teríamos aqui, uma forma de pensar atração e repulsão?

⁷⁵ Nada não pode sair de nada ou ser reduzido a nada (cf. frg. 12).

(Nous) ordenadora e divina. O Universo é posto em movimento, não mais pelo Amor e Ódio, mas sim por *Nous*⁷⁶ que podemos traduzir como “Inteligência”⁷⁷.

Anaxágoras concebeu a realidade como composta de uma multiplicidade infinita de elementos a que denomina de homeomerias.

Precisamente por essa característica de serem-divisíveis-em-partes-que-são-sempre-iguais é que as “sementes” foram chamadas “homeomerias” (o termo aparece em Aristóteles, mas não é impossível que seja de Anaxágoras), que quer dizer “partes-semelhantes”, “partes qualitativamente iguais” (obtidas quando se divide uma das “sementes”)⁷⁸.

Apesar de conceber uma pluralidade infinita de elementos Anaxágoras também reconhece que há em cada coisa uma porção de cada coisa, pois aquilo que existe (cabelo, corpo etc) não poderia vir do que não existe, ou para ser mais exato, o que os homens chamam comumente nascimento e destruição não é senão mistura e separação (frg. 17)⁷⁹. “Como o cabelo pode vir do que não é cabelo, ou a carne do que não é carne?” (frg. 10). E mais adiante: “Há em cada coisa uma porção de cada coisa” (frg. 11).

Mais um passo e chegamos à concepção atomística de Leucipo e Demócrito. Pela primeira vez na história se enuncia a idéia da existência de partículas extremamente diminutas e indivisíveis. “Se existe algo em física moderna que possa ser comparado aos átomos de Demócrito, são partículas elementares como prótons, nêutrons, elétrons e mésons” (HEISENBERG, 1981, p. 35).⁸⁰

⁷⁶ No princípio do mundo, toda a matéria, composta de pequenas partículas (homeomerias), formava uma mistura desordenada, no qual o *Nous* introduziu a ordem. “Como Empédocles, Anaxágoras tinha necessidade de alguma causa externa para produzir o movimento na mistura... Anaxágoras chamou a causa do movimento de *Nous*” (BURNET, *L'aurore de la philosophie grecque*, p. 308).

⁷⁷ Assim se refere Anaxágoras no fragmento 2: “Todas as outras coisas têm parte de cada coisa, mas a inteligência é ilimitada, independente e não misturada a alguma coisa, mas é só em si mesma... ela é a mais sutil e mais pura de todas as coisas, possui pleno conhecimento de tudo e tem imensa força. E todas as coisas que têm vida, as maiores, são todas dominadas pela inteligência. A inteligência deu impulso à rotação universal, de modo que desde o princípio se desse o movimento rotatório...” (In: REALE; ANTISERI, 1990, p. 63 e 64).

⁷⁸ REALE; ANTISERI, 1990, p. 62.

⁷⁹ Este fragmento é quase uma paráfrase em prosa de Empédocles (frg. 9).

⁸⁰ “Na época atual os quatro elementos da física antiga (terra, água, ar e fogo) foram substituídos por um grande número de elementos químicos básicos” (WEISZÄCKER; JUILFS, *Contemporary Physics*, p. 107). – Há algumas décadas atrás pensava-se que prótons e nêutrons fossem partículas elementares, mas experimentos em que prótons colidiam com outros prótons ou elétrons mostraram que estes eram formados por partículas ainda menores, os quarks. Mais adiante, iremos ver com mais detalhes que existem ainda algumas variedades de quarks: up, down, strange, charmed, bottom e top. Um próton ou um nêutron é formado por três quarks, sendo os do próton dois up e um down e os do nêutron dois down e um up. É

A doutrina atomista sustenta que a realidade consiste em átomos e no vazio, os átomos se atraindo e se repelindo, e gerando com isso os fenômenos naturais e o movimento. A atração e repulsão dos átomos devem-se às suas formas geométricas, sendo que átomos de formas semelhantes se atraem e os de forma diferente se repelem. Os átomos são qualitativamente indiferenciados, sendo diferentes entre si somente na forma ou na figura geométrica, pela ordem e pela posição⁸¹. “Os átomos dos abderitas são a fragmentação do Ser-Uno eleático em infinitos seres-unos, que aspiram a manter o maior número possível de características do Ser-Uno eleático” (REALE; ANTISERI, 1990, p. 65).

Átomos, vazio e movimento constituem a explicação de tudo. O movimento leva os átomos semelhantes a agregarem-se entre si. Átomos lisos, esferiformes, de natureza ígnea, os constituintes da alma e da inteligência.

Na contemporaneidade Heisenberg nos leva a discutir a seguinte questão: o que é uma partícula elementar? Estamos acostumados a falar, por exemplo, “um nêutron” sem, todavia, poder exibir uma descrição bem definida e um significado do termo. Podemos fazer uso de descrições diversas e apresentar “o nêutron”, ora como uma partícula, ora uma onda ou, ainda, como um pacote de ondas. De acordo com Heisenberg, porém, nenhuma dessas descrições é precisa. O nêutron, certamente, não tem cor, odor ou sabor. Nesse sentido, ele se assemelha ao átomo da filosofia grega. Mas uma partícula elementar deve certamente ser despojada mesmo dos outros atributos mantidos por Demócrito. Se quisermos oferecer uma descrição precisa de partícula elementar a única coisa que poderemos apresentar é uma função de probabilidade, que diz respeito à possibilidade de “ser” ou uma tendência para “ser”. A partícula elementar da física moderna é, portanto, uma entidade bem mais abstrata que o átomo dos antigos gregos⁸². As partículas

possível criar partículas formadas pelos outros quarks, mas todos se decompõem muito rapidamente em prótons e nêutrons (cf. HAWKING, 1988, p. 72 e 73).

⁸¹ Eis, em resumo, a teoria atomística de Leucipo e Demócrito: todos os átomos são dotados de extensão e são indivisíveis; todos os átomos são idênticos em substância, ou seja, tem uma *physis* única (cf., BURNET, 1952, p. 396); do que decorre que as diferenças devem ser explicadas pela forma dos átomos, seja pelo seu arranjo; os atomistas afirmavam, ao mesmo tempo, a existência do Pleno e do Vazio.

⁸² Sabemos agora que nem os átomos, nem os prótons ou nêutrons, em seu interior são indivisíveis; assim, uma outra questão a ser levantada é a seguinte: quais são as verdadeiras partículas elementares? Pensava-se que os átomos eram a menor unidade e, as partículas que se pensavam elementares há trinta anos ou mais são, de fato, formadas por partículas ainda menores. Nada nos impede de pensar, pelo menos até o final deste século, que se poderá encontrar vários novos pilares da estrutura mais básica, por exemplo, que quarks e elétrons.

elementares da física contemporânea têm massa e, isso, no mesmo sentido limitado com que exibem outras propriedades. Visto que massa e energia podem se converter uma na outra, de acordo com a teoria da relatividade, podemos dizer que todas as partículas elementares consistem de energia. É digno de nota, que as partículas elementares consistem de energia, sob o prisma $E=mc^2$. Isto poderia ser interpretado como fazendo da energia a “substância primordial” do Universo. Eis porque Heisenberg menciona que os pontos de vista da física contemporânea são, a esse respeito, bem próximos aos de Heráclito, caso interpretemos “fogo” como energia⁸³.

Para Heisenberg, a antiga questão do materialismo (atomismo grego) e do idealismo (platônico⁸⁴) surgem na contemporaneidade graças à física atômica e particularmente à Física Quântica.

Antes da descoberta do quantum de ação de Planck, as modernas ciências naturais exatas, a física e a química, eram orientadas segundo um ponto de vista materialista. No século XIX os átomos da química e os seus constituintes, hoje denominados partículas elementares, eram considerados os únicos entes efetivamente existentes, o substrato real de toda a matéria⁸⁵.

E conclui mais adiante:

Entrementes, nos últimos vinte anos o desenvolvimento da física atômica conduziu-nos para ainda mais longe os conceitos fundamentais da filosofia materialista na acepção antiga. Experiências mostraram que os corpos que devemos considerar indubitavelmente como as menores partículas de matéria, as chamadas partículas elementares, não são átomos eternos e inalteráveis, como Demócrito supunha, mas podem transmutar-se um no outro⁸⁶.

⁸³ De fato, energia é ‘aquilo que move’; ela pode ser considerada como causa primeira de toda mudança, podendo transformar-se em matéria, calor ou luz. O conflito entre os opostos, da filosofia de Heráclito, pode – na visão moderna – ser encontrado no conflito entre duas formas diversas de energia.

⁸⁴ Ver mais adiante.

⁸⁵ BORN; [et al], 2004, p. 12 e 13.

⁸⁶ BORN; [et al], 2004, p. 21.

3.3 Formalismo Matemático

Na filosofia de Demócrito, os átomos são unidades eternas e indestrutíveis de matéria e jamais podem se transformar uns nos outros. No que diz respeito a essa questão, a física moderna assume uma posição frontalmente contrária à Demócrito, favorecendo Platão e os pitagóricos. Com efeito, as partículas elementares certamente não são unidades eternas e indestrutíveis de matéria, pois podem de fato transformar-se em outras⁸⁷. De fato, as partículas elementares podem ser cindidas em processos envolvendo quantidades altíssimas de energia; estes fragmentos que resultam dessa colisão serão, como antes, partículas elementares, suas massas resultando da grande energia cinética das partículas colidentes. Em outras palavras, a transmutação de energia em matéria torna possível que os fragmentos de partículas elementares sejam novamente elementares.

Quanto à semelhança entre os pontos de vista modernos e aqueles de Platão e dos pitagóricos, ela pode ser levada mais além. As ‘partículas elementares’, no *Timeu* de Platão, não são, em última análise, substâncias mas sim, formas matemáticas. E ‘todas as coisas são números’ é uma sentença atribuída a Pitágoras. Mas as poucas formas matemáticas conhecidas naqueles tempos eram geométricas como os poliedros regulares ou os triângulos que compõem sua superfície. Na teoria quântica moderna, não pode haver dúvida de que as partículas elementares acabarão, também, por ser consideradas formas matemáticas, mas de natureza muito mais complexa⁸⁸.

A escola pitagórica é animada por um misticismo religioso afim com o orfismo e tem o seu centro na Matemática⁸⁹, no estudo dos números, cuja lei domina em todas as coisas, ou seja, todas as coisas são reguladas por meio da relação matemática, numérica e geométrica.

Todo o universo é harmonia e números: o mundo é concebido a partir de uma ordem perfeitamente interpretável pela razão. O princípio de onde tudo deriva não é uma coisa. A essência última de tudo, toda a diversidade do real, é dada pela diferença

⁸⁷ “Concretamente, se duas dessas partículas, movendo-se pelo espaço com energia cinética bastante elevada, acabarem por colidir, o resultado da colisão poderá ser a criação de muitas outras partículas elementares, com a eventual destruição de ambas as partículas iniciais, o que permite interpretar o fato de que as partículas elementares compartilham da mesma ‘substância’, a saber, a energia” (cf. HEISENBERG, 1981).

⁸⁸ HEISENBERG, 1981, p. 36.

⁸⁹ “Os pitagóricos parecem ter sido os primeiros a compreender a força criadora inerente às formulações matemáticas” (HEISENBERG, 1999, p. 98).

quantitativa e numérica. Com a analogia da música Pitágoras afirma que tudo o que vemos e tocamos, as coisas como se apresentam para nós, a existência real que está por trás de tudo, são *os números*. Pitágoras, tendo descoberto que havia proporção quantitativa entre os comprimentos das cordas da lira e os acordes da música, ficou fascinado e estendeu isto para o universo. O universo deve ser kosmos (harmonia) e tudo deve ser composto de proporções quantitativas⁹⁰.

Em relação a Platão, podemos dizer que este grande gênio da filosofia grega, no *Timeu*, apresenta suas idéias em relação com a doutrina pitagórica da harmonia dos números e identifica os elementos, terra, água, fogo e ar com os poliedros regulares, cubo, octaedro, tetraedro e icosaedro.

Para Platão... as menores partículas de matéria são, por assim dizer, apenas formas geométricas. Considera as menores partículas dos elementos idênticas aos corpos regulares da geometria. Como Empédocles, admite que os quatro elementos são terra, água, ar e fogo. Concebe as menores partículas do elemento terra como cubos, e as menores partículas do elemento água como icosaedros, identicamente, imagina como tetraedros as partículas elementares do fogo e, como octaedros, as do ar. A forma é característica para as propriedades do elemento⁹¹.

É importante compreender, antes de passarmos para o próximo ponto, que os princípios do atomismo grego, ou ainda, do realismo materialista (concepção atomística) eram postulados metafísicos (ontológicos), quer dizer, suposições sobre a natureza do ser e cuja validade tem sido questionada pela fragilidade dos alicerces sob os quais se fundamentam conforme nos mostrou o desenvolvimento da física de partículas.

As ciências, prisioneiras da física clássica e de sua bagagem filosófica do realismo materialista, têm sido as sereias tentadoras do ceticismo. Neste momento, *a nova física clama por uma filosofia nova* e libertadora e que seja *apropriada ao nosso nível atual de conhecimentos...*⁹².

⁹⁰ o 1 é o supremo princípio da harmonia universal; o 2 é o feminino; o 3 o masculino; o 4 é a matéria; o 5 é o casamento (2 + 3) etc.

⁹¹ BORN; [et al], 2004, p. 12.

⁹² GOSWAMI, 2002, p. 71 – grifo nosso. E ainda: “Filósofos materialistas têm acreditado ao longo da história que toda realidade é a interação de pequenas, indivisíveis partículas de matéria (átomos)” (WEISZÄCKER; JUILFS, *Contemporary Physics*, p. 97). – Sob as bases da exploração empírica do século XIX as propriedades dos átomos foram descobertas e com ela surgiu novamente o velho problema filosófico estrutura fundamental da matéria.

IV. O Desenvolvimento da Concepção Atomista

A antiga e respeitável filosofia grega, desde Tales de Mileto aos atomistas, e posteriormente com Aristóteles, ao procurar desvendar um princípio – *arché* – de unidade dentro da mutabilidade do mundo sensível, enfatizou a idéia de um princípio material original, uma substância universal de onde todas as outras se originariam e da qual todas as coisas emergiriam para depois a ela retornar. Essa matéria primordial, como vimos, era, em parte, identificada com alguma das substâncias materiais conhecidas, como a água, ar, terra, fogo, ou mesmo da junção (tal o pensamento de Empédocles de Agrigento e posteriormente Aristóteles) de todas elas.

Na aurora da ciência natural moderna um passo importante foi dado para tentar entender a estrutura da matéria com a criação do conceito de “elemento”. Dessa maneira, a grande variedade de substâncias observadas em nosso mundo foi reduzida a um número relativamente pequeno de substâncias fundamentais, os “elementos”, e a palavra átomo (de herança grega) foi então utilizada para designar a menor porção de unidade da matéria, o “elemento químico”, e passou a descrever a estrutura da matéria como um pequeno conglomerado de diferentes átomos⁹³.

A base das modernas classificações periódicas surgiu em 1869, com dois trabalhos independentes, mas bastante semelhantes, desenvolvidos pelo russo Dimitri Mendeleev (que baseou-se nas propriedades químicas dos elementos) e pelo alemão Lothar Meyer (que baseou-se nas propriedades físicas dos elementos). Ambos dispuseram os elementos em colunas (verticais), em ordem crescente de pesos atômicos, de modo que os elementos situados em uma mesma horizontal apresentassem propriedades semelhantes.

Em 1869, Mendeleev dispôs os elementos químicos até então conhecidos segundo a ordem de seus pesos atômicos e apresentou ao mundo a tabela periódica dos elementos, começando pelo hidrogênio e terminando no urânio, totalizando 63 elementos químicos⁹⁴.

⁹³ Cf. HEISENBERG, 1999, p. 208.

⁹⁴ “Descobriu Mendeleev que, dispondo os elementos em sete grupos segundo suas propriedades físicas e químicas, surgia uma notável ordem. As mesmas propriedades repetiam-se de sete em sete elementos. A tabela podia então ser usada para fazer previsões a respeito do comportamento químico dos elementos pela simples observação do lugar ocupado pelos elementos no esquema (...) Podia agora utilizar sua tabela periódica para prever como seriam os elementos que faltavam descobrir. Previu os pesos atômicos e outras propriedades químicas de diversos dos elementos que faltavam. Esses elementos, silício, gálio, germânico e escândio, foram encontrados depois, e com as propriedades que Mendeleev previra” (CANE, s/d, p. 301).

Em 1907, o número de elementos químicos aumentou para 86, e atualmente, com a criação de novos elementos pelo bombardeio atômico⁹⁵, este número ultrapassa a casa dos 100 elementos químicos até então conhecidos⁹⁶.

Em 1895, J. J. Thomson descobriu o elétron⁹⁷ e por meios dos raios catódicos⁹⁸ e da ampola de Crookes, sua descoberta viria a ser confirmada e também detectada a existência de mais uma partícula da matéria que foi chamada de próton.

Outro passo ainda mais importante foi dado no início do séc. XX para uma mais ampla compreensão da estrutura da matéria. O inglês Ernst Rutherford (1871-1937) foi um dos primeiros a estudar a radiatividade natural, ou seja, a propriedade que determinados elementos químicos apresentam, de emitir espontaneamente certos tipos de partículas ou radiações. Ele descobriu, por exemplo, que certos elementos emitiam partículas α ⁹⁹ (positiva) e β ¹⁰⁰ (negativa).

Rutherford sabia que o polônio e o rádio¹⁰¹ eram emissores naturais de partículas alfa e, em 1911, idealizou uma experiência que o conduziu a um modelo atômico em que os prótons seriam o núcleo, os elétrons distribuídos em órbitas, em torno desse núcleo como um sistema solar em miniatura.

A experiência realizada por Rutherford consistiu em bombardear uma lâmina (fina) de ouro com partículas alfa emitidas pelo polônio, utilizando um anteparo de chumbo para conseguir o feixe de partículas alfa; uma folha metálica delgada revestida internamente de sulfeto de zinco diria quais teriam sido as trajetórias das partículas, como numa chapa fotográfica. Eis como ele explicou a experiência: as partículas α (positivas) que passaram próximas do núcleo (positivo) foram repelidas e as partículas α que voltaram incidiram no

⁹⁵ Choque produzido pela colisão entre as diferentes partículas atômicas e subatômicas.

⁹⁶ Dos 109 elementos da tabela periódica, 19 são obtidos artificialmente. Dois destes antecedem o Urânio (Tc e Pm) e, por isso, são chamados cisurânios; os 17 restantes sucedem o Urânio, razão pela qual são chamados transurânios.

⁹⁷ No século VI a.C. Tales de Mileto já havia observado que pedaços de âmbar devidamente atritados, atraíam pequenos pedaços de folhas. O termo eletricidade vem do grego, *elektron*, que designa âmbar amarelo.

⁹⁸ Um dispositivo chamado de "ampola de Crookes" é feito de vidro ou quartzo e dentro dele se faz o vácuo. A ampola de Crookes contém duas placas metálicas ligadas a uma fonte de tensão elétrica. A placa ligada ao pólo negativo é chamada de catodo e a outra, ligada ao pólo positivo, é o anodo. Quando a tensão entre o catodo e o anodo fica bem elevada surge um feixe luminoso que sai do catodo e atravessa o tubo. São os "raios catódicos".

⁹⁹ Posteriormente descobriu-se que as partículas alfas são núcleos de Hélio composto por 2 prótons e 2 nêutrons.

¹⁰⁰ Ver mais adiante o "decaimento beta".

¹⁰¹ Dois dos elementos químicos da tabela periódica.

núcleo; como a maior parte das partículas passou quase sem sofrer desvios e as partículas que voltaram eram em número muito pequeno, Rutherford concluiu, fazendo medições quantitativas e cálculos, que o átomo teria um núcleo com diâmetro aproximadamente de 10^{-13} cm e que o diâmetro do átomo seria cerca de 100.000 vezes maior do que o núcleo e como a massa atômica é praticamente determinada pelo núcleo, pois os elétrons têm massa desprezível em relação à dos prótons, concluiu-se que o átomo era um grande “vazio”.

Em 1919, Rutherford realizou as primeiras experiências de transmutação de núcleos de elementos leves, transformando um núcleo de nitrogênio em um de oxigênio, acrescentando uma partícula alfa ao núcleo de nitrogênio e, ao mesmo tempo, arrancando dele um próton. Posteriormente, Cockcroft¹⁰² e Walton¹⁰³ transmutaram núcleos de lítio em hélio, abrindo ainda mais a linha de pesquisa que fez jus à denominação de *física nuclear* e que logo conduziu a um entendimento qualitativo da estrutura do núcleo do átomo¹⁰⁴.

Assim, a primeira reação de transmutação¹⁰⁵ artificial foi realizada por Rutherford em 1919; ele colocou um pedaço de polônio dentro de uma ampola celada contendo apenas Nitrogênio. Após algumas semanas constatou a presença de Oxigênio dentro da ampola. A única explicação plausível era: as partículas *alfa* emitidas pelo Polônio devem ter bombardeado o núcleo de Nitrogênio, transformando-o em Oxigênio. Hoje se pode constatar experimentalmente, pela câmara de Wilson¹⁰⁶.

¹⁰² **John Douglas Cockcroft** (1897 - 1967) foi um físico Britânico. Recebeu em 1951 o Prêmio Nobel da Física, por trabalhos pioneiros sobre transmutação de núcleos atômicos através de partículas aceleradas artificialmente.

¹⁰³ **Ernest Thomas Sinton Walton** (1903 - 1995). Físico irlandês. Recebeu em 1951, junto com Cockcroft, o Prêmio Nobel da Física, também por trabalhos sobre transmutação de núcleos atômicos através de partículas aceleradas artificialmente.

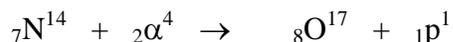
¹⁰⁴ Sobre as experiências de Rutherford, Cockcroft e Walton e a transmutação artificial de elementos em processos radioativos vide: HEISENBERG, 1999, p. 210, 211 e 217. Ainda sobre as experiências de Rutherford, ver: HEISENBERG, 1954, p. 57 a 59 e p. 145. Ver também WEISZÄCKER; JUILFS, 1961, p. 98 e 111 a 113.

¹⁰⁵ Uma reação é de transmutação quando os átomos sofrem transformação em seus núcleos originando-se de um novo elemento. A transmutação natural é verificada nos átomos radiativos onde os núcleos, por emissão espontânea de partículas, se tornam núcleos de outro elemento: os elementos com $Z > 81$ ($A > 206$) são naturalmente radiativos. A transmutação é artificial quando é provocada por bombardeamentos de núcleos utilizando-se partículas sub-atômicas. Todos os átomos radiativos naturais surgiram de três espécies de átomos radiativos: Urânio (inicia com ${}_{92}\text{U}^{238}$), Actínio (inicia com ${}_{92}\text{U}^{235}$) e Tório (inicia com ${}_{90}\text{Th}^{232}$). Quando o ${}_{92}\text{U}^{238}$ emite uma partícula alfa, ele se transforma em ${}_{90}\text{Th}^{234}$, este, se emitir uma partícula beta, transforma-se em ${}_{91}\text{Pa}^{234}$, termina quando se produz o ${}_{82}\text{Pb}^{206}$.

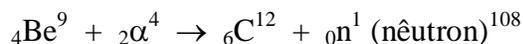
${}_{92}\text{U}^{238} \rightarrow {}_2\alpha^4 + {}_{90}\text{Th}^{234} \rightarrow {}_{+1}\beta^0 + {}_{91}\text{Pa}^{234}$

¹⁰⁶ **Câmara de Wilson**, também chamada **câmara de nuvens**, consiste em um eficiente método de identificação de partículas subatômicas inventado por Charles Thomson Rees Wilson na Universidade de Cambridge em 1897. Trata-se de uma câmara com interior saturado de vapor d'água. Ao se bombardear o

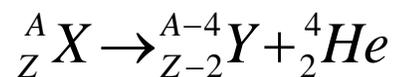
EIS A EQUAÇÃO DA TRANSMUTAÇÃO:



Dez anos depois, através do bombardeamento de berílio (Be) com partículas alfa (α), o inglês J. Chadwick¹⁰⁷ isolou o nêutron, de cuja existência já se suspeitava:



Tal a equação geral da reação de transmutação por emissão de partículas alfa:



Com a exploração do núcleo atômico por meio de processos de transmutação os físicos elaboraram suas concepções do modelo atômico e de sua estrutura nuclear.

A estrutura do núcleo mostrou ser de fato muito simples. O núcleo atômico consiste tão-somente de dois tipos de partículas elementares. Uma delas é o próton, é, simplesmente, o núcleo do hidrogênio; a outra, o nêutron, é uma partícula de massa aproximadamente igual à do próton (...) Todo núcleo pode ser caracterizado pelo número de prótons e nêutrons que o compõem¹⁰⁹.

O modelo atômico proposto por Rutherford não fazia referência ao comportamento dos elétrons em torno do núcleo. Foi o físico dinamarquês Niels Bohr que,

interior da câmara com partículas provenientes de um feixe de raios X ou uma fonte de raios gama, estas ionizam o gás presente na câmara. Os íons gasosos funcionam como núcleos de condensação do vapor, portanto ao se notar condensação, é verificada a existência das partículas.

¹⁰⁷ Chadwick e a descoberta do nêutron (cf. HEISENBERG, 1954, p. 145); (cf. WEISZÄCKER; JUILFS, 1961, p. 113).

¹⁰⁸ Posteriormente descobriu-se que a massa do próton era praticamente igual a massa do nêutron, concluindo-se que: $m_p = m_n = 1836 m_e$.

¹⁰⁹ HEISENBERG, 1981, p. 119.

em 1913, propôs um modelo atômico que pretendia explicar o comportamento dos elétrons, graças aos avanços obtidos na explicação dos fenômenos luminosos¹¹⁰.

Finalmente, chegou-se a uma descrição da matéria que, ao invés de um grande número de elementos químicos, poderia ser resumido em três unidades fundamentais: o próton, o nêutron e o elétron. Toda matéria consiste, portanto, destas três unidades fundamentais. Até há pouco tempo, o átomo era aparentemente indestrutível. Mas o átomo indestrutível foi sucedido por nêutrons, elétrons e prótons, aparentemente, indestrutíveis.

Estas observações, contudo, não nos permitiriam concluir em favor do princípio da unidade da matéria. É então que surge a pergunta: estas três unidades fundamentais da matéria, são unidades últimas, indivisíveis e indestrutíveis, tal como se pensava desde a velha filosofia atomística grega, sem relação alguma entre si, exceto por suas interações, ou seriam elas, tão somente, formas diversas do mesmo tipo de matéria? E estas tais unidades fundamentais poderiam transmutar-se umas na outras?

A fim de que possamos compreender a natureza da matéria, e saber do que ela é feita, em última instância, precisamos estudar os núcleos atômicos, que contém praticamente toda a massa do átomo.

Na visão realista materialista, de Demócrito (atomismo materialista) a Karl Marx (materialismo dialético), Nietzsche (nihilismo), Freud (materialismo psicológico), Sartre (existencialismo ateu), a realidade é concebida como material em seus fundamentos últimos. Essa visão consolidou-se com os avanços da concepção atomística até fins do século XIX e início do século XX. Até a década de 30, sabia-se que toda a matéria consistia em átomos e que todos os átomos consistiam em prótons, nêutrons e elétrons. Tais “partículas elementares” eram encaradas como as últimas e indestrutíveis unidades da matéria, átomos na acepção de Demócrito. Os desenvolvimentos posteriores da Física moderna mostraram que a noção de partículas elementares como sendo as unidades

¹¹⁰ Em 1913, Bohr propôs um modelo para o átomo de Hidrogênio que englobava as conclusões de Rutherford, os estudos feitos em relação ao espectro do átomo de hidrogênio e o postulado de Planck, que admitia a quantização de energia. Raciocinando em função desse modelo, Bohr calculou o raio e as energias dos elétrons do átomo de hidrogênio nas órbitas permitidas e conseguiu mostrar, teoricamente, que era possível prever o espectro do hidrogênio no qual ele se baseava para construir sua teoria. Quando Bohr e outros pesquisadores tentaram aplicar o modelo a outros átomos, verificou que falhava totalmente. Perceberam então, que outros fatores intervinham quando os átomos tinham mais de um elétron. Apesar disso, os méritos de Bohr foram incontestáveis, pois introduziu os conceitos de número quântico (n) e de nível de energia quantizada (E), o que lhe valeu o Nobel de Física.

primárias da matéria tinha que ser posta de lado. Foram descobertas novas partículas à medida que os físicos aperfeiçoavam suas técnicas experimentais.

Para o Filósofo francês *Jean Guilton*, trata-se de uma revolução do nosso pensamento, no que é acompanhado por físicos, filósofos e pensadores de todo mundo: “estamos no limiar de uma revolução de pensamento, de uma ruptura epistemológica não experimentada pela filosofia desde vários séculos (...) através da via conceitual aberta pela teoria quântica, emerge uma nova representação do mundo” (GUITTON, 1992, p. 06) ¹¹¹.

¹¹¹ E mais adiante: “Embora apoiada em vários séculos de teorias físicas e de experiências, a visão materialista do mundo se apaga diante de nossos olhos: devemos nos preparar para penetrar num mundo totalmente desconhecido” – *Ibidem*, p. 09.

V. Física de Partículas no Século XX

No século XX, a Física tem se caracterizado por uma penetração sempre crescente neste mundo de dimensões microscópicas, chegando ao reino dos átomos, dos núcleos e seus componentes. Em tal época tornou-se possível um conhecimento mais amplo destes fenômenos através da realização de experimentos. Com a ajuda de tecnologia altamente sofisticada, os físicos puderam explorar primeiramente a estrutura dos átomos. Ao fazê-lo, observaram que os mesmos eram constituídos de núcleos e elétrons; por sua vez, descobriram que a estrutura dos núcleos atômicos era constituída de prótons, nêutrons, comumente denominados núcleons. Nas últimas décadas do século passado, os físicos deram um novo passo adiante e começaram a investigar a estrutura dos núcleons – os componentes dos núcleos atômicos – que, novamente, não parecem ser as partículas elementares últimas, mas parecem ser constituídos de outras entidades. O primeiro passo na penetração em camadas cada vez mais profundas da matéria – a exploração do mundo dos átomos – deu origem a diversas e profundas modificações em nossa concepção da matéria. O segundo passo foi a penetração no mundo dos núcleos atômicos e seus componentes, o que levou a uma nova e igualmente profunda transformação em nossas concepções. Nesse mundo, lidamos com dimensões que se apresentam cerca de mil vezes menores que as dimensões atômicas e, conseqüentemente, as partículas confinadas em dimensões tão reduzidas movem-se com velocidades consideravelmente maiores do que as partículas confinadas às dimensões das estruturas atômicas. Movem-se de fato, tão rapidamente, que só podem ser descritas de forma adequada no âmbito da *teoria da relatividade*. Para compreender as propriedades e interações das partículas subatômicas, é necessário utilizar uma moldura que leve em conta a teoria quântica e a da relatividade¹¹².

Experiências realizadas por intermédio da radiação cósmica ou pelos grandes aceleradores revelaram novas e interessantes características da matéria. Além dos três tijolos fundamentais – elétron, próton e nêutron – novas partículas elementares foram descobertas, criadas em processos onde intervêm energias altíssimas (...) Essas novas partículas exibem propriedades semelhantes às antigas, salvo sua grande instabilidade (...) as experiências mostraram, também, que partículas podem ser criadas a partir

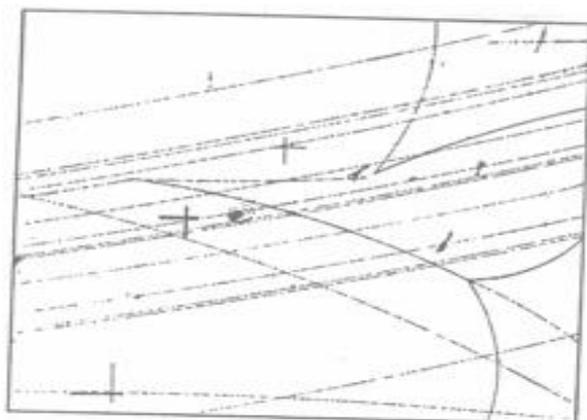
¹¹² Além da física quântica, a teoria da relatividade nos força a modificar uma vez mais nossa concepção em torno da matéria.

de outras (...) e que elas podem de novo se desintegrar em outras partículas (...)¹¹³.

Como vimos, com os experimentos de colisão da Física de alta energia e à medida que os físicos aperfeiçoavam suas técnicas experimentais novas partículas foram descobertas¹¹⁴. Partículas eram criadas e destruídas interminavelmente numa variação contínua de padrões de energia. Pesquisas ulteriores demonstraram, ainda, que existe uma antipartícula para cada partícula, com massa igual e carga oposta.

Um fato igualmente relevante é que todas as partículas podem transmutar-se umas nas outras; podem ser criadas e aniquiladas em processo de colisão: “A possibilidade de transformação parece ser uma característica das partículas elementares” (HEISENBERG, 1954, p. 63). Abaixo vemos, com maiores detalhes, essa relação¹¹⁵:

Figura 1

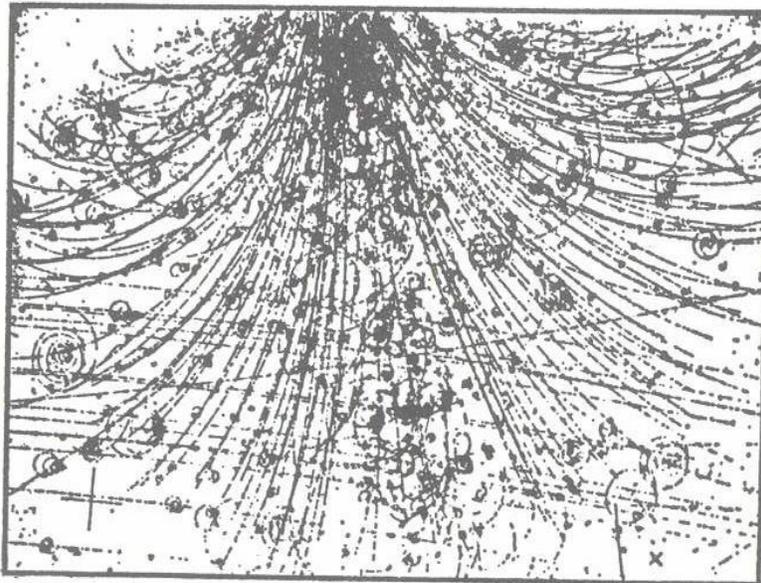
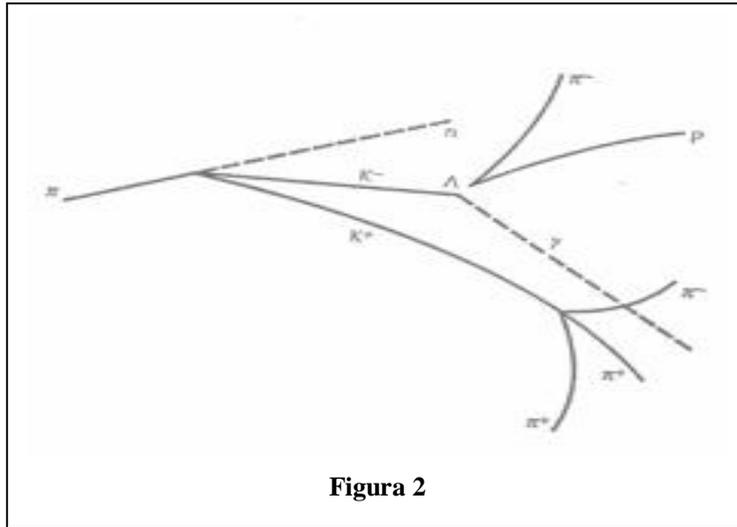


Um pión negativo (π^-) colide com um próton; ambas as partículas são aniquiladas e um nêutron (n) e dois káons (K^- e K^+) são criados: o nêutron foge sem deixar traço; o K^- colide com outro próton aniquilando-se e criando um lâmbda (λ) e um fóton (γ); o lâmbda decai num próton (p) e num pión negativo; o K^+ decai em três píons.

¹¹³ HEISENBERG, 1981, p. 121 e 122. Para maiores detalhes sobre a radiação cósmica ver: WEISZÄCKER; JULFS, 1961, p. 127 a 129.

¹¹⁴ “Quando deram seu alucinante mergulho no cerne da matéria, os físicos perceberam que sua viagem, longe de parar na fronteira do núcleo, desemboca na verdade no imenso oceano dessas partículas nucleares que designamos pelo nome de ‘hádrons’” (GUITTON, 1992, p. 73).

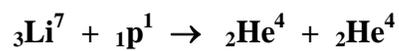
¹¹⁵ As figuras 1 a 3 foram extraídas do livro do Fritjof Capra, *O Tao da Física*.

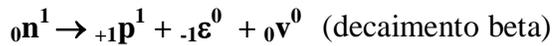


Uma chuva de aproximadamente 100 partículas produzida por um raio cósmico que atingiu uma câmara de bolhas acidentalmente

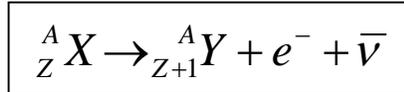
Figura 3

A fim de nos familiarizarmos ainda mais com a idéia de que átomos e partículas podem transmutar-se gerando átomos e partículas de outros elementos, abaixo descrevemos o bombardeamento de um átomo de Lítio por um próton, resultando em dois átomos de Hélio, seguido da expressão da reação do decaimento beta:

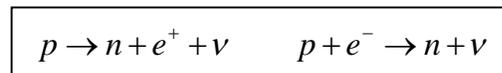
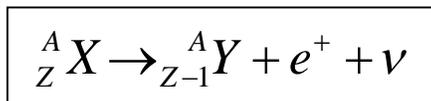




Tal a equação geral da reação de transmutação por emissão de partículas beta:



Os núcleos que têm um número relativamente grande de prótons em comparação com o número de nêutrons podem ser instáveis e sofrer desintegração β^+ , processo que consiste na emissão de pósitrons ($+e$) e neutrinos. Na desintegração β^+ um próton se transforma em um nêutron.



É interessante ressaltar aqui, nesse aspecto, a conclusão a que nos remete Bertrand Russel:

Até 1925, as teorias da estrutura do átomo se fundavam na antiga concepção da matéria como substância indestrutível (...) devido principalmente aos físicos alemães Heisenberg e Schrödinger, se desvaneceram os últimos vestígios do antigo átomo sólido e a matéria se converteu em algo tão fantasmagórico como qualquer coisa que se possa ver nas reuniões espíritas¹¹⁶.

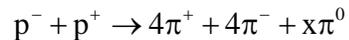
A Estrutura Fundamental da Matéria

Devemos, antes de nos encaminharmos para as conseqüências do estudo da física de partículas, nos familiarizarmos mais com esse campo de estudo da física moderna, a saber, sobre a estrutura fundamental da matéria, sem o qual dificilmente poderíamos ser conduzidos a estas reflexões.

¹¹⁶ RUSSEL, *Fundamentos de Filosofia*, p. 108.

As três propriedades básicas para identificar as partículas são *massa*¹¹⁷, *carga*¹¹⁸ e o *spin*¹¹⁹. As partículas agrupam-se de acordo as suas interações: *hádrons*¹²⁰ e *léptons*¹²¹. As antipartículas têm a mesma massa e spin que as partículas, porém carga oposta. Uma partícula e sua antipartícula podem aniquilar-se. Sua energia total reaparece na forma de outra partícula, tal como podemos observar abaixo:

Aniquilação próton-antipróton:



O número de partículas produzidas depende da energia disponível. Ainda aqui, o que não devemos perder de vista é o fato de que *as partículas fundamentais podem se transformar umas nas outras como resultado de suas interações*. E mais, quando um fóton, por exemplo, se transforma em um elétron e um pósitron, ou quando nasce um fóton de um elétron e um pósitron, é impróprio dizer que um fóton é composto de um elétron e um pósitron, como também é impróprio dizer que um próton seja formado de um nêutron, um elétron e uma antineutrino, no decaimento beta, mas é uma característica *fundamental* de todas as partículas essa possibilidade de transformação. Nos processos de colisão de partículas é válida a *Lei de Conservação* que diz que, nos processos que envolvem

¹¹⁷ **Massa** é uma grandeza fundamental da física, que, antigamente, correspondia à idéia intuitiva de "quantidade de matéria existente em um corpo". Existem dois conceitos distintos de massa. A **massa inercial** que é uma medida da resistência de um corpo à aceleração e que se define a partir da 2ª lei de Newton, e a **massa gravitacional**, que é a massa que provoca a atração gravitacional entre corpos e que se define pela Lei da Gravitação Universal. Até esse momento, todas as experiências realizadas mostram que a massa gravitacional é igual à massa inercial.

¹¹⁸ A **carga elétrica** é uma propriedade física fundamental e é esta propriedade que determina algumas das interações eletromagnéticas. Esta carga está armazenada em grande quantidade nos corpos ao nosso redor, mas a percepção dela não ocorre facilmente. Acredita-se na existência de dois tipos de carga, positiva e negativa, que em equilíbrio não são perceptíveis. Quando há tal igualdade ou equilíbrio de cargas em um corpo, diz-se que está eletricamente neutro, ou seja, está sem nenhuma carga líquida para interagir com outros corpos. Um corpo está carregado quando possui uma pequena quantidade de carga desequilibrada ou carga líquida. Objetos carregados interagem exercendo forças uns sobre os outros.

¹¹⁹ Em mecânica quântica, refere-se às possíveis orientações que partículas subatômicas, como prótons, elétrons, nêutrons, alguns núcleos atômicos, etc, têm quando estão em um campo magnético. O termo spin é encarado como quarto número quântico, necessário para definir uma partícula num sistema, como os níveis de energia no átomo

¹²⁰ Em Física Nuclear, um **hádron** é uma partícula que interage fortemente com outros hádrons. Exemplos de hádrons podem ser os prótons e nêutrons. Acredita-se que hádrons são compostos de férmions chamados quarks e de bósons chamados glúons. Os glúons são os mediadores, a "cola" que mantém os quarks juntos para formar os hádrons.

¹²¹ Em Física Nuclear, um **lépton** (grego para "leve", em oposição aos hádrons, que são "pesados") é uma partícula subatômica que não interage fortemente. Léptons comportam-se como férmions e não são feitos de quarks. Um lépton pode ser um elétron, um múon, um tau lépton ou um dos seus respectivos neutrinos.

partículas fundamentais tem a conservação da (1) quantidade de movimento linear (2) quantidade de movimento angular, (3) energia (4) carga.

O Modelo Padrão

O principal objetivo do LHC (Grande Colisor de Hádrons)¹²² é poder confirmar algumas das teorias especulativas que estendem ou completam o Modelo Padrão. Na atualidade, o Modelo Padrão descreve as três interações entre as partículas e o seu modo de transmissão através dos fótons, glúons¹²³ e os bósons¹²⁴. Além do mais, o Modelo Padrão exige a existência de uma partícula, a partícula de Higgs, nunca observada, cujas interações seriam responsáveis pelas massas dos quarks e léptons e por grande parte de seu comportamento (Cf. SMITH, 2005, p. 59)¹²⁵.

O Modelo Padrão reúne todo o nosso conhecimento sobre as partículas fundamentais. Ele engloba partículas de matéria e partículas que transmitem forças. Por exemplo, a força eletromagnética entre um próton e um elétron é gerada por fótons (partículas de luz) que circulam entre eles. Os quarks são mantidos juntos pela força forte, carregada pelos glúons, e formam os hádrons, que incluem os prótons e os nêutrons que compõem o núcleo atômico. Os elétrons atraídos por esses núcleos pela força eletromagnética passam a orbitá-los e formam os átomos e moléculas. A interação fraca, carregada pelas partículas W e Z é responsável pelo decaimento do núcleo atômico, com a emissão de um elétron e de um neutrino. A gravidade, a força mais fraca de todas, é a mais familiar para nós, e atua sobre as massas. Partículas chamadas grávitons, teoricamente, carregam a gravidade, mas não teriam sido detectadas ainda porque sua intensidade é muito fraca. Além disso, os grávitons não foram incorporados de forma satisfatória ao Modelo padrão. Considerado um dos grandes triunfos intelectuais do século XX, o Modelo Padrão pode ser apenas um prelúdio para uma descrição mais completa das forças da Natureza.

¹²² Vide nota 14 do Capítulo 2.

¹²³ Os **Glúons** são partículas mediadoras da força nuclear forte.

¹²⁴ **Bósons** são partículas que possuem spin inteiro e obedecem à estatística de Bose-Einstein. Têm este nome em homenagem ao físico Satyendra Nath Bose.

¹²⁵ Ver ainda, sobre o bóson de Higgs e o campo de Higgs: (KANE, 2003, p. 82 e 83).

Tudo o que se sabe sobre as propriedades elementares da matéria está condensado no Modelo Padrão. Ele descreve as centenas de partículas já observadas e suas interações resumindo-as a poucos tipos de constituintes fundamentais: seis quarks e seis léptons... Além disso, todo quark e todo lépton é acompanhado por uma antipartícula, que possui a mesma massa, mas sinal oposto de alguns números quânticos, como carga elétrica. Esses ingredientes são ordenados em três gerações de massa crescente (ver quadro na página seguinte), e a primeira delas corresponde aos constituintes primários da matéria¹²⁶.

Pressupõe-se que, em seu nível mais fundamental, a matéria é constituída por léptons, quarks e bósons intermediários que transportam as interações entre as partículas. A cada lépton e quark corresponde uma antipartícula. Os quarks tem outro atributo designado *carga de cor*¹²⁷ que desempenha o mesmo papel que a carga elétrica na interação eletromagnética. Existem três tipos de cargas de cor: vermelha (r), verde (g), e azul (b) e as anticargas de cor, para explicar porque apenas ocorrem certas combinações de quarks estáveis. A combinação de três quarks com três cores diferentes origina um sistema de cor neutro ou sem cor (branco). O mesmo acontece com um quark com carga de cor e um antiquark com anticarga de cor. Os hadrons são combinações sem cor de quarks.

¹²⁶ QUINN, 2005, p. 62.

¹²⁷ Na Física de Partículas, **carga de cor** é uma propriedade de quarks e glúons que está relacionada com a força forte existente entre eles, no contexto da cromodinâmica quântica. Existem muitas analogias entre a carga de cor e a carga elétrica, contudo existem algumas importantes diferenças e complicações adicionais. A *cor* de um quark e um glúon em nada tem que ver com o conceito tradicional de cor, tratando-se apenas de uma analogia. Pode-se convencionar que as três cores existentes são o vermelho, o azul e o verde. Da mesma maneira, cada cor tem sua anticor; antivermelho, antiazul e antiverde (ou ciano, magenta e amarelo).

PARTÍCULAS DO MODELO PADRÃO

Constituintes da matéria¹²⁸

Partícula	Símbolo	Carga	Massa (GeV/c²)	
<i>PRIMEIRA GERAÇÃO</i>				
Quarks	Up	u	+2/3	0,03
	Down	d	-1/3	0,06
Léptons	Elétron	e ⁻	-1	0,0005
	Elétron-neutrino	ν _e	0	?
<i>Segunda Geração</i>				
Quarks	Charm	c	+2/3	1,3
	Strange	s	-1/3	0,14
Léptons	Múon	μ ⁻	-1	0,106
	Múon-neutrino	ν _μ	0	?
<i>Terceira Geração</i>				
Quarks	Top	t	-2/3	174
	Bottom	b	-1/3	4,3
Léptons	Tau	τ ⁻	-1	1,7
	Tau-neutrino	ν _τ	0	?
<i>Transmissores de Força</i>				
	Bósons fracos	f		
	Fóton	γ		
	Glúon	g		
	Higgs	H		

Os bárions são compostos por três quarks (u,d ou s). o próton e o nêutron são compostos por três quarks (uud) e (ddu). A interação forte, entre os quarks é mediada, como vimos, por bósons denominados gluons.

¹²⁸ Os constituintes primários da matéria, quarks e léptons, são divididos em três gerações. A matéria comum é feita quase exclusivamente de partículas de primeira geração: o núcleo de um átomo contém prótons e nêutrons, que são feitos, por sua vez, de quarks up e down. As outras gerações existiram no princípio do Universo, ainda podem existir em ambientes quentes, como estrelas de nêutrons, e são observadas com frequência em aceleradores de partículas. O Modelo Padrão é constituído ainda por partículas de força, além da partícula de Higgs, responsável pelas massas de todas as partículas. (Cf.: QUINN, 2005, p. 63).

“Acredito que a mecânica quântica, muito provavelmente, vai se mostrar consistente com a teoria da gravitação. Essas duas grandes correntes da física estão se mesclando em uma teoria quântica da gravidade, baseada na teoria das cordas” (SUSSKIND, 2005, p. 23)¹²⁹.

¹²⁹ Sobre a teoria quântica da gravidade, a teoria das supercordas e a possibilidade de unificação das quatro interações vide Capítulo 7.

VI. TEORIAS DA UNIFICAÇÃO

A busca de uma compreensão unificada das forças da natureza na física moderna começou quando Newton unificou a mecânica terrestre e a mecânica celeste, ou seja, as mesmas leis que agem no nosso globo, regem também o movimento dos corpos celestes. Em 1850 James Clerk Maxwell (e antes dele, Faraday e Ampère) demonstrou que duas forças distintas da natureza, a eletricidade e o magnetismo, podiam ser compreendidas como diferentes facetas de um só campo unificado – o campo eletromagnético. Foi também Maxwell que determinou, a partir de suas equações, que a velocidade das ondas (o campo eletromagnético podia ser visualizado como ondulações periódicas) era igual à velocidade da luz. Era inevitável, portanto, concluir que a luz devia ser considerada uma onda eletromagnética.

Antes da década de 1820, a eletricidade e o magnetismo eram considerados duas forças distintas. Faraday e Ampère, na maior unificação dos tempos modernos, foram os primeiros a mostrar que ambos não passavam de dois aspectos de uma única força – o *eletromagnetismo*. Se considerarmos um objeto eletricamente carregado, um elétron, por exemplo, poderemos detectar (pondo um elétron perto dele) uma força elétrica de repulsão. Mas, assim que o primeiro elétron se movimenta, vamos encontrar também uma força magnética que não estava ali antes. Essa força pode ser detectada por seu efeito sobre uma agulha magnética posta perto do elétron que se move. O que distingue a eletricidade do magnetismo é portanto uma *questão de ponto de vista – a saber, o fato de a carga elétrica estar em movimento ou não. Esta é a essência da unificação da eletricidade e do magnetismo*¹³⁰.

O eletromagnetismo clássico chegou a seu ápice com o trabalho de Maxwell, demonstrando que, se uma carga elétrica fosse *acelerada* (isto é, se houvesse mudança em sua velocidade), esta emitiria energia na forma de radiação eletromagnética (ondas de rádio, ondas de calor, raios luminosos, raios X e raios gama, que só diferem uns dos outros por seus comprimentos de onda)¹³¹. Essa unificação maravilhosa foi a base da tecnologia do século XX, com o rádio, a televisão e os raios X dominando nossas vidas.

¹³⁰ SALAM, 1993, p. 15.

¹³¹ Posteriormente Niels Bohr iria demonstrar que nem toda carga eletrizada emite energia. Um elétron, Por exemplo, girando em torno do núcleo, está acelerado, mas não emite energia. Ao observar que o “colapso” atômico (orbitando em torno do núcleo e emitindo radiação o elétron deveria cada vez mais se aproximar do núcleo até se chocar com ele) não acontecia, Bohr propôs as seguintes idéias: os elétrons que circundam o núcleo atômico existem em órbitas que têm níveis de energia quantizados; As leis da mecânica clássica não

“Maxwell unificou a óptica com o eletromagnetismo... verificou que a velocidade da luz podia ser expressa em termos de duas constantes conhecidas (que expressavam *propriedades elétricas e magnéticas do vácuo*), tal como fora previsto por sua teoria” (SALAM, 1993, p. 16). Posteriormente, Hertz demonstrou que a radiação eletromagnética podia ser produzida por cargas elétricas aceleradas.

A busca pela unificação das forças da natureza ganhou ainda mais notoriedade em 1958 com os trabalhos de Abdus Salam, Steven Weinberg, Sheldon Glashow e a unificação da força eletromagnética e da força nuclear fraca, que receberam, por isso, o Prêmio Nobel de 1979.

A idéia decisiva que permitiu à nossa geração unificar o eletromagnetismo e as forças nucleares fracas... foi a de que ambas essas forças têm mensageiros de *spin* um e são forças de ‘gauge’... A propriedade fundamental que caracteriza as *forças de gauge* (em oposição as que não são de gauge) é o fato de serem produzidas por uma permuta de ‘mensageiros’ de *spin* um¹³².

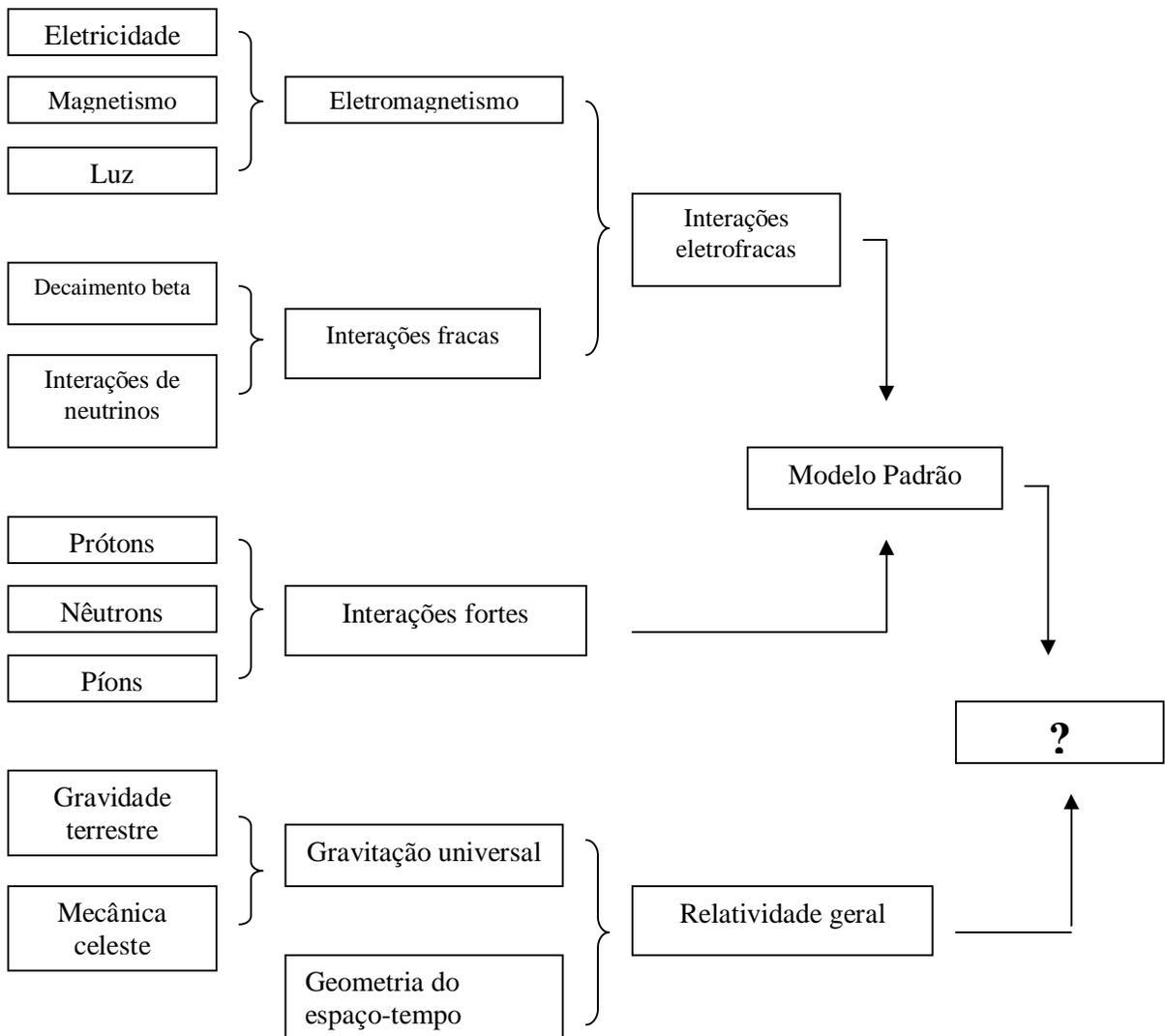
Com a unificação da força eletrofraca e do eletromagnetismo, os cientistas andam em busca de uma outra unificação: a força nuclear forte com a força ‘eletrofraca’. Esta idéia é uma decorrência direta da unificação eletrofraca, mas ainda permanece no nível teórico. Abdus Salam propõe chamá-la de “força eletronuclear”, ao invés de “força da grande unificação”, uma vez que este termo seria mais apropriado para designar a teoria final, a teoria de tudo, em que a gravitação esteja unificada a força “eletronuclear”. Apesar de não se poder criar, em condições terrestres, temperaturas elevadas (superior a 10^{28} graus

valem quando o elétron salta de uma órbita a outra; quando ocorre o salto de um elétron entre órbitas, a diferença de energia é emitida (ou suprida) por um simples quantum de luz (também chamado de fóton), que tem energia exatamente igual à diferença de energia entre as órbitas em questão; as órbitas permitidas dependem de valores quantizados (discretos) de momento angular orbital, L , que determina que nenhum elétron pode aproximar-se mais do núcleo do que a distância do raio de Bohr, equivalente a 0,0529 nm.

¹³² SALAM, 1993, p. 31. E mais adiante: Quando John Ward e eu [Abdus Salam] começamos a considerar o problema da unificação, no final da década de 1950, o conhecimento convencional sobre as quatro forças fundamentais era o seguinte: (a) Havia o eletromagnetismo, uma força de *gauge* com um único mensageiro de *spin* um, o fóton. Dava-se por certo que esta era a força de *gauge* por excelência. (b) *Acreditava-se* que a força forte entre os prótons e os nêutrons tinha três mensageiros piônicos de *spin* zero (os píons), com base no trabalho do físico japonês Hideki Yukawa. *Esta não era uma força de gauge* – uma força de *gauge* tinha de ser mediada por partículas de *spin* um e os mensageiros piônicos tinham *spin* zero. (c) Os mensageiros da força nuclear fraca era desconhecidos na época. Não estava claro se tinham *spin* de zero ou uma unidades, *se é que existiam*. (d) Finalmente, havia a gravitação, que, ao que se pensava, exigia um mensageiro com *spin* de duas unidades (SALAM, 1993, p. 32 e 33). Essa unificação, como todas as outras, ocorreu na origem do universo. “Antes que a transição de fase ocorresse (isto é, quando a temperatura era maior que 300 massas do próton) havia apenas uma única força eletrofraca. Imediatamente depois, ela se cindiu em duas forças distintas – o eletromagnetismo e a nuclear fraca – tendo W^+ , W^- e Z^0 adquirido massas” (SALAM, 1993, p. p. 36).

Kelvin), acredita-se que estas temperaturas foram atingidas durante o big-bang, propondo assim que a força forte também estava unificada com a força eletrofraca.

A descrição da grande unificação (que inclui a gravidade) pode ser vista como se segue: o universo surgiu e expandiu-se a partir de uma grande explosão; nos primeiros instantes todo o universo era harmonia e simetria, governado por uma única força cósmica, a *superforça* ou *força da grande unificação* de onde derivam todas as forças da natureza. O universo, ao expandir-se, esfriou-se e fragmentou-se. Primeiro surgiu a gravidade, em seguida a força nuclear forte, depois a força nuclear fraca e por fim a força eletromagnética; enquanto cada força se separava, os constituintes do universo primitivo (quarks, glúons, elétrons e outras partículas) separaram-se e “individualizaram-se”. Eis uma visão geral do que vimos expondo até agora:



Além dos trabalhos pioneiros de Steven Weinberg e Abdus Salam vale ressaltar uma nova teoria que vem sendo intensamente trabalhada por uma parte significativa da comunidade de físicos de todo o mundo, a saber, *a teoria das supercordas*.

A teoria das cordas proporciona uma mudança profunda e renovadora na nossa maneira de sondar teoricamente as propriedades ultramicroscópicas do universo – mudança essa que, como aos poucos foi se vendo, altera a relatividade geral de Einstein de maneira tal que a torna integralmente compatível com as leis da mecânica quântica. De acordo com a teoria das cordas, os componentes elementares do universo não são partículas puntiformes. Em vez disso, são mínimos filamentos unidimensionais, como elásticos infinitamente finos, que vibram sem cessar¹³³.

Estas têm em média o comprimento de Planck¹³⁴.

A substituição do modelo-padrão (partículas puntiformes) pela teoria das cordas (filamentos de cordas) como componentes fundamentais de todas as coisas oferece, além da resolução do conflito entre relatividade geral e mecânica quântica, uma teoria unificada em que toda a matéria e todas as forças provêm de um único componente básico, a saber, cordas oscilantes.

O esquema unificado da teoria das cordas oferece a possibilidade de incluir na mecânica quântica a força gravitacional, quer dizer, a teoria das cordas suaviza as

¹³³ GREENE, 2001, p. 156.

¹³⁴ O comprimento de Planck desempenha uma função importante na física moderna, pois para comprimentos inferiores a este, tanto a mecânica quântica, como a relatividade geral, deixam de conseguir descrever os comportamentos de partículas. O **comprimento de Planck** é um espaço de $1,61 \times 10^{-35} m$ e corresponde à distância que a luz percorre durante um tempo de Planck. O **tempo de Planck**, por sua vez, é o tempo passado sobre o Big Bang a partir do qual as implicações da teoria da relatividade geral passaram a ser válidas. Este intervalo de tempo situa-se na ordem dos $5,38 \times 10^{-44} s$. Embora separado do instante inicial por uma fração ínfima de segundo, o **tempo de Planck** não se confunde com o momento do Big Bang, porque a “matéria-energia” passou por mudanças dramáticas naqueles pedaços infinitesimais de tempo que se sucederam a ocorrência da explosão inicial, que permitiu a expansão das 3 dimensões espaciais a que estamos acostumados a viver (altura x largura x profundidade) ao longo da “linha do tempo”; o tempo de Planck é expresso

$$l_{pl} = \frac{\lambda_{pl}}{c} = 5,3906 \times 10^{-44} s$$

matematicamente pela fórmula $l_{pl} = \frac{\lambda_{pl}}{c}$. A massa maior que cabe dentro do comprimento de Planck para o qual os efeitos da gravidade ficam da ordem dos efeitos quânticos é chamada

$$\frac{Gm}{c^2} = \frac{\hbar}{mc} \Rightarrow m_{pl} = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = 2,1767 \times 10^{-5} g$$

de **massa de Planck** definida por $\frac{Gm}{c^2} = \frac{\hbar}{mc} \Rightarrow m_{pl} = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = 2,1767 \times 10^{-5} g$. Além da massa de

Planck existe também a **energia de Planck** definida por $E_{pl} = m_{pl} c^2 = 1,959 \times 10^5 = 1,22 \times 10^{15} GeV$. Agradecemos ao Prof. Dr. Elias Silva Filho por estas sugestões e pelas fórmulas matemáticas supracitadas.

ondulações quânticas no universo de escalas microscópicas, modificando as propriedades do espaço¹³⁵.

Atualmente as leis do universo revelam, no seu nível mais fundamental, uma profunda incompatibilidade, apresentando duas grandes teorias, uma que explica o macrocosmos (teoria da relatividade) e a outra explicando o microcosmos (mecânica quântica). A teoria das supercordas revela uma maneira de descrever a matéria no nível mais fundamental que pretende resolver esta tensão¹³⁶. As implicações filosóficas da teoria das supercordas ultrapassa e muito o objetivo do nosso projeto, de modo que nos limitaremos apenas a pontuar algumas de suas principais conseqüências. A teoria das supercordas, entre outras coisas:

1. unificas as leis que regem a física desde as unidades mínimas da matéria até as distâncias máximas do cosmos.

2. entende que a matéria é composta de átomos, que por sua vez são formados por quarks e elétrons; mas que todas essas partículas são, na verdade, laços mínimos de cordas vibrantes.

3. entende que as propriedades das partículas são manifestações de uma única característica física: os padrões ressonantes de vibração.

4. explica a massa de uma partícula elementar a partir da energia do padrão vibratório da sua corda interna. Também a carga elétrica, a carga fraca e a carga forte transmitidas por uma corda específica, são determinadas pela maneira como ela vibra.

5. demonstra que, graças ao padrão vibratório do gráviton, a teoria das cordas é uma teoria quântica que contém a gravidade.

6. requer que submetamos a uma revisão radical a nossa concepção do espaço e do tempo, alterando o número geralmente aceito das dimensões do nosso universo.

¹³⁵ Cf. GREENE, 2001.

¹³⁶ “Embora isso não seja de modo algum óbvio, veremos no capítulo 6 [vide bibliografia] que a simples substituição dos componentes materiais de tipo partícula puntiforme por cordas resolve a incompatibilidade entre a mecânica quântica e a relatividade geral. A teoria das cordas desata, portanto, o nó górdio da física teórica contemporânea” (GREENE, 2001, p. 29).

VII. MONISMO NA FÍSICA CONTEMPORÂNEA: EINSTEIN, HEISENBERG E TGU

A unidade do mundo físico tem sido defendida e repetidamente retomada na história da filosofia e das ciências, de forma variada, desde os jônicos até as últimas teorias físicas¹³⁷.

A física contemporânea, sob o impulso das novas descobertas, tanto sob o impulso da teoria da relatividade (Einstein), como sob o impulso da física quântica (Heisenberg, Schrödinger) e recentemente através da teoria das supercordas¹³⁸, tende para a direção de uma unidade fundamental de todo o universo físico¹³⁹, isto é, para o que podemos chamar de monismo físico. Albert Einstein foi, sem dúvida, um dos pioneiros da nossa época nessa busca por uma teoria unificada. Além de propor a unificação do espaço-tempo e da equivalência entre massa e energia, Einstein dedicou os últimos 30 anos de sua vida em busca de uma teoria que pudesse unificar a teoria eletromagnética e sua teoria da relatividade geral, que ele chamou de teoria relativista do campo não-simétrico¹⁴⁰. “O último passo dado pela teoria da relatividade diz respeito à teoria unitária do campo que é caracterizada pela transição para os campos não simétricos”¹⁴¹. O propósito de Einstein era, portanto, unificar o conceito de campo da teoria eletromagnética de Faraday e Maxwell com a teoria do campo relativista.

¹³⁷ Como acabamos de ver no capítulo anterior.

¹³⁸ Como vimos no capítulo anterior, os físicos acreditam ter encontrado finalmente a forma de uma teoria integrada, capaz de descrever todos os fenômenos físicos: *a teoria das supercordas* (TS). A teoria das supercordas é uma tentativa de unificação da gravidade com as forças eletrônicas: partindo da hipótese de que as entidades fundamentais da física não são partículas pontuais e sim, laços de cordas vibrantes em comprimento de Planck. “A teoria das cordas tem a capacidade potencial de demonstrar que todos os formidáveis acontecimentos do universo – da dança frenética dos quarks à valsa elegante das estrelas binárias, da bola de fogo do big-bang ao deslizar majestoso das galáxias – são reflexos de um grande princípio físico, uma equação universal” (GREENE, 2001, p. 19). É preciso considerar, no entanto, que a teoria das cordas é ainda um trabalho em andamento, em desenvolvimento; não totalmente desenvolvida, não confirmada por testes experimentais rigorosos e nem integralmente aceita pela comunidade científica.

¹³⁹ É, por assim dizer, o sonho de todo físico encontrar os princípios fundamentais desta teoria. “Este livro [Sonhos de uma teoria final] é sobre uma grande aventura intelectual, a procura por leis finais da natureza. O sonho de uma teoria final inspira a maior parte dos trabalhos de hoje em física de alta energia e embora nós não saibamos o que a teoria final possa ser ou quantos anos se passará antes de sua descoberta, já nas teorias de hoje nós pensamos que estamos próximos de alcançar clarões do contorno de uma teoria final”. (WEINBERG, *Dreams of a final theory*, p. IX).

¹⁴⁰ Cf.: Teoria Relativista do Campo Não-simétrico. In: EINSTEIN, Albert. *O significado da relatividade com a teoria relativista do campo não simétrico*. Tradução do Prof. Mário Silva. Coimbra: Armenio Amado editora, 1984.

¹⁴¹ EINSTEIN, 1984, p. 6.

Um dos pressupostos da física contemporânea em favor da unidade substancial do mundo físico foi a substituição do conceito de partículas pelo conceito de campo¹⁴². Com efeito, foi com Einstein que a teoria do campo unificado ganhou destaque. “A partícula conservava a sua individualidade substancial e produzia no campo, concebido como um substrato substancial independente da partícula uma modificação de estado, uma alteração de intensidade de forças, que se propagavam no substrato substancialmente imutável até o infinito” (SELVAGGI, 1980, p. 372). Daí o abandono do conceito de éter e a adoção do conceito de campo como substrato substancial¹⁴³.

O espaço tem uma realidade física contínua por toda parte e, em conjunção com o tempo, constitui o “cronótipo” universal. Em seguida a relatividade geral une ao cronótipo a massa e os campos gravitacionais gerados pelas partículas. As partículas, com a sua massa, fundem-se, de algum modo com o campo, geram o espaço e lhe determinam a geometria¹⁴⁴.

A mecânica quântica promove ainda uma ligação indissolúvel entre partícula e campo em todo o âmbito da realidade material com o dualismo onda-partícula. Na teoria quântica dos campos¹⁴⁵ (Dirac, Heisenberg, Fermi), toda partícula gera o campo e também o campo gera a partícula (cf. SELVAGGI, 1980, p. 373). A realidade essencial, fundamental, é um conjunto de campos que interagem permanentemente consigo mesmos. Em suma, o que a teoria quântica dos campos descreve não são partículas enquanto tais, enquanto objetos, mas suas interações incessantes, incontáveis, consigo mesmas.

¹⁴² O mundo quadridimensional da Física relativística é o mundo onde a força e a matéria acham-se unificadas, onde a matéria pode aparecer como partículas descontínuas ou como um campo contínuo.

¹⁴³ “Em 1929 os físicos voltaram-se na direção de uma visão mais unificada do mundo. Werner Heisenberg e Wolfgang Pauli descreveram ambos partículas e forças como manifestações de um nível mais profundo da realidade, o nível dos campos quânticos... Heisenberg e Pauli supuseram que não apenas fótons mas todas as partículas são pacotes de energia em vários campos.” (WEINBERG, *Dreams of a final theory*, p. 171-172).

¹⁴⁴ SELVAGGI, 1980, p. 372 e 373.

¹⁴⁵ Na teoria quântica relativista dos campos “uma partícula não existe por si mesma, mas unicamente através dos efeitos que ela gera. Esse conjunto de efeitos se chama um ‘campo’” (GUITTON, 1992, p. 85). Na teoria quântica de campo, “o campo é tratado como a coisa primordial. Assim, no caso de elétrons, ou de mésons, o campo de matéria é visto como a entidade primária, enquanto as ‘partículas’, ou antes as entidades do tipo partícula, são apenas quanta de campo” (BUNGE, 2000, p. 281).

Seguindo a esteira de Einstein, cumpre notar que Heisenberg, além de procurar dar uma roupagem filosófica sobre a descrição da física de partículas do século XX, também se esforçou por descobrir uma teoria de campo unificada, embora sob aspectos diferentes¹⁴⁶.

Sob este aspecto de seu pensamento resultou um capítulo inteiro de “suas memórias”, bem como um livro, intitulado: *Introduction to the unified field theory of elementary particles*¹⁴⁷

Trata-se aqui de uma teoria de campos completamente diferente da que fora trabalhada por Einstein e Schrödinger, desenvolvida dentro do âmbito da Teoria Quântica, como se imaginaria apropriado para dois físicos da nova geração de 1925 [Heisenberg e Pauli]. Esta outra teoria unificada tinha em conta o repertório de partículas elementares então conhecidas, bem como sua classificação em termos tanto das características próprias de cada uma delas como das propriedades conhecidas de suas interações umas com as outras. De certa forma, ela pode ser vista como uma versão precursora, ainda muito rudimentar, de teorias unificadas desenvolvidas mais no final do século XX, e então com bastante sucesso¹⁴⁸.

Esta teoria não foi desenvolvida senão com grandes dificuldades matemáticas o que provavelmente levou Pauli a se apresentar como cético em relação a essa teoria, desligando-se completamente posteriormente. A teoria de campo unificada era considerada por Heisenberg como “a chave do universo”.

A maior aposta dos físicos na atualidade consiste naquela que tem sido chamada de Teoria da Grande Unificação, ou seja, a combinação entre a teoria da relatividade com a Mecânica Quântica. Steven Weinberg deu um passo importante nesta direção, com seu trabalho envolvendo a unificação entre a força eletromagnética e a força nuclear forte. Suas pesquisas sobre esta unificação renderam-lhe o prêmio Nobel de Física e seus últimos escritos atestam sua preocupação e obstinação por unificar as leis da natureza. Weinberg acredita mesmo que “a descoberta da teoria unificada permitirá responder a todas as questões mais profundas da cosmologia” (WEINBERG, 2005, p. 11).

E tudo isto porque:

¹⁴⁶ Heisenberg começou a publicar suas idéias sobre a teoria de campo unificada na década de 50. No final de sua existência, suas palestras e conferências tiveram cada vez mais fortes conotações filosóficas.

¹⁴⁷ Introdução à teoria do campo unificado das partículas elementares.

¹⁴⁸ PIZA, 2003, p. 190 e 191.

O espírito humano, afirma Sommerfeld, jamais renunciou à sua crença na unidade e no ordenamento da matéria, malgrado a diversidade dos elementos químicos que os alquimistas e, mais tarde os químicos do séc. XVIII descobriram. A idéia filosófica da existência de um único elemento constituinte de toda matéria é muita velha e, de tempos em tempos, esta hipótese reaparecia;... Esperamos obter uma representação completa de todas as ações químicas graças a este modo de conceber a matéria¹⁴⁹.

Contudo, não se pode dizer que haja um consenso quanto ao significado ontológico da física quântica. Os próprios físicos não estão de acordo. Alguns rejeitam inclusive a idéia de construir uma interpretação ontológica (a partir de uma tendência positivista, do lado das ciências, e epistemológica-analítica, do lado da filosofia) e de supor, para além dos modelos matemáticos, entidades físicas reais que seriam a causa dos fenômenos observáveis.

O que estamos tentando defender aqui é que, além desta tendência positivista e atomista, Heisenberg supõe poder pensar a realidade como “pura energia”. Toda a realidade: partículas elementares, átomos, moléculas, nada mais são do que concentração de energia; essas entidades podem dissolver-se e recompor-se; transmutar-se em energia e vice-versa. Assim, o que na física atômica eram considerados como substâncias individuais, nada mais são do que modificações acidentais de uma única substância universal¹⁵⁰.

A partir da aplicação da teoria quântica ao entendimento da estrutura da matéria, pode-se estender o estudo desta mesma estrutura em duas direções: “seja estudar a interação entre átomos, sua relação com unidades maiores de matéria como as moléculas, cristais ou objetos biológicos; seja procurar chegar, através da investigação do núcleo atômico e de seus componentes, a unidade última da matéria” (HEISENBERG, 1999, p. 21). Desnecessário dizer que é nesta última direção que estamos nos encaminhando. A linha de pesquisa que vai do átomo ao seu núcleo e deste às partículas elementares

¹⁴⁹ In : KONCZEWSKA, *L'unité de la matière et le problème des transmutations*, p. 229 e 230.

¹⁵⁰ Sobre a teoria do campo unificado das partículas elementares e o diálogo de Heisenberg com Wolfgang Pauli a respeito, ver: HEISENBERG, 1996, p. 267 a 274. Eis um trecho deste interessante diálogo: “– Acho que você está certo em continuar a trabalhar nesses problemas – disse Pauli. – Você sabe o quanto ainda há por fazer, e sem dúvida as coisas darão certo um dia. Talvez todas as nossas esperanças se realizem e seu otimismo seja recompensado. Quando a mim, tive que me afastar. Faltam-me forças. No último natal, eu ainda acreditava que podia penetrar com toda força no mundo desses novos problemas, mas não é assim. Talvez você ainda possa consegui-lo, ou então, alguns de seus colegas mais moços. Você parece ter vários jovens físicos excelentes em seu Instituto. Preciso resignar-me, é só” (p. 273). Neste mesmo livro Heisenberg declara que os aspectos físicos e filosóficos da teoria do campo unificado foram objeto de várias discussões entre ele, Hans Peter Dürr e Carl F. Von Weiszacker. Sobre estas discussões, ver (1996, p. 275 a 280).

(...) é a via que provavelmente, conduzirá a um entendimento acerca da unidade da matéria... Quando nos propomos a tarefa de explorar a unidade última da matéria, podemos expô-la a forças as mais intensas às condições as mais extremas, a fim de verificar se, de fato, qualquer matéria pode ser transmutada em outra¹⁵¹.

É evidente a relevância desta questão para a filosofia da natureza. A essência física da substância material, se assim podemos nos exprimir, esse conhecimento, enquanto propriedades transcendentais, interessa à filosofia da natureza; enquanto sensíveis e cognoscíveis experimentalmente são objeto próprio da ciência física; por esta dupla relação, é impossível à filosofia da natureza ignorar os resultados da física em seus mais recentes desenvolvimentos.

Podemos dizer que um dos problemas centrais da filosofia da natureza é a essência metafísica do corpo natural; o ente enquanto ente sensível. E nesse caso, é preciso saber reconhecer:

1. a unidade ou multiplicidade numérica da substância material;
2. a unidade ou multiplicidade específica dos elementos primários da matéria;
3. a transformação substancial dos elementos entre si para formarem os mais diversos compostos naturais;
4. a solidez e a tangibilidade da substância material.

(...) algumas determinações mais gerais, respeitantes à unidade, mutabilidade e transformabilidade das substâncias materiais, corpos elementares e compostos substanciais são de interesse filosófico, porque se referem a aplicação dos conceitos transcendentais do ente à substância material, tarefa própria da filosofia da natureza, e porque à base dessas propriedades fundamentais da substância material – e não somente à do conceito de corpo enquanto tal – será possível procurar qual é a essência metafísica do corpo natural, ou seja, quais são as condições transcendentais de possibilidade do corpo enquanto ente¹⁵².

¹⁵¹ HEISENBERG, 1999, p. 216.

¹⁵² SELVAGGI, 1980, p. 368 e 369.

Quanto à solidez e tangibilidade, é preciso considerar que a física quântica nos diz que, para compreender o real, é preciso renunciar à noção tradicional de matéria: matéria tangível, concreta, sólida.

Os tópicos elencados acima nos remetem necessariamente aos aspectos metafísicos (no dizer de Selvaggi, à aplicação dos conceitos transcendentais do ente à substância material) do nosso problema, por isso, julgamos necessário, antes de nos adentrarmos mais especificamente nessa análise, obter uma visão geral das bases metafísicas da física contemporânea, procurando perscrutar-lhe seu sentido filosófico, o que nos facultará uma análise mais acurada do problema. Na realidade, se se tiver em mente, como já ficou estabelecido no início desta dissertação, que a Filosofia da Natureza pode ser entendida como um diálogo entre a Física (que fornece a matéria) e a Metafísica¹⁵³ (que fornece a forma), e que a parte anterior realizou, em certa medida (devido ao seu caráter mais histórico), um diálogo com a primeira (a Física), faz-se imprescindível agora dialogar com a segunda (a Metafísica), em seu aspecto cosmológico e natural, ou seja, em relação com a realidade física do mundo, quer dizer, vamos agora fazer uma análise e reflexão filosófica sobre o ser do mundo, não tanto como filosofia do conhecimento do mundo (aspecto epistemológico¹⁵⁴) mas como filosofia da natureza e essência do mundo (aspecto ontológico). “Não apenas nós dizemos que as ciências aprofundam e ressaltam o desejo da inteligência para passar às verdades mais altas e mais profundas, como a filosofia da natureza ressaltará o desejo da inteligência para passar à metafísica” (MARITAIN, *La philosophie de la nature*, p. 90).

Somente após uma compreensão mais exata da realidade física seria possível chegar ao estágio em que estamos nos preparando para iniciar agora, quer dizer, ao aspecto

¹⁵³ Cf. Cap. 1, nota 17.

¹⁵⁴ “... o espírito crítico herdado de Hume e Kant fizeram com que muitos filósofos e cientistas abordassem a consideração filosófica do mundo, prevalente se não exclusivamente, de um ponto de vista gnosiológico e epistemológico” (SELVAGGI, 1980, p. 15). Esta concepção crítica pode ser prejudicial aos próprios interesses da filosofia e da metafísica, pois seria negar toda e qualquer confiança no poder cognitivo humano, abrindo caminho para o ceticismo. “Considere-se aqui, porém, o segundo motivo que não poucas vezes é aduzido em favor do total desinteresse do filósofo pelas ciências, pelas suas teorias e conclusões, a saber, a opinião de que as ciências, no seu significado moderno, não se ocupam do ser do mundo, mas apenas do fenômeno, não do caráter ontológico, mas somente matemático e fenomênico, não nos dão a conhecer a realidade em si e objetiva, mas só o seu caráter subjetivo, mediante as formas impostas aos fenômenos pela mente do cientista, com vistas não a penetrar a realidade e essência das coisas, mas só a prever a evolução dos fenômenos e depois agir sobre eles. Já nos ocupamos amplamente desta concepção fenomenista e agnóstica da ciência, que deita raízes no fenomenismo humiano e no criticismo kantiano” (SELVAGGI, 1980, p. 156).

ontológico, pois não se pode constituir uma filosofia do mundo sem levar em consideração o conteúdo das ciências da natureza, mais especificamente neste caso, da física. E isto porque, para poder se lançar na estrutura profunda que compõe o real, é preciso sondar-lhe a superfície, nas palavras de Francisco de Paula Souza, em seu interessante artigo, *Empirismo e Metafísica*:

Demonstrada a existência do real de uma dimensão profunda que representa o núcleo estrutural portador de seu significado mais íntimo e mais autêntico abre-se espontaneamente o “espaço” para a especulação metafísica. Como, porém, essa dimensão coincide com a estrutura íntima do próprio real, à Metafísica se impõe alcançá-la através do conhecimento experimental... o metafísico realiza seu ingresso na estrutura profunda e metafísica do real, passando antes pela sua dimensão periférica...¹⁵⁵

A metafísica necessita, portanto, estar radical e firmemente implantada no real, mesmo quando tem por objetivo desvendar sua estrutura mais íntima, seu núcleo estrutural fundamental. “Por outro lado, o cientista dedicado à tarefa de compreender o real nas suas dimensões periféricas, não pode jamais negar ao metafísico a busca de compreensão do real ao nível de uma estrutura que o próprio real oferece à especulação metafísica” (SOUZA, 1995, p. 32).

Estar firmemente implantada no real não significa ater-se exclusivamente a ele, mas sondar-lhe sua estrutura mais profunda. A filosofia é um saber que visa “o significado dos significados”, “o ser do que é conhecido” (VAZQUEZ, 1996, p. 54). “Nesse sentido, afirma H. de Lima Vaz, ‘a filosofia acaba o discurso das ciências, não enquanto termo final do movimento de pesquisa, mas enquanto passagem ou conversão necessária ao fundamento (tò ón), no qual o movimento mesmo encontra seu apoio’” (In: VAZQUEZ, 1996, p. 54).

Não nos cabe aqui argumentar de forma repetitiva sobre este aspecto, pois tal já foi feito no início deste projeto. Sigamos, portanto, adiante, sem perder de vista o caminho percorrido.

¹⁵⁵ SOUZA, 1995, p. 32.

7.1 As Bases Metafísicas da Física Contemporânea e a “substância” Energia em Heisenberg

A Física Contemporânea – a Mecânica Quântica e a Teoria Geral da Relatividade – clamam por uma ontologia do mundo que lhe seja coerente. Assim, um dos maiores trabalhos filosóficos na atualidade – como em todas as épocas –, está no desenvolvimento de uma ontologia: trabalho árduo, sem dúvida, depois de décadas em que a Metafísica literalmente caiu em profundo descrédito, sobretudo, a partir da intervenção da filosofia analítica, do positivismo e do empirismo lógico. Quando dizemos que a física contemporânea clama por uma ontologia do mundo que lhe seja coerente, o dizemos no mesmo sentido em que Gilles Granger afirma que a ciência comporta um pano de fundo metafísico. É este pano de fundo, este tecido – *étouffe* –, do universo que espera por ser desvelado. A ciência “comporta um pano de fundo metafísico, que transcende a experiência e confere uma significação ao mundo como experiência global. Exemplo nas ciências naturais: o atomismo; na matemática: a noção de infinito” (GRANGER, 1993, p. 202). E poderíamos ainda ampliar estes exemplos no campo da física contemporânea: espaço, tempo, substância, causalidade, etc¹⁵⁶.

Quando defendemos esta posição em que deve haver um vínculo estreito entre filosofia e ciência não pretendemos com isto dizer que nesta relação está a chave para a compreensão de todos os problemas fundamentais, primeiros e últimos, da natureza, senão que esta relação nos proporcionará uma visão mais ampla e melhor compreensão da realidade.

O nosso trabalho não é o trabalho do físico, mas que dele não pode prescindir, se pretendemos analisar a estrutura física do mundo no seu nível mais fundamental e originário. Constitui grande erro tentar construir uma filosofia da natureza independente das

¹⁵⁶ Elementos (aspectos) metafísicos dos problemas da natureza: essência do tempo, do espaço, da força, da substância, da causalidade (cf. VAZQUEZ, 1996, p. 56). Fundo metafísico da ciência natural: espaço, tempo, matéria, força, energia, etc (cf. HARTMANN, 1986, p. 08). Uma análise sobre o conceito científico de massa e suas implicações filosóficas sob vários pontos de vista, do animismo, do realismo, do positivismo, do racionalismo etc. é feita por *Bachelard* (1991, p. 19 e seguintes). Categorias ontológicas básicas: substância, forma, movimento, determinação, causalidade etc (cf. BUNGE, 2000, p. 232). Sobre problemas metafísicos relacionados com a física, como por exemplo o problema do tempo e da causalidade ver *Bunge* (2000, p. 61 à 66).

ciências da natureza¹⁵⁷. Além disso, podemos dizer que, sendo a filosofia da natureza uma condição da metafísica, enquanto filosofia do mundo, então constitui igualmente um erro tentar construir uma metafísica independente das ciências da natureza. É hora de retomarmos as considerações iniciais sobre a filosofia da natureza e as ciências naturais – elevando-as ao grau metafísico – e a estreita relação que há entre ambas.

Suprima a filosofia da natureza e suprimireis a metafísica como conhecimento especulativo dos mais altos mistérios do ser naturalmente acessível à nossa razão... A metafísica é necessária à constituição de uma sã filosofia da natureza à qual ela está além; mas inversamente a metafísica não se constitui de forma saudável senão pressupondo uma filosofia da natureza que lhe serve de base material... Sem uma filosofia da natureza superior às ciências da natureza e subordinada à metafísica, e que mantém o contato entre o pensamento filosófico e o universo das ciências, a metafísica não tem mais que se prender com as coisas e não pode mais senão dobrar de modo vão sobre o espírito humano...¹⁵⁸.

O nosso objeto de conhecimento aqui é o mundo físico. Não o aspecto epistemológico da filosofia do mundo¹⁵⁹, mas o aspecto ontológico da filosofia do mundo. O conteúdo material nos foi fornecido pela física, que procuramos descrever, de forma geral, o próprio processo de desenvolvimento da concepção atomista desde os pré-socráticos até os dias atuais, mas agora é hora de demonstrar, como um metafísico, que a descrição heisenbergiana da estrutura fundamental da matéria comporta um pano de fundo metafísico, que confere um significado ao mundo e a realidade do ente físico enquanto tal. E isto porque

(...) a filosofia da natureza é, formalmente, mais afim à metafísica do que à física: o filósofo da natureza trabalha, define e demonstra como um metafísico e não como um físico experimental ou um físico teórico. Do ponto de vista material e do conteúdo, entretanto, avizinha-se mais a filosofia da natureza à física do que à metafísica, porque o termo e a

¹⁵⁷ Se se preferir, podemos falar em Cosmologia Científica e Cosmologia Filosófica. A primeira considera as propriedades e a estrutura do universo enquanto são direta ou indiretamente observáveis; enquanto que a segunda baseando-se nos dados da observação espontânea e inclusive nos dados da cosmologia científica, considera o universo sob a formalidade dos conceitos transcendentais do ente enquanto ente (cf. SELVAGGI, 1980, p. 431).

¹⁵⁸ MARITAIN, *La philosophie de la nature*, p. 115 e 116.

¹⁵⁹ Já fizemos referência a este aspecto, vide Cap. 1, nota 2.

intenção última é o conhecimento, filosófico muito embora, do mundo físico, objeto da ciência física¹⁶⁰.

Desde já faremos uma afirmação que poderá chocar espíritos menos desavisados e que para outros poderá parecer bem ousada, a saber, que os cientistas não podem deixar de entrar no campo da metafísica quando se elevam a uma concepção geral ou a uma descrição da realidade. Com isto queremos dizer que uma teoria científica, que pretenda dar conta da realidade, jamais poderá esquivar-se de uma ontologia, o que nos leva a afirmar que a Filosofia tem um papel fundamental a desempenhar no campo da investigação científica, não apenas no seu aspecto epistemológico, mas também, e sobretudo, ontológico. “Isto leva-nos a entrar num campo onde é fundamental para a Ciência a intervenção da Filosofia pois os filósofos, têm um legado, uma tradição conceptual que pode ajudar a melhor perceber a Ciência e ser muito útil aos cientistas...” (JANEIRA, 1993, p. 36).

Em relação ao autor que mais nos interessa estudar aqui podemos afirmar, categoricamente, que o mesmo declara abertamente seu interesse pelas “idéias filosóficas fundamentais – sobretudo no que diz respeito aos problemas filosóficos da física nuclear e atômica – o que pode ser evidenciado pela sua propensão em estudar física teórica, antes que experimental. Heisenberg sentia-se profundamente impressionado pelos problemas que desafiavam toda a base filosófica da ciência (a estrutura da matéria, do espaço, do tempo e até mesmo a validade das leis causais) que foram trazidos à lume pela teoria da relatividade e pela teoria quântica¹⁶¹. A propósito, o próprio livro, *Física e Filosofia*, constitui já um esforço louvável para se entender a filosofia da física contemporânea.

A constituição da física, antiga, moderna ou contemporânea, não pode ser reduzida a prática científica, mas está estreitamente ligada à reflexão filosófica – epistemológica e/ou ontológica. A física constitui uma tentativa de explicar o Universo, seja em Aristóteles, Galileu, Newton, Laplace, Einstein, Heisenberg etc. E ao explicar o Universo, a Física desenvolve-se seguindo uma linha filosófica¹⁶².

A revolução das idéias científicas traz consigo necessariamente uma revolução da cosmovisão filosófica. Uma está intimamente ligada à outra. As contradições observadas no

¹⁶⁰ SELVAGGI, 1980, p. 162.

¹⁶¹ vide, por exemplo, o escrito *A decisão de estudar física*. In: SANTOS, 1990, p. 22 a 28.

¹⁶² cf. SELLERI, 1994, p. 196.

mundo físico das quais resulta um novo modelo de ciência exige uma nova interpretação filosófica que dê conta da realidade.

Até o início do séc. XX, toda a mecânica não era senão um desenvolvimento dedutivo, formal e matemático, baseado na mecânica newtoniana. A mecânica de Newton e de Galileu, por sua vez, já havia contradito a de Aristóteles no que diz respeito à queda dos corpos, à lei da inércia, à proporcionalidade da força e da aceleração¹⁶³. A mecânica quântica e a teoria da relatividade viriam, por sua vez, contradizer a mecânica clássica.

Estas revoluções científicas – para usar o termo de Thomas Kuhn – também trazem modificações no campo da reflexão filosófica; e a física contemporânea, seja através da física quântica ou da teoria da relatividade, traz implicitamente transformações não apenas na nossa forma de ver o mundo, mas também de entendê-lo¹⁶⁴. Vejamos o que diz o professor Witold Skwara, sobre o aspecto ontológico da teoria da relatividade, apenas para evidenciar um dos aspectos que estamos, aqui, tentando demonstrar:

Ao nível ontológico, a teoria da relatividade oferece os elementos de valor não só científico, mas também filosófico, porque tange os atributos fundamentais do ser material, tais como: a extensão, a duração e a evolução do Universo, rejeitando o espaço e o tempo absolutos, entidades intrinsecamente contraditórias e metafisicamente absurdas. O espaço e o tempo não são realidades em si nem subsistentes nem independentes dos corpos reais e dos seus movimentos, mas se identificam de modo estreito com eles; não são entidades puramente abstratas e metafísicas, mas são os aspectos distintos dos corpos físicos, dotados de massa e de movimento, sempre imersos no campo gravitacional.

A teoria einsteiniana salienta o valor ontológico, quando afirma a *constância e a insuperabilidade da velocidade da luz*, (...)

A teoria einsteiniana se reveste de valor ontológico, quando nega o *tempo absoluto* (...) igual valor ontológico deve ser reconhecido nas correlações temporais de eventos distantes: proximidade e simultaneidade, anterioridade e posterioridade, que não têm valor absoluto idêntico para

¹⁶³ A Revolução científica do século XVII e XVIII pode ser caracterizada por dois traços marcantes: de um lado, destruição do cosmo, ou seja, substituição do mundo finito e hierarquicamente ordenado de Aristóteles e da Idade Média por um universo infinito, tornado coeso graças à uniformidade de suas leis; de outro lado, geometrização do espaço, ou seja, substituição do espaço concreto (conjunto de “lugares”) de Aristóteles, pelo espaço abstrato da geometria euclidiana, considerada doravante como real

¹⁶⁴ “As teorias da relatividade, especial e geral, de Einstein mudaram permanentemente nossa visão do espaço, tempo e gravitação. Em uma fratura mais radical com o passado, a mecânica quântica tem transformado a própria visão que nós usamos para descrever a natureza: em lugar de partículas com velocidades e posições definidas, nós temos aprendido a falar em funções de onda e probabilidades” (WEINBERG, *Dreams of a final theory*, p. 03).

todos os observadores, mas têm um valor puramente relativo, isto é, dependente do estado de movimento do observador¹⁶⁵.

Vemos assim que a física relativística não só ocasiona uma revolução na nossa forma de enxergar a realidade como, por outro lado, contribui para um conhecimento mais objetivo do mundo ao nosso redor.

Como fica, então, a filosofia diante da descrição da estrutura física da realidade, evidenciadas pela teoria da relatividade e pela mecânica quântica? Questões como a essência do tempo, do espaço, da força, da substância, da matéria, da causalidade, são questões que dizem respeito à área das ciências, ou, antes, é a filosofia que tem algo a dizer sobre estas questões essenciais da realidade? E o que dizer sobre a tentativa de compreender a natureza de forma unificada, como desejam boa parte da comunidade de físicos da atualidade, através da teoria dos campos nucleares e da teoria das supercordas?¹⁶⁶ Essa tentativa de buscar a Unidade através da Multiplicidade do mundo físico não é uma questão que tem sido levada em consideração pela filosofia desde sua origem?¹⁶⁷ A propósito, não é isto o que diz Nietzsche, em relação à Tales, e que o torna o primeiro filósofo da história da humanidade? O fato de que, por trás da proposição de Tales de que “tudo é água” existe, na realidade, um postulado metafísico que diz: “Tudo é Um”? Afinal, do ponto de vista ontológico, haveria um fio que liga o todo e donde derivam os demais? Ou seria a realidade apenas essa textura fragmentada, sem nada de oculto e sem nenhuma continuidade ou relação entre as partes e o todo? Os “fios que formam a teia da realidade” – *étouffe* – do universo, não constituem, em si, um problema filosófico-ontológico? Não constitui, a unidade ontológica do mundo, em seus mais diferentes níveis (físico, biológico, científico, filosófico etc.) um dos mais primordiais questionamentos que se poderia pôr à filosofia? Seria, a verdadeira realidade, uma unidade escondida sob a corrente enganadora da multiplicidade dos fenômenos?

¹⁶⁵ SKWARA, 2005 p. 69 e 70.

¹⁶⁶ A teoria das supercordas é, também, uma hipótese metafísica, pois diz respeito à natureza básica de tudo o que existe.

¹⁶⁷ “O sonho de uma teoria final não iniciou no século vinte. Ele pode ser visto no Ocidente em uma escola que floresceu um século antes do nascimento de Sócrates na cidade grega de Mileto... nós não sabemos realmente muito sobre o que os pré-socráticos pensaram, mas explicações posteriores e alguns fragmentos originais que sobreviveram sugerem que os milesianos já procuravam por uma explicação de todos os fenômenos naturais em termos de um constituinte fundamental da matéria. Para Tales, o primeiro deles, a substância fundamental era a água; para Anaxímenes, o último desta escola, era o ar” (WEINBERG, *Dreams of a final theory*, p. 07).

Uma coisa é certa, as coisas diferenciam-se segundo suas propriedades formando uma multiplicidade imensa e aparentemente desconexa. Como situar uma unidade que compreenda toda esta diversidade e não seja uma mera hipótese ideal entre o mundo sensível (aquilo que se apresenta aos sentidos) e o mundo inteligível, entre o movimento dos astros e das partículas elementares, entre um pedaço de madeira e um retrato de Rembrandt?

É verdade que muitos poderiam objetar que estamos, aqui, já no campo metafísico e muitos físicos não ousariam ir mais além. Talvez acusassem-nos de expor a física a dar um salto metafísico. Mas também é verdade que existe no homem um imperativo, quase que inato, de querer conhecer radicalmente a realidade e o mundo, e é isto o que diferencia os grandes pensadores, dos pensadores medíocres: onde estes últimos se detêm, os primeiros vão mais além e são estes, os grandes pensadores, que saciam nossa sede e fome de conhecimento.

Através de toda a história da filosofia sobressaem três temas que se cruzam e se interpenetram: a unidade, a multiplicidade e a realidade fundamental das coisas.

Somente no início do século XX, sobretudo com o positivismo lógico do Círculo de Viena, é que estas questões fundamentais pareceram vazias de sentido. Entretanto, se a filosofia da linguagem pôde fazer calar as vozes dos filósofos, não o pôde fazê-lo em relação à natureza e em relação ao trabalho daqueles que dedicam boa parte de suas vidas no sentido de buscar sempre uma maior compreensão do universo no qual estamos inseridos e cujo trabalho persiste de forma cada vez mais intensa em busca de uma teoria geral de tudo e, em cujos fundamentos, é preciso reconhecê-lo, reside um postulado metafísico que diz: “Tudo é Um”.

Depois de toda esta incursão pelo mundo físico e filosófico podemos agora reafirmar, com menor receio, o que vimos tentando demonstrar durante boa parte do curso deste projeto, que *o conhecimento científico é um sistema conceitual aberto, tendo como ambiente imediato a Ontologia*, ou ainda: “... fazer ciência inovadora é filosofar, sempre” (VIEIRA, 2002, p. 56).

Passemos agora a um dos aspectos metafísicos da física contemporânea que mais nos interessa e que foi interpretado com muita propriedade por Bachelard. Vejamos o “racionalismo da energia na química” no *Materialisme Rationnel*:

Do ponto de vista filosófico, o materialismo energético se ilumina pondo um verdadeiro existencialismo da energia. No estilo ontológico, como o filósofo aprecia dizer: o ser é, é necessário dizer: a energia é. Ela é absolutamente. E por uma conversão simples, podemos dizer duas vezes exatamente a mesma coisa: o ser é energia – e energia é ser. A matéria é energia... A energia é o suporte de tudo; não há mais nada por trás da energia¹⁶⁸.

Para Bachelard a energia é o suporte fundamental dos fenômenos. O materialismo racional tem um fundo de *energetismo*¹⁶⁹, ou seja, é pelas leis da energia que se pode dar conta dos fenômenos da matéria. Tais fenômenos são manifestações de uma energia; as reações químicas são relações de energia. É assim que a raiz essencialmente energética dos fenômenos químicos se impõe à pesquisa (cf. BACHELARD, 2000, p. 177 e 178). Donde podemos concluir que a energia é a realidade dinâmica fundamental e, por isso mesmo, deve ser colocada na classe das noções primeiras¹⁷⁰, inclusive no sentido kantiano de uma “coisa em si”¹⁷¹.

Agora que já trouxemos à tona o problema metafísico mais de perto a partir da realidade natural, passemos a considerá-lo sob o prisma a que mais nos interessa.

A teoria quântica levantou uma série de questões concernentes não só a problemas físicos mas também problemas epistemológicos e a questões ligadas a natureza da matéria – e, portanto, filosóficos – é o que afirma Heisenberg em sua conferência: *A descoberta de*

¹⁶⁸ BACHELARD, *Le materialisme rationnel*, p. 177.

¹⁶⁹ Cumpre aqui não confundir o energetismo de Bachelard com o energetismo do final do século XIX que ao desenvolver a interpretação energética da ciência natural (Ostwald, Duhem e Mach), negavam o valor científico da teoria atomista. O energetismo surge quando a ciência encontra o problema de penetrar em um nível estrutural mas fundo da matéria. O energetismo de Ostwald refletia a idéia neste período daqueles que buscavam os caminhos, então desconhecidos, para chegar ao conhecimento da estrutura atômica da matéria. Seus partidários defendiam a idéia de que todos os fenômenos da natureza são modificações de energia, carente de base material. Sobre o energetismo de Ostwald e Duhem, assim se refere ROSMORDUC: “A matéria é uma invenção, bastante imperfeita, que nós inventamos para representar o que há de permanente em todas as vicissitudes. A realidade efetiva... é a energia” (*Une histoire de la physique et de la chimie de Thales a Einstein*, p. 222). Com os novos dados da física nuclear e da física de partículas, o energetismo renasce no século XX, mas sem negar o valor da teoria atomista, sobretudo fortalecido pela lei de relação entre massa e energia estabelecida pelo físico alemão Albert Einstein.

¹⁷⁰ “Sempre, no domínio da química, é necessário tomar a noção de energia como uma realidade primitiva” (BACHELARD, *Le materialisme rationnel*, p. 178).

¹⁷¹ “Desde então, um filósofo que reconhecer a instância profunda que é a energia, um filósofo que seguir o pensamento efetivo do químico contemporâneo deverá convir que a energia representa, doravante, o papel da coisa em si. Esta velha noção, da qual se tem freqüentemente denunciado o caráter de monstruosa abstração, ei-la aqui com toda sua força” (BACHELARD, *Le materialisme rationnel*, p. 177). ver ainda: BACHELARD, *Le materialisme rationnel*, p. 181 e 188.

*Planck e os problemas filosóficos da física atômica*¹⁷². Um destes problemas – diz Heisenberg – “se refere à essência da matéria ou, mais exatamente, à velha questão dos filósofos gregos de como é possível reduzir a princípios simples a variedade e a multiplicidade dos fenômenos que envolvem a matéria e assim torná-los inteligíveis” (BORN; [et al], 2000, p. 10)¹⁷³. Em sua conferência, Heisenberg aborda, em primeiro lugar, o “problema no reino da *filosofia natural* provenientes da busca de um entendimento unificado dos fenômenos materiais. Os filósofos gregos, meditando à base dos fenômenos visíveis, defrontaram-se com a questão das menores partículas de matéria” (BORN; [et al], 2000, p. 11 – grifo nosso). E é bastante significativo que Heisenberg aborde esta questão como ligada à “filosofia natural”. Tão significativo quanto o fato de abordar os problemas filosóficos da física atômica, como consta no título de sua palestra.

Quando a ciência natural investiga o problema da matéria, seu caminho será basicamente o estudo das formas de matéria. A infinita variedade e mutabilidade dessas formas verá ser o objeto imediato da investigação e esforços serão envidados na procura de leis naturais, de princípios de unificação, que possam servir de guia através desse domínio imenso. Eis por que a ciência natural – especificamente a física – concentrou sua análise, por um longo período, na estrutura da matéria e nas forças responsáveis por essa estrutura¹⁷⁴.

Ligado ao problema da natureza da matéria está o problema de suas transformações, da transmutação das partículas elementares, produzidas naturalmente e artificialmente por meio do choque entre as mais diferentes partículas. Eis o que diz Heisenberg:

Podemos exprimir esse fenômeno do seguinte modo. Todas as partículas elementares são compostas da mesma substância, isto é, energia.

¹⁷² In: BORN; [et al], 2004.

¹⁷³ Ver a este respeito toda a parte referente à Escola Jônica, Heráclito e ainda, Diógenes de Apolônia. Que a Escola Jônica procurou reduzir a grande multiplicidade dos fenômenos que envolvem a matéria a um único princípio é algo que está fora de dúvida. Para o filósofo Heráclito este princípio era o fogo, que Heisenberg pensa poder estabelecer uma analogia com o conceito de “energia” da física contemporânea, sendo a energia esta “substância” da qual são feitas todas as partículas elementares; estas se transformam umas nas outras, transmutando-se em energia e novamente assumindo a forma de uma partícula elementar. Assim, a energia é a causa de toda mudança e de toda transformação decorrente dos processos de colisão entre partículas. A massa de uma partícula pode ser entendida como equivalente a uma certa quantidade de energia, o que significa dizer que estas não podem mais ser encaradas como algo estático, mas como um modelo dinâmico de padrões de energia, esse conhecimento em termos de processo se desenvolveu na física a partir da teoria da relatividade de Einstein (ver mais adiante: Dinamismo Metafísico em Heisenberg).

¹⁷⁴ HEISENBERG, 1999, 207 e 208.

Constituem as várias formas que a energia deve assumir a fim de tornar-se matéria. No caso reaparece o par de conceitos, ‘conteúdo e forma’ ou ‘substância e forma’, da filosofia aristotélica. Energia não é apenas a força que mantém o ‘todo’ em movimento contínuo; é também – como o fogo na filosofia de Heráclito – a substância fundamental de que é feito o mundo. A matéria origina-se quando a substância energia é convertida na forma de uma partícula elementar. *As partículas elementares são, pois, as formas fundamentais que a substância energia deve assumir a fim de converter-se em matéria*¹⁷⁵.

Para Heisenberg – parece já ter ficado claro –, todas as partículas elementares podem ser explicadas a partir de uma substância universal (energia), sendo que nenhuma das partículas elementares pode ser considerada mais elementar que a outra¹⁷⁶. Ou se se preferir, para utilizar a expressão de Schrödinger: “os nossos prezados átomos familiares, corpúsculos, partículas são quanta de energia planckianos” (BORN; [et al], 2004, p. 55).

Mas não nos antecipemos demasiadamente sobre as conclusões do nosso autor. Passemos a analisar o problema metafísico da transmutação dos componentes mais fundamentais da matéria.

7.2 Análise Metafísica das Transformações da Matéria: a Questão da Transmutação em Heisenberg

Iniciaremos este tópico com a afirmação de que a transformação substancial dos elementos é o pressuposto ontológico da unidade substancial da matéria¹⁷⁷; além disso, é a partir dela que se prende a argumentação de Heisenberg em favor da unidade da matéria,

¹⁷⁵ BORN; [et al], 2004, p. 23 – grifo nosso.

¹⁷⁶ “De maneira inteiramente geral, a noção de partícula elementar sofreu uma evolução considerável na física moderna. Não é senão com algumas restrições que podemos definir as partículas elementares como os constituintes últimos e indecomponíveis da matéria” (HEISENBERG, *La physique du noyau atomique*, p. 55). E isto porque a experiência mostra que aquilo que se acreditava serem os tijolos indivisíveis e fundamentais da matéria podem se transformar uma nas outras, não havendo, portanto, senão de forma restrita, constituintes mais básicos da matéria formada, na realidade, de uma única substância fundamental. Sobre o abandono da filosofia atomista e do conceito de partículas fundamentais elementares, confira uma breve passagem da conferência *A tradição na ciência* (In: SANTOS, 1990, p. 91) onde Heisenberg se opõe frontalmente ao materialismo atomista em favor da filosofia de Platão (mais especificamente em favor da idéia de simetria).

¹⁷⁷ cf. SELVAGGI, 1980, p. 397 e mais adiante, das páginas 409 a 411. Para uma análise mais detalhada deste tópico sugerimos a leitura do livro de Selvaggi, conforme referência. Se aqui não seguimos Selvaggi em todos os aspectos é porque sua análise se prende ao hilemorfismo aristotélico, o que foge da nossa proposta de trabalho e demandaria, eventualmente, um outro projeto.

embora não o seja com o mesmo alcance filosófico proposto por Filippo Selvaggi em sua análise da essência física e metafísica da substância.

Como dissemos no item anterior, ligado ao problema da natureza da matéria está o problema de suas transformações. Em relação ao processo de colisão de partículas – afirma Heisenberg – ocorre que

de um choque desse tipo origina-se um grande número de partículas e, de um modo surpreendente e paradoxal, as partículas oriundas da colisão não são menores do que as partículas elementares que foram rompidas. Elas próprias são novamente partículas elementares. Esse paradoxo tem explicação no seguinte fato: segundo a teoria da relatividade, a energia é conversível em massa. As partículas elementares às quais os aceleradores forneceram grande quantidade de energia cinética, com a ajuda dessa energia, conversível em massa, pode gerar novas partículas elementares¹⁷⁸.

O raciocínio de Heisenberg é muito semelhante àquele de Diógenes de Apolônia. Só podemos admitir a possibilidade das transformações incessantes que sofrem as diferentes partículas atômicas e subatômicas por que elas compartilham de uma origem comum, quer dizer, de uma só e da mesma substância. Sem essa origem comum as coisas individuais permaneceriam separadas umas das outras, sem poder se misturar, dissociar ou unir ou à se combinar para, finalmente, voltar ao princípio comum que as engendra. É muito interessante ver também a este respeito o que diz um dos seguidores e alunos de Heisenberg, a saber, Von Weizsäcker:

O recente aumento no número de partículas elementares nos dá esperança de que um dia *uma raiz comum para todas as partículas elementares e campos possa ser descoberta*. Isto nasce do fato de que partículas elementares podem se transformar em outras de várias formas: um fóton em um par elétron-pósitron, um nêutron em um próton e um elétron, um próton em um nêutron e um pósitron etc. Partículas elementares adicionais (mésons) são produzidas do campo de força do núcleo atômico e da energia cinética de muitos prótons¹⁷⁹.

¹⁷⁸ BORN; [et al], 2004, p. 22 e 23.

¹⁷⁹ WEISZÄCKER; JUILFS, *Contemporary Physics*, p. 107 – grifo nosso.

Nós chegamos em um momento decisivo: o problema das transmutações¹⁸⁰. De modo cada vez mais evidente encontramos esta idéia confrontada com a experiência, quer dizer, submetida a métodos científicos. Desde o momento das descobertas de Lavoisier e da concepção atomística de Dalton, em que as descobertas dos elementos químicos puderam apoiar-se em dados concretos, a idéia da transmutação e da unidade da matéria caiu em descrédito; porque elas se encontravam em desacordo flagrante com a nova via aberta pela ciência. A noção de transmutação toma, aos olhos dos cientistas, a forma de uma idéia superada e um obstáculo ao programa das ciências. A idéia de corpos simples toma, rapidamente, a forma de um dogma. Ei-nos no início do século XX. A idéia das transmutações não parece mais tão absurda. E é sob a possibilidade da transmutação dos elementos que a idéia da unidade da matéria reaparecerá no seio mesmo da ciência (não apenas da transmutação da matéria, mas também da transmutação desta em energia). Neste momento não se trata mais apenas de conjecturas mais ou menos prováveis no que diz respeito a possibilidade de transmutação, e conseqüentemente a questão da unidade da matéria, mas de verificação experimental que nos obriga a admitir ou recusar as hipóteses propostas. No período científico que nós consideramos aqui, não se trata apenas de uma tendência do pensamento de impor ao real a forma de seus próprios conceitos; não se trata mais de uma adivinhação mais ou menos feliz: os fatos, as provas experimentais afluem de todas as partes. Esta unidade, esta origem comum de todas as coisas que os naturalistas jônicos já entreviram, os cientistas do século XIX e XX a procuram com toda obstinação.

Partindo do princípio de que a unidade ou multiplicidade e mutabilidade podem e devem ser consideradas como propriedades fundamentais da substância material, entendendo-se por substância a natureza ou a realidade de uma coisa, torna-se indispensável uma análise física e metafísica das transformações substanciais da matéria como base para se pensar a unidade fundamental da substância¹⁸¹.

¹⁸⁰ “Consideremos agora de perto estas transmutações. Duas questões se põem. Quais são os elementos que podem ser transformados um no outro? Em quais condições uma transmutação é possível? Para responder a isto é necessário separar as transmutações em dois grupos, as que se produzem espontaneamente, e as que são provocadas do exterior. A propriedade que tem um elemento de se transformar ele mesmo se chama radioatividade porque o fenômeno se produz sempre com emissão de uma radiação. Os elementos radioativos se dividem em dois grupos, os que emitem raios α e os que emitem raios β ... Nos dois casos ocorre aí emissão simultânea de raios γ ”. (HEISENBERG, *La physique du noyau atomique*, p. 121 e 122).

¹⁸¹ Grosso modo, podemos dizer em relação ao monismo Metafísico, que este postula a existência de uma realidade que permanece, isto é, a *matéria-prima*, apesar das transformações e mutações físico-químicas das substâncias. É interessante, antes de prosseguir, ver a este respeito as importantes observações feitas

Essa transformação substancial da matéria consiste

(...) em uma verdadeira e própria transformação substancial, no sentido de que aquilo que era atualmente uma determinada substância se transforma em uma nova substância que antes não havia e ela mesma cessa de existir. Assim, um nêutron livre se transforma espontaneamente dentro de poucos minutos em um próton, um elétron e um antineutrino, que não preexistiam no nêutron, mas são gerados na transformação, ao passo que o nêutron deixa simplesmente de existir¹⁸².

A transformabilidade substancial impõe o reconhecimento de certa matéria comum a todos os corpos¹⁸³, ou seja, em toda mudança substancial se requer uma certa matéria comum, de que as duas substâncias-termos da mudança sejam feitas, como princípio imanente do ser que “vem-a-ser”, caso contrário a mudança seria feita do nada, o que é absurdo.

Nesse processo de transformabilidade ou transmutação, as partículas elementares não apenas são criadas e aniquiladas como também

(...) *se transformam universalmente uns nos outros*. Para começar pelos quarks, eles trocam continuamente de cor uns com os outros no interior de cada hádron e se transformam de um sabor para outro na degradação das partículas. O caso mais simples ocorre na degradação de um nêutron em um próton, com a transformação de um quark down em um quark up¹⁸⁴.

Convém observar que usamos aqui os termos “criados” e “aniquilados” no sentido adotado pela física contemporânea, de transformação de energia em massa e vice-versa, isto é, aparição e desaparecimento de corpúsculos de massa. A emissão e absorção de luz, por exemplo, corresponde à criação e aniquilação de um fóton ou quantum do campo

referentes a Diógenes de Apolônio (cf . cap. 03) e que resume de maneira bastante clara o problema da relação entre a unidade e a mutabilidade dos diferentes compostos e substâncias.

¹⁸² SELVAGGI, 1980, p. 395. Ver cap. 5 desta dissertação – “quando um fóton, por exemplo, se transforma em um elétron e um pósitron, ou quando nasce um fóton de um elétron e um pósitron, é impróprio dizer que um fóton é composto de um elétron e um pósitron, como também é impróprio dizer que um próton seja formado de um nêutron, um elétron e um antineutrino, no decaimento beta, mas é uma característica *fundamental* de todas as partículas essa possibilidade de transformação” (cf. p. 59).

¹⁸³ “Todos os objetos diversos do universo, que podemos conhecer, todas as formas individuais de existência não são senão formas especiais e passageiras da substância” (In: SELVAGGI, 1980, p. 371).

¹⁸⁴ SELVAGGI, 1980, p. 394.

eletromagnético; também as diversas partículas: elétrons, pósitrons, prótons, nêutrons etc., podem ser criadas e aniquiladas¹⁸⁵.

Os mais variados

(...) compostos químicos a compor qualquer tipo de objeto que a Natureza exhibe, seja ele mineral, vegetal ou animal, sabemos que se trata sempre da mesma matéria, sendo basicamente as mesmas forças que agem entre as diferentes partes de matéria em qualquer tipo de objeto (...) O Mundo assim, nos aparece como um complexo tecido de fenômenos, no qual conexões de tipos diversos se alternam ou se sobrepõem ou combinam-se e, em consequência, determinam a tessitura do todo¹⁸⁶.

As transmutações espontâneas mostraram que a matéria não é imutável, mas que ela se transforma. Além disso, ao lado das transmutações dos elementos em outros elementos, podemos conceber transmutações de uma forma de energia em outra forma de energia.

Há alguma coisa de comum entre o antigo e o novo problema das transmutações?¹⁸⁷ Vejamos mais uma vez a questão posta por Diógenes de Apolônia: as coisas individuais poderiam se transformar, poderiam ter alguma relação entre elas, se elas não tivessem alguma coisa em comum? A resposta dada por Diógenes a esta questão consiste em dizer que as mudanças que resultam das relações entre as diferentes substâncias se explicam pela identidade de sua origem. “O gênio grego criou a idéia da unidade da matéria, ele estabeleceu disto os fundamentos lógicos ou racionais mas não encontrou os meios de lhe dar uma base experimental... A ciência teve a obrigação de, portanto, voltar atrás no caminho que o pensamento filosófico tão rápido ultrapassou”. (KONCZEWSKA, *L'unite de la matiere et le probleme des transmutations*, p. 113).

Aqui mais uma vez encontramos uma aproximação da idéia monista e de transmutação dos naturalistas jônios. “Anaxímenes concebeu, com efeito, a gênese dos

¹⁸⁵ “A criação e aniquilação de partículas materiais foi observada experimentalmente mediante as câmaras de névoa e bolhas nas reações provocadas pela radiação cósmica e, ainda mais, pelas grandes máquinas aceleradoras de partículas. Um quantum de elevada energia pode dar margem à criação de um par elétron-pósitron ou próton-antipróton; e vice-versa, o encontro de uma partícula com a sua antipartícula conduz a aniquilação do par, com liberação de um quantum de elevada energia” (SELVAGGI, 1980, p. 394).

¹⁸⁶ HEISENBERG, 1999, p. 152 e 153.

¹⁸⁷ “Quando nós seguimos através dos séculos o desenvolvimento do problema da unidade da matéria, desde a filosofia grega até as descobertas da ciência moderna, então, malgrado todas as mudanças produzidas pela evolução da experiência, nós conseguimos reencontrar aí a continuidade de uma mesma corrente, a comunidade de uma mesma fonte da qual jorraram as diversas interpretações da unidade da matéria” (KONCZEWSKA, *L'unite de la matiere et le probleme des transmutations*, p. 291).

corpos como uma condensação progressiva do elemento mais leve: o ar. O ar engendrava assim, a partir dele, estados cada vez mais densos e pesados da matéria” (KONCZEWSKA, *L'unité de la matière et le problème des transmutations*, p. 200).

Se nós considerarmos, portanto, não tanto o método de pesquisa, mas as suas origens racionais, reencontramos uma inspiração comum entre o antigo e o novo problema das transmutações; apesar das mudanças de idéias devido ao desenvolvimento da experiência, percebemos alguma coisa de comum que persiste e que tende a renascer: *é a idéia da unidade da matéria*, que o espírito humano jamais pensou em rejeitar de modo absoluto e definitivo.

VIII. A Unidade Ontológica em Heisenberg

Já vimos anteriormente que a questão da unidade da matéria e mesmo a idéia de suas transformações (geração, corrupção, transmutação) não é uma invenção da ciência moderna, mas já fora pensada pela filosofia grega e, diga-se de passagem, pelos alquimistas¹⁸⁸. É aos filósofos gregos, sobretudo, que devemos atribuir o mérito de ter posto pela primeira vez tais problemas e suas bases teóricas, principalmente com os filósofos e físicos da Escola de Mileto. As mudanças qualitativas da matéria constituíram, aos olhos dos físicos gregos, em uma transmutação da substância fundamental, ou seja: a transmutação dos elementos são fatos observados e que são explicados em razão da unidade da matéria. Quando Anaxímenes, por exemplo, explica a gênese de todas os corpos sensíveis por condensação ou rarefação do elemento primordial, o ar, este processo não é outra coisa senão uma série de transmutações sucessivas de um mesmo elemento cósmico, que é, ao mesmo tempo, o substrato estável e a causa das mudanças.

Nesse sentido, podemos dizer que a Escola de Mileto estabeleceu os primeiros fundamentos racionais e físicos de uma teoria da *unidade da matéria*. Os corpos se transformam porque são feitos de uma única substância. Sua diversidade não representa senão, diferentes estados da matéria primordial. Assim, “nos parece inteiramente natural afirmar que, nos sistemas cosmológicos gregos, nós encontramos já as primeiras bases e os primeiros elementos desta unidade do mundo, da qual a física moderna fornecerá provas e às quais ela dará uma expressão mais perfeita” (KONCZEWSKA, *L'unite de la matiere et le probleme des transmutations*, p. 30).

¹⁸⁸ “A unidade da matéria e a transformação dos elementos – tais são, portanto, as bases essenciais da filosofia alquímica que lhe permitem conceber e justificar toda sua concepção das transmutações” (KONCZEWSKA, *L'unite de la matiere et le probleme des transmutations*, p. 45). Para os alquimistas, as qualidades individuais das substâncias representam as condições que os distinguem dos outros corpos, mas, cada um destes diferentes corpos contém uma certa porção da matéria primeira que constitui o princípio ativo de união e transmutação dos corpos. Para realizar uma transmutação é necessário, portanto, despojar a matéria de suas qualidades individuais. Só assim, se poderá obter, dos corpos, as propriedades desejadas. “A idéia da unidade da matéria permite explicar e justificar as tentativas incessantes das transmutações experimentais dos corpos e mais particularmente dos metais” (KONCZEWSKA, *L'unite de la matiere et le probleme des transmutations*, p. 49). E mais adiante: “Há alguns pontos essenciais sobre os quais podemos estabelecer um acordo: os elementos dos alquimistas como aqueles dos físicos gregos se transformam uns nos outros, porque há uma única substância da qual eles derivam e que lhes é um constituinte comum...” (KONCZEWSKA, *L'unite de la matiere et le probleme des transmutations*, p. 53). E interessante também ver, a este respeito, a opinião do próprio Heisenberg: “... a física nuclear moderna realizou, de certo modo, a esperança pela qual os velhos alquimistas tanto trabalharam” (HEISENBERG, *La physique du noyau atomique*, p. 121).

Temos chamado a atenção em muitos pontos para o fenômeno da transmutação dos elementos químicos, átomos e partículas elementares, porque para Heisenberg, tal como para os primeiros filósofos gregos, podemos dizer, os fundamentos racionais e físicos de uma teoria da *unidade da matéria* se baseia na possibilidade de transmutação dos diferentes elementos que compõem a matéria, uns nos outros. Tal é, com efeito, o caminho pelo qual nos conduz Heisenberg e que nos permite concluir pela idéia de que tais “elementos” compartilham de uma mesma substância, e que, em última instância, é o que a física moderna chama de *energia*. Essa relação de transmutação está explícita na famosa equação $E=mc^2$. Seria difícil entender como duas substâncias, absolutamente heterogêneas, poderiam se transmutar uma na outra: todas as partículas elementares podem, a energias suficientemente altas, transmutar-se em outras. “Assim, temos aqui, de fato, a prova final da Unidade da Matéria. As partículas elementares, todas elas, são feitas da mesma substância, e a essa podemos chamar de *energia* ou *matéria fundamental*: elas são tão-somente formas distintas em que a matéria pode se revelar” (HEISENBERG, 1999, p. 222 – grifos nosso).

As partículas observadas na Natureza são manifestações dessa “matéria” primordial, origem de toda a estrutura da matéria. A partir de 1953, Heisenberg de certo modo isolou-se da principal corrente de pesquisa, no campo da física das partículas elementares, ao insistir na formulação de uma teoria que não fizesse uso de constituintes elementares (não aceitando, portanto, a visão atomista de Demócrito), mas que descrevesse o comportamento da matéria em geral, a qual derivaria da matéria primordial, que ele chamou em alemão de: *Urmaterie*¹⁸⁹.

Há um século entramos na era quântica. Sob qual aspecto esta nova concepção recoloca em questão nossa compreensão da realidade? A descoberta do caráter dual da matéria e do papel fundamental da probabilidade demoliu a noção clássica de objetos sólidos, contrariando, também, a noção *atomística grega* de uma unidade indestrutível. A nível subatômico, os objetos materiais sólidos da física clássica e da física atomística grega dissolvem-se em padrões ondulatórios de probabilidades. Esses padrões, além disso, não

¹⁸⁹ Não é mera coincidência que Heisenberg tenha batizado essa matéria primordial com esta expressão, que pode ser entendida como a matéria primitiva e, assim como para os filósofos gregos, o universo resulta das modificações deste princípio originário, assim também para Heisenberg, toda realidade não é senão modificações de uma mesma substância, a que podemos chamar *energia*, ou *matéria fundamental*.

representam probabilidades de coisas, mas probabilidades de interconexões. Uma análise cuidadosa do processo de observação na física atômica mostra que as partículas subatômicas carecem de significado como entidades isoladas e somente podem ser entendidas como interconexões, ou correlações, entre vários processos de observação e medição.

Na seqüência da experiência de Rutherford, as pesquisas de Heisenberg e dos outros físicos quânticos mostraram que os constituintes dos átomos – elétrons, prótons, nêutrons e as dezenas de outros elementos infranucleares que foram descobertos a seguir – não manifestam nenhuma propriedade associada aos objetos físicos. As partículas elementares não se comportam como partículas ‘sólidas’: elas parecem conduzir-se como entidades abstratas¹⁹⁰.

De acordo com o ponto de vista aqui sugerido, a física moderna revela a unicidade básica do universo. O universo não apenas nos mostra que não podemos decompor o mundo em unidades ínfimas com existência independente, mas, tal como afirma Heisenberg, toda a matéria tem sua origem em alguma substância básica primordial que, para o nosso século, *é tão determinada quanto o indeterminado de Anaximandro*. Quando penetramos na matéria, a natureza não nos mostra quaisquer elementos básicos isolados, mas apresenta-se como uma teia complexa de relações entre as várias partes de um todo unificado.

O universo é um todo unificado que pode, até certo ponto, ser dividido em partes separadas, em objetos feitos de moléculas e átomos, compostos, por sua vez, de partículas. Mas atingido o nível das partículas, a noção de partes separadas dissipa-se. As partículas subatômicas não podem ser entendidas como entidades isoladas, mas devem ser definidas através de suas inter-relações¹⁹¹.

¹⁹⁰ GUITTON, 1992, p. 68 e 69. E mais adiante: “se as estrelas são objetos materiais, as partículas subatômicas não são grãosinhos de poeira. São antes, tendências a existir (...) Em termos mais rigorosamente conformes à teoria quântica, o postulado de uma partícula dotada de existência independente é uma convenção, sem dúvida cômoda, mas infundada (...) os físicos pensam que as partículas elementares, longe de serem objetos, são na realidade o resultado, sempre provisório, de interação incessante entre ‘campos’ imateriais” – Ibidem, p. 74 e 75.

¹⁹¹ CAPRA, 2001, p. 75 e 76. Ver também: “... a física quântica mostra que não podemos decompor o mundo em unidades elementares que existem de maneira independente... a natureza... aparece como uma complexa teoria de relações entre as várias partes de um todo unificado” (In: CAPRA, 1997, p. 41).

Uma importante consequência da nova estrutura relativística foi a idéia de que há uma profunda relação entre massa e energia. A descoberta de que a massa é uma forma de energia teve uma profunda influência em nossa representação da matéria e forçou-nos a modificar o conceito de partícula de um modo essencial. Na física moderna, a massa deixou de estar associada a uma substância material; por conseguinte, não se considera que as partículas consistam, em si mesmas, qualquer “substância material básica”; elas são vistas como feixes de energia.

Força e matéria são vistas agora como tendo sua origem comum nos modelos dinâmicos a que chamamos partículas. Esses modelos de energia do mundo subatômico formam as estruturas nucleares, atômicas e moleculares estáveis que constroem a matéria e lhe conferem seu sólido aspecto macroscópico, fazendo-nos por isso acreditar que ela é feita de alguma substância material. Em nível microscópico, essa noção é uma útil aproximação, mas no nível atômico deixa de ter qualquer sentido. Os átomos consistem em partículas, e estas partículas não são feitas de qualquer substância material. Quando as observamos, nunca vemos qualquer substância; o que vemos são modelos dinâmicos que se convertem continuamente uns nos outros - a contínua dança da energia¹⁹².

A teoria quântica mostrou que as partículas subatômicas não são grãos isolados de matéria, mas modelos de probabilidade, interconexões numa inseparável teia cósmica que inclui o observador humano e sua consciência. “No nível subatômico, as inter-relações e interações entre as partes do todo são mais fundamentais do que as próprias partes. Há movimento, mas não existem, em última análise, objetos moventes; há atividade, mas não existem atores; não há dançarinos, somente a dança” (CAPRA, 2001, p. 86).

Ligado ao problema da unidade fundamental da matéria, tal como o sugere Heisenberg, está o problema do dinamismo¹⁹³. Não apenas Heisenberg defende a teoria de

¹⁹² CAPRA, 2001, p. 85.

¹⁹³ É preciso definir aqui em que sentido entendemos o termo dinamismo. Entendemos por dinamismo aquilo que é contrário ao estático. Dinamismo indica movimento, vir-a-ser, mutabilidade, algo que está em perene mudança e atividade. Deste ponto de vista pode dizer-se que a filosofia de Heráclito é dinâmica e que a filosofia da Parmênides é estática. Este significado de dinamismo como movimento foi herdado pela física, quando por exemplo se diz que uma de suas partes é a Dinâmica, ou Cinemática, ou Eletromagnetismo etc. A Dinâmica é o estudo das forças e dos movimentos por elas produzidos (frente à Estática que se ocupa do equilíbrio das forças). Em um sentido mais restrito se entende por dinamismo uma teoria cosmológica segundo a qual a realidade é dotada de força e atividade. O dinamismo assim entendido, junto com o atomismo, o energetismo e o hilemorfismo, é uma das teorias cosmológicas que se há formulado para intentar resolver o difícil problema da constituição mais fundamental da realidade. Historicamente o energetismo surgiu para tentar superar o mecanicismo atomista. O atomismo pode explicar um mundo estático, mas não

que todos os compostos materiais compartilham de uma mesma “substância” mas, uma vez aceita como modelos dinâmicos de energia, a matéria deixa de ser algo indestrutível e estático para se converter num contínuo padrão dinâmico de energia que formam as estruturas nucleares, atômicas e moleculares estáveis que constroem a realidade. Não existe uma matéria puramente inerte, ainda que muitas entidades apareçam na experiência ordinária como se fosse matéria inerte, desprovida de atividade. Uma vez aceita como uma forma de energia, as entidades naturais têm um dinamismo que pode, em certas ocasiões, manifestar-se em estado de equilíbrio.

(...) os conhecimentos científicos manifestam com clareza que o *dinamismo é uma característica básica das entidades naturais em todos o níveis*, tanto no nível microfísico (partículas subatômicas, átomos e moléculas) como no macrofísico (entidades observáveis). Os entes microfísicos não são entidades passivas e nem imutáveis. Os compostos físico-químicos, dos minerais até as estrelas, passando pelos líquidos e gases, possuem um dinamismo que, em determinadas ocasiões, permanece oculto, pois existem estados estáveis de equilíbrio¹⁹⁴.

Em Heisenberg, este dinamismo é uma consequência direta do seu postulado de que em todos os níveis da vida e do universo, tudo deriva da “energia”, embora ainda não se possa defini-la com precisão o que seja, a energia está, de algum modo, relacionada com o nosso mundo material. Não apenas a raiz última do real é um princípio energético como dinâmico¹⁹⁵. No mundo quântico tudo “flutua”, nada está parado. E é isto dinamismo energético que leva Heisenberg a pensar a física moderna um pouco como Heráclito. A *energia* é um fluxo contínuo e causa de toda mudança no mundo da qual todos os

um universo dinâmico como é o que nos apresenta a experiência. O energetismo surge em estreita relação com o dinamismo, pois, como já dissemos, uma vez aceite como formas condensadas de energia, a matéria se torna essencialmente dinâmica em seu nível mais fundamental.

¹⁹⁴ ARTIGAS, 2005, p. 50.

¹⁹⁵ O estudo das diferentes modalidades da energia se constituiu em um dos temas fundamentais do século XX e esta orientação energética receberá plena consagração de virtude de duas das teorias físicas de maior relevância, a saber, a teoria dos quanta e a teoria da relatividade. A primeira, devida à Max Planck, sustentará o caráter descontínuo da energia, já que a mesma é emitida por corpos radiantes em múltiplos inteiros de certos elementos indivisíveis chamados quanta de energia. As partículas subatômicas são pacotes de energia. A segunda, obra de Albert Einstein, contém, como uma de suas teses fundamentais, a equivalência entre massa e energia; até então se havia sustentado a equivalência entre as diversas manifestações da energia, em virtude do primeiro princípio da termodinâmica; mas Einstein estabeleceu que toda massa é convertível em energia e vice-versa. Com isto o universo se apresenta como um imenso complexo dinâmico-energético, em que todo fenômeno natural pode ser interpretado como uma manifestação da energia, em uma ou outra das diversas formas que a mesma pode adotar.

elementos são formados e constituídos. Tudo está em perpétua e contínua mudança no seu nível mais fundamental, se entendermos que tudo é energia; matéria não é senão energia em forma condensada. A massa de uma partícula equivale a uma certa quantidade de energia determinada pela teoria da relatividade restrita.

Podemos aqui estender esta questão a partir das análises feitas por Bachelard em relação a noção de dinamização da substância¹⁹⁶.

Por detrás do ser desenha-se imediatamente um *devenir*. [Este *devenir*] apresenta-se como uma espécie de diálogo entre a matéria e a energia. As trocas energéticas determinam modificações materiais e as modificações materiais condicionam trocas energéticas. E é aqui que vemos aparecer o tema novo da dinamização, verdadeiramente essencial da substância. A energia é parte integral da substância; substância e energia são igualmente ser¹⁹⁷.

Da mesma forma como que a metafísica de Kant instruiu-se na mecânica de Newton¹⁹⁸, “na física relativista, a massa já não é heterogênea à energia” (BACHELARD, 1991, p. 30). Torna-se pois claro que o complexo matéria-energia conduz a uma compreensão dinâmica da realidade em sua essência mais profunda, em sua estrutura mais fundamental. “A substância é inseparável da sua energia” (BACHELARD, 1991, p. 64)¹⁹⁹.

No sentido em que aqui estamos insistindo, a totalidade do universo aparece-nos como uma teia dinâmica de padrões inseparáveis de energia. Todas as partículas podem ser transmutadas em outras partículas; elas podem ser criadas da energia e podem desfazer-se em energia, refletindo assim a unidade básica e a natureza intrinsecamente dinâmica da matéria. Esta natureza intrinsecamente dinâmica das partículas elementares é o que força, em certo sentido, os físicos a buscarem uma unificação entre a física quântica e a teoria da relatividade pois as partículas confinadas em dimensões tão reduzidas movem-se com velocidades consideravelmente maiores do que as partículas confinadas às dimensões das

¹⁹⁶ cf. BACHELARD, 1991, p. 60.

¹⁹⁷ BACHELARD, 1991, p. 62.

¹⁹⁸ cf. BACHELARD, 1991, p. 28

¹⁹⁹ “... a rejeição de Bachelard diz respeito à idéia metafísica clássica de substância, no que ela apresenta de estático e imutável, de determinação em última instância formal e definitiva. A atividade das ciências da natureza mostrou o caráter insustentável desta idéia” (VAZQUEZ, 1996, p. 42). Ver também o artigo do prof. Antônio Franco, cujas análises apontam para o fato de que Bachelard entende a energia como realidade primitiva; a energia é o suporte (fundamento) do real. Bachelard trata a matéria como atividade e vibração (*Le Nouvel Esprit Scientifique*) e dá à vibração e à energia um enfoque existencial (*La Dialectique de la Durée*) (cf. FRANCO, 2001).

estruturas atômicas; movem-se, de fato, tão rapidamente, que só podem ser descritas de forma adequada no âmbito da teoria especial da relatividade. Para compreender as propriedades e interações das partículas subatômicas é necessário utilizar uma moldura que leve em conta a teoria quântica e a da relatividade.

A teoria da relatividade afirma-nos que a massa nada mais é que uma forma de energia. A energia não só pode assumir as diversas formas conhecidas na Física clássica, como pode, igualmente, ser aprisionada na massa de um objeto (...) ela [a massa] pode, agora, ser transformada em outras modalidades de energia. Isso pode ocorrer quando partículas subatômicas colidem umas com as outras. Nessas colisões, as partículas podem ser destruídas e a energia contida em suas massas pode ser convertida em energia cinética e distribuída entre as demais partículas que participam da colisão. Reciprocamente, quando partículas colidem a elevadíssimas velocidades, sua energia cinética pode ser utilizada para formar as massas de novas partículas²⁰⁰.

Na visão dinâmica da Física moderna não há lugar para formas estáticas. Os elementos básicos do universo são padrões dinâmicos; etapas transitórias no fluxo constante de transformação e mudança. E na visão dinâmica de Heisenberg, toda multiplicidade fenomênica do real deriva de uma unidade fundamental e originária, no mesmo sentido da filosofia jônia. A descrição dos fenômenos físicos estabelecida pela física contemporânea conduz Heisenberg a pensar a natureza de forma unificada. Os vários elementos e compostos da natureza não são senão manifestações de um único princípio: *a energia*. Não há senão uma única substância, desde as partículas elementares até os sistemas planetários. Heisenberg insiste em toda sua obra na formulação desta teoria: os constituintes elementares da matéria derivam de uma “substância” primordial; os fenômenos observados na natureza são manifestações desta “substância”; todas as partículas são explicadas a partir de uma “substância universal”.

Na base de todos os fenômenos do real há um princípio energético e dinâmico ou, no estilo metafísico como poderia descrever o filósofo: *a energia é o fundamento de tudo*. É assim que Heisenberg afirma que todas as partículas elementares e, conseqüentemente, tudo o que existe na natureza, são feitas desta “matéria” fundamental. Todo o substrato do real e toda a matéria têm um fundo energético. A energia é a realidade dinâmica fundamental.

²⁰⁰ CAPRA, 1983, p. 154 e 155. Cf. ilustração de uma colisão (1983, p. 155).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revolução científica iniciada com Galileu e que alcançou seu auge com Sir. Isaac Newton modificou a velha concepção de mundo presente na Idade Média, exercendo grande influência na história do pensamento científico e filosófico. Toda a evolução de nossas idéias sobre a maneira pela qual imaginávamos a natureza podia, desde então, ser concebida como um desenvolvimento das idéias newtonianas.

No início do século XX a física atravessou uma grave crise, tendo sofrido fortes abalos sobre seus fundamentos que se acreditavam invioláveis. “O mundo físico, tanto segundo a teoria da relatividade como segundo as mais recentes doutrinas acerca da estrutura do átomo converteram-se em algo muito diferente do mundo da vida cotidiana e também do que nos mostra o materialismo científico da diversidade do século XVIII” (RUSSEL, *Fundamentos de Filosofia*, p. 107).

Entre outras coisas, a velha concepção newtoniana de espaço e tempo absoluto, a idéia de um éter físico, as concepções de substância, massa e gravidade, foram modificadas ou abandonadas pela teoria da relatividade e pela teoria quântica. Em relação a esta última vale salientar que ocorreram mudanças fundamentais no que diz respeito ao conceito de realidade, com a enunciação em 1900 da lei de Planck da radiação térmica: “a energia radiante só pode ser emitida e absorvida em quantidades discretas, os *quanta* de energia”²⁰¹. Os problemas levantados e discutidos pela teoria da relatividade e pela mecânica quântica estão essencialmente vinculados às implicações filosóficas da física moderna e à nossa visão de mundo.²⁰² A descoberta do aspecto dual da matéria e do papel fundamental da probabilidade trouxe consigo inúmeras conseqüências para nossa compreensão da realidade. “O ponto principal da moderna teoria para o filósofo é que a matéria deixa de ser uma ‘coisa’ e passa a ser substituída por emanações de uma região... a teoria da relatividade conduz a uma anulação semelhante da solidez da matéria, embora seguindo uma linha de raciocínio diferente” (RUSSEL, *Fundamentos de Filosofia*, p. 116).

²⁰¹ cf. HEISENBERG, 1999.

²⁰² Sob certos aspectos, não apenas a realidade física deixou de ser entendida sob uma perspectiva puramente atômica como, através das teorias de Heisenberg e Schrödinger, o átomo passou a ser descrito por meio das radiações que dele emanam, diferentemente da teoria planetária de Rutherford-Bohr.

Uma das mais importantes conseqüências da nova estrutura relativística foi a compreensão de que a massa nada mais é senão uma forma de energia. A relatividade trouxe a necessidade de introduzir novos pontos de vistas com respeito à estrutura dos átomos “... e muito especialmente a transmutação dos elementos em radioatividade, conduziu a conclusão de que o que se havia chamado ‘átomo’ eram realmente estruturas complexas que podiam transforma-se em outros átomos de distinta espécie...” (RUSSEL, *Fundamentos de Filosofia*, p. 109). As entidades de que se fala na física não são “coisas” no sentido vulgar do termo; não se aplica a elas os modos de ser e de comportamento que na linguagem comum são atribuídos às coisas; a sua existência é definida implícita ou explicitamente pelos processos utilizados na física.

Além disso, as teorias modernas sustentam que existem quatro forças fundamentais que regem o cosmo (gravidade, eletromagnetismo e forças nucleares forte e fraca) e que na origem do universo – Big-Bang – estas quatro grandes forças estavam unificadas numa única, o que corresponde a teoria do campo unificado, ainda não corroborada experimentalmente. O que se sabe sobre esse campo unificado? Não muito. Einstein passou décadas tentando desvendar suas propriedades. Centenas de físicos teóricos dedicam suas carreiras atrás do mesmo objetivo, entre eles, o autor de *Uma Breve História de Tempo*, Stephen Hawking. Uma das maiores dificuldades da física contemporânea sob a qual se empenham cientistas de todos os cantos do mundo consiste numa teoria que unifique a relatividade geral e a física quântica²⁰³.

Vemos com tudo isto como a microfísica e a macrofísica forçam a uma mudança na imagem do mundo e o quão é importante para a filosofia acompanhar as variações do pensamento científico²⁰⁴. Com estas considerações queremos demonstrar que a nossa visão de mundo, desde a Antigüidade até os nossos dias, está sempre, de algum modo,

²⁰³ A Teoria da Relatividade Restrita e Geral, hoje em dia, é confirmada sob todos os aspectos e faz parte da trama do Universo; mesmo assim, ainda há fenômenos “infinitamente” pequenos aos quais ela não pode ser aplicada, pelo menos por enquanto; trata-se aqui das *constantes de Max Planck*, a saber: do comprimento mínimo – 10^{-32} mm, do tempo mais curto – 10^{-43} seg e da temperatura máxima – 10^{32} °C graus, que ultrapassam a imaginação humana... À escala do átomo e das suas partículas constituintes, o mundo do muito pequeno é governado pela teoria quântica, e os parâmetros do ínfimo podem ser explorados apenas parcialmente no campo das energias extremas, nos aceleradores circulares ou lineares, como por ex: CERN na Suíça. Neste contexto, a ciência atual compreende ainda mal estes fenômenos, já que não conseguiu chegar à desejada aliança entre a *gravidade* e a *teoria quântica*; ainda não é capaz de explicar, exatamente, as leis da natureza em tão curtos intervalos de tempo e de espaço (SKWARA, 2005, p. 68).

²⁰⁴ cf. GONÇALVES, 2001, p. 32.

relacionada com a idéia que temos da estrutura do mundo físico. A concepção que temos da realidade vai se moldando, pouco a pouco, influenciada principalmente pelos avanços científicos. E a filosofia, bem, a filosofia não aparece aqui como uma espécie de “ave de Minerva”, que só “alça vôo ao entardecer”? Nesse sentido, parece que devemos concordar com a análise de Hartmann quando diz que a “Philosophia prima” é antes uma “Philosophia ultima”. Com os avanços tecno-científicos, o homem vai descobrindo cada vez mais, um pouco mais sobre a estrutura da realidade física e, por mais que pareça difícil uma interpretação metafísica da realidade baseada em fatos científicos, é uma tarefa que pede esforço e perseverança por parte da filosofia. Não seria esta uma das razões que nos fazem, a despeito de toda crítica, analítica ou epistemológica, retornar a Metafísica? E porque retornar a metafísica, ou antes, porque este retorno à Ontologia, como o defende Hartmann? Na Introdução de sua obra Hartmann nos responde da seguinte forma: “temos que retornar à ontologia, porque as questões metafísicas fundamentais de *todos os domínios de investigação em que trabalha o pensar filosófico são de natureza ontológica*” (Ontologia, p. 02) – grifo nosso²⁰⁵.

Os resultados da física moderna tocam de perto em conceitos fundamentais como realidade, substância, espaço e tempo, tornando ainda mais evidente a estreita relação que deve existir entre ciência e filosofia, se interpretarmos esta última como Whitehead: “o primeiro objetivo da filosofia é unificar completamente (...) a filosofia é a visão geral das ciências, com o objetivo de as harmonizar e completar” (WHITEHEAD, 1951, p. 161).

Essa convergência entre a Física e o pensamento filosófico pode ser buscada no pensamento de vários autores, físicos e filósofos. Jean Guitton acredita que os avanços da física moderna convergem o nosso pensamento para o impulso de uma nova metafísica: “não existirá hoje uma espécie de convergência entre o trabalho do físico e o do filósofo? Não fazem, um e outro, as mesmas perguntas essenciais? (...) entramos como cegos, num *tempo metafísico*. Ninguém ousa dizê-lo: sempre silenciemos sobre o essencial (...)” (GUITTON, 1992, p. 10 e 13 – grifo nosso).

²⁰⁵ É preciso reconhecer: chegar a uma descrição da estrutura fundamental da realidade é uma tarefa de investigação ontológica que está longe de chegar a um termo, se é que é possível chegar a um termo. Recordemo-nos das palavras do Prof. Jesus no início deste trabalho. O máximo que podemos fazer hoje é, talvez, um prévio trabalho fenomenológico: a descrição dos fenômenos. Mas é preciso iniciá-lo, ou melhor, dar prosseguimento a toda uma tradição filosófica. A tarefa está aí. Que outros possam fazer melhor do que pudemos fazê-lo, até agora.

Com os avanços da teoria quântica, sobretudo a partir dos esforços de físico teóricos como Heisenberg, Schrödinger, Einstein, Weinberg, Abdus Salam, Brian Greene, e muitos outros, alcançamos a borda do mundo material: diante de nós estão aquelas que parecem as últimas unidades da matéria, os ‘quarks’. São os últimos testemunhos da existência de ‘alguma coisa’ que ainda parece uma ‘partícula’, ou pelo menos se apresenta como tal. O que há além? Precisamos renunciar à crença ilusória em ‘algo sólido’ de que seria feito o tecido do Universo. Na física clássica, a matéria é constituída por partículas elementares, básicas, fundamentais. A teoria quântica nos fala de interações as quais são veiculadas por entidades mediadoras chamadas ‘bosons’, os bósons intermediários das forças. “Eis nos diante da última fronteira: aquela que limita misteriosamente o que chamamos de realidade física. O que há do outro lado? Provavelmente nada mais. Ou antes, nada mais de tangível...” (GUITTON, 1992, p. 84).

Com a física quântica, mesmo que não saibamos ainda claramente como, é nossa representação do mundo que está em jogo. “Os próprios filósofos devem interrogar-se sobre a significação profunda dessas revoluções, respondendo especialmente a esta pergunta: o que é que a ciência procura nos transmitir? Quais são os novos valores que ela propõe e em que contribui para forjar uma nova visão do mundo?” (GUITTON, 1992, p. 140). Por outro lado, algumas asserções, da velha e respeitável filosofia grega, estão, em certa medida, próximas daquelas da ciência moderna. Eis o que nos propõem pensar Heisenberg.

Embora não saibamos ainda com certeza, até onde os avanços da física quântica e relativística irá nos conduzir, podemos afirmar, de forma categórica que, entre a concepção atomística grega de Demócrito, e a filosofia monista da escola jônica, é para esta última que a física contemporânea mais se aproxima. Na realidade, este estudo poderia ser levado ainda mais adiante, explorando caminhos ainda mais misteriosos e cheios de segredos. Qual a origem da tapeçaria cósmica que se estende hoje, num mistério quase total em direção ao infinito? Esta é a pergunta que está na base do nosso estudo a qual procuramos revelar um pouco de seus segredos.

O universo se abre diante de nossas visões, acanhadas e estreitas. O mistério está lá, não para nos engolir, mas para nos revelar seus segredos: “*decifra-me, ou devoro-te*”.

Demócrito, há cerca de dois mil e quinhentos anos, propôs a filosofia do materialismo, mas, logo depois, Platão nos deu uma das primeiras descrições claras da filosofia do idealismo monista. Conforme notou Werner Heisenberg, a mecânica quântica indica que entre as duas mentes, de Platão e Demócrito, que mais influenciaram a civilização, a do primeiro pode acabar por ser a vencedora final. O sucesso desfrutado pelo materialismo de Demócrito na ciência nos últimos 300 anos talvez seja apenas uma aberração. A teoria quântica, interpretada de acordo com uma metafísica idealista, está pavimentando a estrada para uma ciência idealista, na qual a consciência vem em primeiro lugar e a matéria desce para uma apagada importância secundária²⁰⁶.

Não apenas Heisenberg indica que, entre Platão e Demócrito, a do filósofo da Academia pode acabar por ser aquela que irá prevalecer como pano de fundo de nossa compreensão filosófica do real, como também a intuição originária do naturalismo jônico abriu o caminho para encontrar aquela que deverá ser, de alguma forma, a fundamentação filosófico-científica de uma teoria que se baseia na unidade ontológica do mundo. Unidade de princípio; unidade de substância; unidade que se oculta na multiplicidade. Teremos assim, de fato, a certeza e a convicção de que Tudo é Um.

²⁰⁶ GOSWAMI, 2002, p. 86.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BIBLIOGRAFIA PRIMÁRIA

HEISENBERG, Werner. *A Imagem da Natureza na Física Moderna*. Trad. F. I. Mexía de Brito. Lisboa: Livros do Brasil, s/d.

_____. *Física e Filosofia*. Trad. Jorge Leal Ferreira. Brasília: Universidade de Brasília, 1981.

_____. *Física e Filosofia*. Trad. Jorge Leal Ferreira. 4 ed. Brasília: Universidade de Brasília, 1999.

_____. *Introduction to the unified field theory of elementary particles*. New York: Interscience, 1966.

_____. *La parte et le tout*. Le monde de la physique atomique. Paris: Flammarion, 1972.

_____. *A parte e o todo*. Encontros e conversar sobre física, filosofia, religião e política. Tradução de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

_____. *La physique du noyau atomique*. Paris: Albin Michel, c1954.

_____. *Physics and beyond encounters and conversations*. New York: Harper Tochbooks, 1972.

_____. *The physical principles of the quantum theory*. New York: Dover, 1930.

HEISENBERG, Werner; HAYES, F. C. *Philosophic problems of nuclear science*. New York: Pantheon, c1952.

BORN, Max [et al]. *Problemas de Física Moderna*. Trad. Gita K. Guinsburg. São Paulo: Perspectiva, 2004.

SALAM, Abdus; HEISENBERG, Werner; DIRAC, Paul. *A unificação das forças fundamentais: o grande desafio da física contemporânea*. Tradução de Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1993

BIBLIOGRAFIA SECUNDÁRIA

- *Sobre os Pré-Socráticos*

BORNHEIM, Gerd A. (org). *Os filósofos pré-socráticos*. 9 ed. São Paulo: Cultrix, 1993.

BURNET, John. *L'aurore de la philosophie grecque*. Paris: Payot, 1952.

CHEVALIER, Jacques. *Histoire de la pensee*. Paris: Flammarion, 1955-66. 4 v.

KRANZ, Walther. *La Filosofía Griega*. Vol I. Traducción de la 4 edición en Alemán por Alfonso Jose C. Piñan. Mexico: UTEHA, 1962.

JAEGER, Werner. *Paideia a formação do homem grego*. São Paulo: Herder, 1936.

MONDOLFO, Rodolfo. *O pensamento antigo: historia da filosofia grego-romana*. Trad. Lycurgo Gomes da Motta. 3.ed. São Paulo: Mestre Jou, 1971-73. 2v.

_____. *Breve historia del pensamiento antiguo*. 2.ed. Buenos Aires: Ed. Losada, 1962.

_____. *Guia bibliografica de la filosofia antiga*. Buenos Aires: Losada, 1959.

OS PRÉ-SOCRÁTICOS. *Fragments, doxografia e comentários*. São Paulo: Nova Cultural, 1999.

- ***Sobre História da Física e História da Filosofia***

ABBAGNANO, Nicola. *História da Filosofia*. Tradução de Antônio R. Rosa, Conceição Jardim e Eduardo L. Nogueira. 2 ed. Vol. XIII. Lisboa: Editorial Presença, 1978-1979. 14v.

CANE, Philip. *Gigantes da Ciência*. Trad. de José Reis. Rio de Janeiro: Ed. TecnoPrint, s/d.

CORBISIER, Roland. *Introdução à filosofia*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1988. 4v.

EINSTEIN, A.; INFELD, Leopold. *A evolução da física*. Tradução de Giasone Rebuá. 4ª ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1980.

GORDON, Pierre. *L'image du monde dans l'antiquité*. Paris: Presses Universitaires de France, 1949.

LOCQUENEUX, Robert. *Histoire de la physique*. Paris: Presses Universitaires de France, 1987.

MARCONDES, Danilo. *Iniciação à História da Filosofia: dos Pré-socráticos a Wittgenstein*. 7ª ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2002.

PIZA, Antonio F. R. de Toledo. *Schrödinger & Heisenberg - A Física Além do Senso Comum*. São Paulo: Odysseus, 2003. Coleção Imortais da Ciência.

REALE, Giovanni; ANTISERI, Dario. *Historia da filosofia*. 3 ed. São Paulo: Paulus, 1990. vol. I

REALE, Giovanni; ANTISERI, Dario. *Historia da filosofia*. 3 ed. São Paulo: Paulus, 1991. vol. III.

ROSMORDUC, Jean. *Une histoire de la physique et de la chimie de Thales a Einstein*. Paris: Éditions du Seuil, 1985.

SELLERI, Franco. *Le grand débat de la théorie quantique*. Paris: Flammarion, 1994.

THUILLIER, Pierre. *De Arquimedes a Einstein. A Face Oculta da Invenção Científica*. Trad. de Maria Inês Duque-Estrada. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1994.

- ***Sobre Filosofia da Natureza, Ontologia, Epistemologia, Cosmologia Filosófica e Cosmologia Científica***

ARTIGAS, Mariano. *Filosofia da Natureza*. Tradução de José Eduardo de Oliveira e Silva. São Paulo: Instituto Brasileiro de Filosofia e Ciência “Raimundo Lúlio”, 2005.

BACHELARD, Gaston. *A filosofia do não: filosofia do novo espírito científico*. Tradução de Joaquim José M. Ramos. 5 Ed. Lisboa: Editorial Presença, 1991.

_____. *Le materialisme rationnel*. 2 ed. Paris : Presses Universitaires de France, 2000.

BOHM, David. *A totalidade e a ordem implicada*. São Paulo: Cultrix, 1992.

BROCKMAN, John. Simetrias quebradas e grandes campos unificados. In: BROCKMAN, John. *Einstein, Gertrude Stein, Wittgenstein e Frankenstein: reinventando o universo*. São Paulo: Companhia das Letras, 1988, p. 80-89.

BUNGE, Mario. *Física e Filosofia*. São Paulo: Editora Perspectiva, 2000.

_____. *Filosofia da física*. Lisboa: Edições 70, 1973.

_____. *Foundations of physics*. New York: Springer, 1967.

_____. *Teoria e realidade*. São Paulo: Perspectiva, 1974.

BURT, Edwin A. 1983. *As Bases Metafísicas da Ciência Moderna*. Brasília: Editora Universidade de Brasília.

CAPRA, Fritjof. *O ponto de mutação*. Trad. Álvaro Cabral. 22 ed. São Paulo: Cultrix, 2001.

_____. *O Tao da Física*. Tradução de José Fernandes Dias. São Paulo: Cultrix, 1983.

COLLINGWOOD, R. G. *Ciência e Filosofia*. Tradução de Frederico Montenegro. 2 ed. Lisboa: Editorial Presença Portugal, s/d.

DIDONET, Leonidas M. *A matéria na ciência e na filosofia*. Santa Maria RS: UFSM, Imprensa Universitária, 1977.

EINSTEIN, Albert. *Como vejo o mundo*. 6 ed. - Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1981.

_____. *O significado da relatividade com a teoria relativista do campo não simétrico*. Tradução do Prof. Mário Silva. Coimbra: Armenio Amado editora, 1984.

GAMOW, George. *Nascimento e morte do sol: evolução estelar e energia atômica*. Trad. de Monteiro Lobato. 2 ed. Porto Alegre: Ed. Globo, 1961.

_____. *Materia, Terra y cielo*. Traduzido por Rafael Portugal Ehlers. Mexico: Continental, 1959.

_____. *Biografia da física*. Tradução de Giasone Rebuca. Rio de Janeiro: Zahar, 1963.

GLEISER, Marcelo. *A Dança do Universo*. Dos Mitos de Criação ao Big-bang. 2 ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

GOSWAMI, Amit. *O Universo Autoconsciente: como a consciência cria o mundo material*. Tradução de Ruy Jungmann. 5 ed. Rio de Janeiro: Rosa dos Tempos, 2002.

GREENE, Brian. *O Universo Elegante: supercordas, dimensões ocultas e a busca da teoria definitiva*. Tradução de José Viegas Filho. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

GUEBEN, Georges. *Phénomènes radioactifs et introduction à la physique nucléaire*. Paris: Éditions Desoer Liège, s/d.

GUITTON, Jean; BOGDANOV, Igor & Grichka. *Deus e a ciência*, em direção ao metarrealismo. Trad. de Maria Helena F. Martins. Nova Fronteira: Rio de Janeiro, 1992.

HARTMANN, Nicolai. *Ontologia*. México: Fondo de Cultura Econômica, 1986. vol. I.

HAWKING, Stephen. *O Universo numa casca de Noz*. Trad. Ivo Korytowski: Editora Mandarim, 2001.

_____. *Uma breve história do tempo*. Trad. Maria Helena Torres. São Paulo: Círculo do Livro, 1988.

KONCZEWSKA, Helene. *L'unite de la matiere et le probleme des transmutations*. Paris: Felix Alcan, 1939.

KOYRÉ, Alexandre. *Estudos de historia do pensamento científico*. Trad. Márcio Ramalho. Brasília: Universidade de Brasília: Ed. Forense Universitária, 1982.

KOYRÉ, Alexandre. *Estudos de historia do pensamento filosófico*. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1991.

- _____. *Metaphysics and measurement*. Yverdon: Gordon and Breach Science, 1968.
- MARITAIN, Jacques. *La philosophie de la nature: essai critique sur ses frontieres et son objet*. Paris: Pierre Tequi, s/d.
- MERLEAU-PONTY, Maurice. *A Natureza*. Tradução de Álvaro Cabral. São Paulo: Martins Fontes, 2000.
- PRIGOGINE, I.; STENGERS, Isabelle. *La nouvelle alliance metamorphose de la science*. Paris: Gallimard, 1979.
- _____. *Entre o tempo e a eternidade*. Lisboa: Gradiva, 1990.
- RUSSELL, Bertrand. *Fundamentos de Filosofia*. Santiago: Editorial Cultura, 1936.
- _____. *A perspectiva científica*. 4 ed. São Paulo: Nacional, 1977.
- SANTOS, A. M. Nunes dos. *Werner Heisenberg páginas de reflexão e auto-retrato*. Lisboa: Gradiva, 1990.
- SCHRODINGER, Erwin. *O que é vida? O aspecto físico da célula viva seguido de Mente e Matéria e Fragmentos autobiográficos*. Tradução de Jesus de Paula Assis e Vera Yukie K. de Paula Assis. São Paulo: UNESP, 1997.
- SELVAGGI, Filippo, S.J. *Filosofia do Mundo*. Cosmologia Filosófica. Trad. Alexander A. MacIntyre, S.J. São Paulo: Edições Loyola, 1980.
- SIMMEL, Georg. *Problemas Fundamentais da Filosofia*. Tradução de Inah Oliveira A. Aguiar. Coimbra: Atlântida, 1970.
- CHARDIN, Teilhard de. *Le Phénoméne Humain*. Paris: Seuil, 1955.
- UBALDI, Pietro. *A grande síntese: síntese e solução dos problemas da ciência e do espírito*. 15.ed. Rio de Janeiro: Fundação Ubaldi, 1987.
- WEINBERG, Steven. *Dreams of a final theory*. New York: Vintage Books, 1994.
- _____. *The First Three minutes*. New York: Bantam, 1979.
- WEIZSÄCKER, C. F. von. *La importancia de la ciencia*. Traducción de Juan Carlos G. Borrón. 3ª ed. Barcelona: Editorial Labor, 1972.
- WEIZSÄCKER; JUILFS, J. *Contemporary Physics*. London: Hutchinson, 1961.
- WHITEHEAD, Alfred. *A ciência e o mundo moderno*. Trad. Aires da Mata M. Filho. 2 edição. São Paulo: Brasiliense, 1951.

Artigos

CHIBENI, Silvio Seno. A incompletude da mecânica quântica. *O que nos faz pensar (Cadernos do Departamento de Filosofia da PUC-RJ)*, nº 5, novembro de 1991, p. 89-113.

COLLINS, Graham P. À Caça da Anti-matéria. *Scientific American do Brasil*, n. 38, p. 62-69, julho, 2005.

DIAS, Ronaldo Souza. A fuga do real: uma introdução ao mundo quântico. *O que nos faz pensar (Cadernos do Departamento de Filosofia da PUC-RJ)*, nº 4, abril de 1991, p. 126-129.

DOMINGUES, Antônio J. S. M. A questão da mecânica quântica: ou, de como se sai um físico quando é obrigado a filosofar. *O que nos faz pensar (Cadernos do Departamento de Filosofia da PUC-RJ)*, nº 2, janeiro de 1990, p. 62-80.

DUFF, Michael J. A nova face da teoria das cordas. *Scientific American do Brasil*. Edição Especial N. 08, p. 12-17, 2005.

FRANCO, Antônio Carlos Teixeira. Bachelard, Heisenberg, o Ser e o Tempo. *Revista Ideação*, vol. 1, nº 1, Feira de Santana, UEFS, 2001, p. 57-82.

GEFTER, Amanda. Cozinhando a física do universo. *Scientific American do Brasil*, n. 15, p. 18-20, agosto, 2003.

GRANGER, Gilles Gaston. A ciência pensa? *Discurso (Revista do Departamento de Filosofia da USP)*, nº 22, 1993, p. 197-204.

GONÇALVES, Ângelo Márcio Macedo. Ciência e Filosofia em Gaston Bachelard. *Revista Ideação*, vol. 1, nº 1, Feira de Santana, UEFS, 2001, p. 23-36.

JANEIRA, Ana Luísa. O filósofo perante a ciência. *Revista Perspectiva Filosófica*, vol. I, nº 02, janeiro-junho/1993, p. 31-42.

KANE, Gordon. A aurora da física além do Modelo Padrão. *Scientific American do Brasil*, n. 14, p. 76-83, julho, 2003.

KOIKE, Katsuzo. Aspectos da physis grega. *Revista Perspectiva Filosófica*, vol. VI, n. 12, p. 165-178, julho-dezembro, 1999.

MARTINS, Roberto de Andrade. Werner Heisenberg: o semeador da mecânica matricial. *Scientific American do Brasil*, n. 13, p. 64-73, 2006 (Edição Especial Gênios da Ciência).

MATSAS, George Emanuel A.; VANZELLA, Daniel A. Turolla. O vácuo quântico cheio de surpresas. *Scientific American do Brasil*, n. 15, p. 32-37, agosto, 2003.

MEDEIROS, Alexsandro. A filosofia da física moderna: a revolução einsteiniana. *Revista Perspectiva Filosófica*, vol. II, n. 24, p. 74-92, julho-dezembro, 2005.

MENESES, Ramiro Délio Borges de. Relatividade restrita de Einstein: fundamentos filosóficos. *Revista Perspectiva Filosófica*, vol. II, n. 24, p. 36-54, julho-dezembro, 2005.

QUINN, Helen R.; WITHERELL, Michael S. *Assimetria Fundamental*. Scientific American do Brasil. Edição Especial N. 08, p. 60-67, 2005.

SMITH, Chris Llewellyn. No coração da matéria. *Scientific American do Brasil*. Edição Especial N. 08, p. 52-59, 2005.

WEINBERG, Steven. À procura de um universo unificado. *Scientific American do Brasil*. Edição Especial N. 08, p. 6-11, 2005.

SKWARA, Witold. Aspectos epistemológicos e ontológicos na teoria da relatividade de Albert Einstein. *Revista Perspectiva Filosófica*, vol. II, n. 24, p. 55-73, julho-dezembro, 2005.

_____. Os fundamentos cosmológicos de uma eco-filosofia em Teilhard de Chardin. *Revista Perspectiva Filosófica*, vol. XI, n. 18, p. 71-80, julho-dezembro, 2002.

STRIEDER, Inácio. Ciência e Religião. *Revista Perspectiva Filosófica*, vol. V, n. 10, p. 147-164, janeiro-dezembro, 1997.

VAZQUEZ, Jesus. Bachelard e a Ontologia. *Revista Perspectiva Filosófica*, vol. IV, nº 09, julho-dezembro/1996, p. 35-58.

VIEIRA, Jorge de Albuquerque. Ciência e Filosofia. Ciência, Gnosiologia e Ontologia. *Revista Filosofia*, vol. 14, nº 14, janeiro-junho 2002, p. 55-61.

Sites da internet

WEBSITE DO CERN em francês. Disponível em :
<<http://public.web.cern.ch/Public/Welcome-fr.html>>. Acessado em 05/05/2007.

WEBSITE DO CERN em inglês. Disponível em :
<www.cern.ch/CERN/Experiments.html> Acessado em 05/05/2007.

Links para páginas sobre o LHC (Grande Colisor de Hádrõs) estão no website do CERN

SOBRE O MODELO PADRÃO na página do CERN. Disponível em:
<<http://public.web.cern.ch/Public/Content/Chapters/AboutCERN/WhyStudyPrtcles/StandardModel/StandardModel-fr.html>> Acessado em 05/05/2007.

WEBSITE DO SNO – Sudbury Neutrino Observatory. Disponível em:
<www.sno.phy.queensu.ca> Acessado em 10/05/2007.

AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. Disponível em:
<<http://www.aip.org/history/heisenberg/p01.htm>> Acessado em 10/01/2007.

HÁ UMA TEORIA DO TUDO? Disponível em:
<<http://paginas.terra.com.br/educacao/labertolo/Cosmologia/Cosmology/Theory%20of%20Everything.htm>> Acessado em 10/01/2007.