CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

A APROPRIAÇÃO DO TERMO “QUÂNTICO”: DE QUE FORMA A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA É DIVULGADA POR OUTRAS ÁREAS DE CONHECIMENTO

Thiago Tavares da Costa

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Orientador:
José Claudio de Oliveira Reis

Rio de Janeiro
Maio de 2013

A APROPRIAÇÃO DO TERMO “QUÂNTICO”: DE QUE FORMA A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA É DIVULGADA POR OUTRAS ÁREAS DE CONHECIMENTO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Thiago Tavares da Costa

Aprovada por:

_____

Presidente, Prof. José Claudio de Oliveira Reis, D.Sc. (orientador)

_____

Profª. Glória Regina Pessôa Campello Queiroz, D. Sc.

_____

Profª. Marília Paixão Linhares, D.Sc. - UENF

Rio de Janeiro
Maio de 2013

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

C837 Costa, Thiago Tavares da
A apropriação do termo "quântico": de que forma a física moderna e contemporânea é divulgada por outras áreas de conhecimento / Thiago Tavares da Costa.—2013.
ix, 76f. : il.color. ; enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2013.
Bibliografia : f. 73-76
Orientador : José Claudio de Oliveira Reis

1. Física. 2. Mecânica quântica. 3. Discurso científico. I. Reis, José Claudio de Oliveira (Orient.). II. Título.

CDD 530

Agradecimentos

Se este trabalho se encontra concluído, muito em parte é graças a pessoa que sempre me deu forças para seguir em frente, assim agradeço especialmente a Ana Carolina de Léo pelo eterno companheirismo, compreensão pelos momentos de pressão e o afeto que me faz sentir a pessoa mais querida do mundo.

Ao meu orientador José Claudio, cujas orientações não se resumem apenas ao universo acadêmico. Grande parte de meu lado profissional é construído tendo como reflexo suas experiências e conselhos, além de ter se tornado um grande amigo.

Aos meus pais, Daisy e Manoel, pelo apoio irrestrito e incondicional em todas as escolhas da minha vida.

Aos meus avós, Milton e Nilza, por todo o aconchego e mimos nos momentos de carência. Peço desculpas pela ausência, mas sei que entendem que a vida segue o caminho natural.

Aos meus colegas Uerjianos: Marquinho, Caio e Laís. As madrugadas escrevendo trabalhos e discutindo assuntos acadêmicos (ou não) serão inesquecíveis.

Aos professores: Andreia Guerra, Marco Braga e Álvaro Chrispino. Obrigado por toda a contribuição acadêmica ao longo desses dois anos.

RESUMO

A APROPRIAÇÃO DO TERMO “QUÂNTICO”: DE QUE FORMA A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA É DIVULGADA POR OUTRAS ÁREAS DE CONHECIMENTO

Thiago Tavares da Costa

Orientador:
José Claudio de Oliveira Reis

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Ensino do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Neste trabalho é construído o estudo do discurso presente em determinadas obras que fazem uso da linguagem científica apropriada em outras áreas de conhecimento. O termo em questão é a palavra “quântico”, visto a grande demanda comercial que tais obras possuem. Para avaliar a coerência do uso, e a imagem de ciência trazida por essas obras, será utilizada a construção histórica e filosófica da Mecânica Quântica, a fim de apresentar ao leitor que a presença de um discurso científico apropriado pode sofrer contraposições frente a uma compreensão filosófica do mesmo, processo conhecido como “demarcação”. Os livros avaliados serão: “O Tao da Física”, de Fritjof Capra, e “O Ser Quântico”, de Danah Zohar. Os dois livros possuem um grande número de edições, deixando claro que são livros de grande procura popular.

Palavras-chave:

Termo quântico; Apropriação; Física moderna

Rio de Janeiro
Maio de 2013

ABSTRACT

THE APPROPRIATION OF THE TERM "QUANTUM": HOW MODERN AND CONTEMPORARY PHYSICS IS DIVULGED IN OTHER AREAS OF KNOWLEDGE

Thiago Tavares da Costa

Advisor:
José Claudio Reis

Abstract of dissertation submitted to Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Ensino - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master.

The study of the discourse present in certain works which make use of the appropriated scientific language in other areas of knowledgement is constructed on the present paper. The term in question is the word “quantum”, whereas the large commercial demand that such works possess. To evaluate the coherent use and the image of the science brought by these works, the historical and philosophical construction of Quantum Mechanics will be used, in order to introduce the reader that the presence of a appropriated scientific discourse may suffer contrapositions against a philosophic comprehension of that, a process known as “demarcation”. The evaluated works are the books: “O Tao da Física”, by Fritjof Capra and “O Ser Quântico”, by Danah Zohar. Both books have a large number of issues, revealing the great popular demand.

Keywords:

[quantum term]; [appropriation]; [modern physics]

Rio de Janeiro
Maio de 2013

Sumário

Introdução **1**

I Metodologia de trabalho **2**

I.1 Qual a pergunta problema? 2

I.2 Descrevendo a pesquisa 2

I.3 A Apropriação 6

I.4 O processo de demarcação 7

II A construção teórica, filosófica e histórica da Mecânica Quântica **9**

II.1 A Catástrofe do ultravioleta 9

II.2 O surgimento do termo quantum: implicações e aplicações 12

II.3 O efeito fotoelétrico 14

II.4 O modelo atômico Bohr-Rutherford 15

II.5 A dualidade onda-partícula 18

II.6 O princípio da incerteza 20

II.7 O conceito de complementariedade 22

II.8 O problema da medição: onde estabelecer a fronteira entre o observador e o experimento 25

II.9 As críticas recebidas por Einstein: A Mecânica Quântica como um conhecimento incompleto 28

II.10 O paradoxo EPR: discutindo a realidade 30

II.11 – A resposta de Bohr para o EPR 31

II.12 - A desigualdade de Bell e a experiência de Aspect: a vitória da Mecânica Quântica 33

III Coleta e discussão dos dados **37**

III.1 – O Tao da Física, de Fritjof Capra 37

III.1.1 – Realidade 37

III.1.2 –Conceitual 42

III.1.3 – Metodologia Científica 47

III.2.– O Ser Quântico, de Danah Zohar 49

III.2.1 – Realidade 49

III.2.2 - Conceitual 54

III.2.3 – Metodologia Científica 61

III.3 – O Misticismo de Fritjof Capra 62

III.3.1 – Conceitual 63

III.3.2 – Realidade 64

III.3.3 – Metodologia Científica 64
III.4 – A Motivação de Danah Zohar 64
III.4.1 – Conceitual 65
III.4.2 – Realidade 66
III.4.3 – Metodologia Científica 67
III.5 – A demanda comercial 67
IV Desdobramentos Educacionais 70
IV.1 Qual a necessidade de discutir Física Moderna no Ensino Médio? 70
IV.2 A Natureza da Luz: Demarcando o campo científico 71
IV.3 Física e Literatura: uma possível articulação 72
Conclusões e Expectativas 75
Referências Bibliográficas 78

Lista de Figuras

Figura II.1 – Analogia de uma cavidade com um corpo negro 10
Figura II.2: Resultados experimentais X Resultados teóricos 11
Figura II.3: Resultados da Lei de Planck 13
Figura II.4: Efeito fotoelétrico 14
Figura II.5: átomo de Thomson 16
Figura II.6: Experimento de Rutherford 17
Figura II.7 – Trajetória das partículas provenientes de uma radiação 21
Figura II.8 – Pássaros ou peixes? 25
Figura II.9 – Estrutura da mecânica quântica 26
Figura II.10 – O paradoxo de Schrödinger 28
Figura II.11 – V Conferência de Solvay 29
Figura II.12 – Ilustração do paradoxo EPR 31
Figura II.13 – Experimento de Aspect 33
Figura II.14 – Possíveis configurações para a Desigualdade de Bell 34
Figura III.1 – Gráfico de distribuição das categorias encontradas 63
Figura III.2 – Gráfico de distribuição de categorias encontradas – O Ser Quântico 65
Figura conclusão – Brasão de Niel Bohr 70

INTRODUÇÃO

A presença de elementos próprios da linguagem científica em obras pertencentes a outros campos de conhecimento tornou-se bastante notável nos anos 90 até os dias atuais. Seja por meio de livros, filmes ou comerciais, é muito comum criar um sentimento de segurança ao público utilizando a imagem de um cientista ou termos específicos de um determinado campo científico. E o grande ápice deste momento encontra-se no ano de 2004 com o lançamento do filme “Quem somos nós”, onde a Mecânica Quântica se instaurou como um debate popular na sociedade. Mas será que a sociedade está preparada para tais conjecturas?

Inspirado nesse cenário, o trabalho de pesquisa bibliográfico desenvolvido propõe-se a buscar qual a imagem de ciência trazida por obras literárias que mesmo pertencentes a áreas de conhecimento fora do campo científico, se apropriam do termo “quântico”. Para isso, será construída uma análise qualitativa para buscar no discurso qual a verdadeira imagem de ciência trazida por essas obras.

As obras escolhidas foram “O Tao da Física”, de Fritjof Capra, e “O Ser Quântico” de Danah Zohar. As duas obras possuem mais de 20 edições relançadas, o que permite afirmar que são livros com uma demanda comercial muito grande. Os textos dos dois livros serão analisados em contraposição com a construção filosófica, histórica e social da Mecânica Quântica, para que cada trecho retirado possa ser categorizado e interpretado em diversas dimensões. O foco do trabalho não se resume na construção de uma errata conceitual para as duas obras, e sim na investigação do sentido do texto, a fim de julgar se a apropriação realizada é adequada ou não.

O livro de Capra se propõe a construir um paralelo entre certos elementos da Mecânica Quântica com elementos místicos, provenientes do Oriente. Em seguida, o livro de Danah Zohar faz do discurso científico em questão um discurso motivacional, ligando as estruturas conceituais estudas com as relações pessoais e interpessoais de cada indivíduo. Tanto Capra, como Zohar, são formados em Física.

A construção do quadro teórico da Mecânica Quântica envolve não apenas aspectos conceituais de sua história, como já dito. Da “catástrofe do ultravioleta” até a comprovação experimental lançada por Alain Aspect, diversas questões filosóficas foram propostas. Tais dúvidas não impediram que a Mecânica Quântica continuasse a avançar e ajudar a construir modelos cada vez mais precisos para a ciência, mas suas implicações filosóficas acerca da descrição da realidade motivou um intenso debate sobre a validade de suas aplicações, em especial entre Einstein e Bohr, a partir do Paradoxo EPR.

Após a comparação dos trechos separados com a construção teórica realizada, cabe julgar como cada obra se apropriou do discurso utilizado. A partir desta conclusão, é coerente apresentar expectativas em relação a esses resultados. Neste caso, de que maneira esse trabalho pode ser útil para instrumentalizar determinados conteúdos da Física Moderna, tornando-a capaz de classificar determinadas obras apropriadoras como adequadas ou não.

Capítulo I - Metodologia de trabalho

I.1 – Qual a pergunta problema?

De acordo com Raymond Quivy (1992), uma investigação envolve não apenas a interpretação dos dados, mas também hesitações, desvios e eventuais incertezas que podem surgir pelo caminho. A pergunta problema é uma ótima maneira de se manter uma coerência ao longo do desenvolvimento da análise, e ela deve obedecer a três dimensões de qualidade: clareza (quanto a sua precisão e concisão), exequibilidade (quanto a seu caráter realista) e pertinência (quanto a sua adequação).

Buscando um questionamento que se solidifique tangenciando essas três dimensões, lembrando que o trabalho se constrói no plano educacional, torna-se imprescindível considerar não apenas uma provável aceitação acadêmica do tema, mas que a partir da pergunta problema se desenvolva uma discussão não apenas conceitual da mecânica quântica, mas de que forma ela muitas vezes é inserida na sociedade.

Com as devidas considerações, a pergunta problema é: *Como a linguagem científica é apropriada em obras literárias de outras áreas de conhecimento?* Assim, é esperado que as três dimensões citadas por Quivy (1992) mantenham-se presentes.

I.2 – Descrevendo a pesquisa

Com a pergunta problema já estabelecida, é preciso definir o universo de pesquisa e o desenvolvimento da mesma. Mas antes de descrever a metodologia empregada, é pontual explicitar que o formato de pesquisa será estruturado como uma *investigação qualitativa*. Os motivos para tal decisão serão apresentados conforme cada etapa metodológica seja descrita.

Em primeiro lugar, foi realizada a leitura de duas obras literárias selecionadas de acordo com sua presença no contexto da pesquisa. As obras são:

a) *O Tao da Física*, de Fritjof Capra.
   Sinopse do produto: "*Este livro analisa as semelhanças notadas recentemente, mas ainda não discutidas em toda a sua profundidade entre os conceitos subjacentes à física moderna e as ideias básicas do misticismo oriental. Com base em gráficos e em fotografias, o autor explica de maneira concisa as teorias da física atômica e subatômica, a teoria da relatividade e a astrofísica, de modo a incluir as mais recentes pesquisas, e relata a visão de um mundo que emerge dessas teorias para as tradições místicas do Hinduísmo, do Budismo, do Taoísmo, do Zen e do I Ching*". <http://www.livrariacultura.com.br/scripts/resenha/resenha.asp?nitem=85355&sid=236248127153303995188192 74>, acesso Janeiro de 2013)
b) *O Ser Quântico*, de Danah Zohar.

> Sinopse do produto: "*Newton, o fundador da ciência moderna, separou o homem do universo. Agora, a física quântica os reintegra, neste livro que oferece ao leitor - Uma nova e comparável teoria das origens do ser, baseadas nas trocas de energia entre partículas subatômicas; Uma nova visão do mundo, que muda nossa compreensão das relações entre corpo mente, e gera conceitos inéditos de criatividade e liberdade; Uma nova psicologia - a psicologia quântica - que redefine a natureza do ser e de seus relacionamento*s". (<http://www.livrariacultura.com.br/Produto/LIVRO/SER-QUANTICO-O/63829>, acesso em Janeiro de 2013)

A escolha dos livros é baseada em dois pontos fundamentais: a demanda comercial e o emprego da mecânica quântica em seus argumentos. O livro de Capra, escrito em 1975, está atualmente em sua 28ª edição. O mesmo acontece com a obra de Zohar, de 1990, que hoje tem mais de 18 edições. Livros que estão sendo sempre relançados apontam para uma aceitação popular muito grande, e os dois escolhidos atendem perfeitamente a esse quesito. Quanto ao emprego conceitual da física moderna, em especial do termo quântico, é necessário aprofundar melhor a justificativa.

O "Tao da Física" está presente em um momento especial do surgimento da mecânica quântica. No mesmo ano em que o livro é lançado, Alain Aspect propõe um experimento capaz de apresentar uma confirmação experimental para a física quântica (ORTOLLI e PHARABOB, 1986). Tal experimento é um resultado da discussão entre Albert Einstein e Niels Bohr acerca da ideia de realidade trazida pela mecânica quântica e, Capra, como doutor em física pela Universidade de Viena, apresenta uma visão alternativa sobre os fundamentos da teoria quântica. Sua leitura não deve ser tratada apenas como um episódio de apropriação, mas como uma tentativa de oferecer novas perspectivas para o cenário de sua época.

Embora também tenha sido estudante de física, e pós-graduada com ênfase em filosofia, religião e psicologia, Zohar em seu texto não se prende categoricamente a um discurso científico. A proposta da autora é claramente motivacional, porém utilizando argumentos construídos em termos científicos para sustentar sua posição. Escrito em 1990, Zohar revela o fascínio pela mecânica quântica em seus anos de graduação, mas não esclarece quais temas a motivaram a construir o diálogo apresentado em seu livro. Assim, utilizando os trechos destacados de sua obra, será feita uma comparação com o referencial teórico construído nos capítulos posteriores.

Utilizando o referencial de Bogdan e Biklen (1994), é pertinente descrever melhor a investigação qualitativa e evidenciar os aspectos em que a mesma permeia os pontos centrais da pesquisa.

a) *Na investigação qualitativa a fonte direta de dados é o ambiente natural*: No caso do projeto construído, os dados pertencem a trechos de obras literárias.
b) *A investigação qualitativa é descritiva:* Dados assumem a forma de palavras ou imagens, e não apenas números. Desta forma, se tornando perfeitamente

compatível com a proposta de buscar trechos de obras literárias, como a busca de informações de registros oficiais.

c) *Os investigadores qualitativos interessam-se mais pelo processo do que simplesmente pelo resultado ou produtos:* Mais do que responder a pergunta problema, faz parte do objetivo do trabalho analisar de que modo um determinado conceito científico está sendo difundido na sociedade.

d) *Os investigadores qualitativos tendem a analisar os seus dados de forma indutiva:* No caso da investigação qualitativa, a busca de dados não se justifica pela afirmação de uma hipótese, mas sim para a formação da mesma. Neste ensaio, com base no capítulo de introdução teórica, busca-se entender o processo de apropriação para construir contrapontos.

e) *O significado é de importância vital na abordagem qualitativa:* A perspectiva do investigador não deve sobrepor a perspectiva dos objetos a serem estudados. Ao avaliar a leitura dos trechos presentes nos livros didáticos, é importante sempre ter ciência do objetivo daquela obra e seu contexto temporal e social.

A investigação qualitativa, ferramenta defendida por muitos autores (LUDKE & ANDRE, 1986), (BOGDAN & BIKLAN, 1994), (CARVALHO, 1996), (CARVALHO, 2003) (ERICKSON, 1998), oferece a oportunidade de se trabalhar com questionários abertos e análise de discurso. Ao passo que o foco da pesquisa quantitativa, sendo apenas de caráter estatístico, não atende a intenção desse trabalho. O objetivo é construir uma análise referente ao discurso científico utilizado em cada obra e não construir uma contagem de dados por meio de questionários fechados.

Porém, apenas a leitura dos livros não oferece base teórica suficiente para construir uma pesquisa qualitativa de seu conteúdo. É necessário que o *discurso presente* seja devidamente categorizado para que sua análise não perca significado. Para atender a essa exigência, será utilizado o referencial de Eni Orlandi (2012) para classificar e categorizar o discurso. De acordo com a autora, o discurso é muito mais que uma mera transmissão de informação, pois no funcionamento da linguagem se constroem relações mútuas de significados entre emissor e receptor. Muito mais que transportar uma mensagem codificada, é preciso considerar que o discurso carrega uma grande quantidade de sentidos afetados pelo tempo, contexto e concepções prévias.

Desse modo, para que o texto apenas forneça os dados necessários para a pesquisa, será utilizado um *dispositivo de interpretação*. De acordo com Orlandi (2012), toda leitura precisa de um artefato teórico para que se efetue. Neste trabalho, o dispositivo de interpretação será a construção teórica e filosófica da mecânica quântica. A partir desse referencial, os discursos encontrados nos livros de Capra e Zohar será analisado conforme sua coerência

com tal corpo teórico. Assim, é esperado que a análise não seja construída de uma forma neutra, mas relativizada em face da interpretação.

Em seguida, para organizar os dados retirados das obras literárias, será feita uma categorização utilizando *núcleos de sentidos*, propostos por Badin (1977). A criação de núcleos temáticos, identificados pelo dispositivo de interpretação, oferece uma forma prática e usual para estruturar cada discurso analisado no trabalho.

I.3 – A apropriação

A palavra "apropriação" possui diversos significados na língua portuguesa, como é possível checar a seguir ([http://www.priberam.pt/dlpo/dlpo.aspx?pal=apropriação], acesso em 10/01/2013):

apropriar
(*a-* + *próprio* + *-ar*)
v. tr.
1. Tornar próprio (ex.: *apropriar bens*).
2. Acomodar.
3. Aplicar, atribuir.
v. tr. e pron.
4. Tornar ou ser adequado ou conveniente a (ex.: *é preciso apropriar o discurso; isto não se apropria à situação*). =ADEQUAR
v. pron.
5. Apossar-se.
6. Tornar seu uma coisa alheia (ex.: *apropriou-se de valores e será julgado por isso*). = APODERAR-SE

Para definir um trecho como apropriador do termo quântico, tal texto não deve apenas conter uma descrição teórica ou conceitual a respeito da mecânica quântica. Para que o verdadeiro sentido da apropriação seja percebido, no sentido de posse, é necessário que o contexto filosófico também seja analisado. Dessa forma, o trabalho não assume apenas a forma de uma errata teórica a respeito de um determinado conceito, mas principalmente para ilustrar de que forma esse apropriação está sendo construída.

O conhecimento científico não deve ser considerado apenas em seu viés operacional ou conceitual, para que se tenha uma adequada percepção de sua natureza é necessário que sua adequação se estenda também no campo filosófico, respeitando seus preceitos e questionamentos. Logo, mesmo que um determinado trecho apresente um conceito correto, é preciso conferir se o mesmo respeita seu contexto filosófico. No caso deste trabalho, as partes destacadas das obras que utilizam o termo quântico devem apresentar suas devidas justificativas para serem consideradas como apropriadas, sejam elas dos campos conceitual ou filosófico.

I.4 – O Processo de Demarcação

Frente a uma obra que se faz utilizar de uma nomenclatura científica, muitas vezes utilizando discursos de cientistas em sua apresentação, é necessário saber reconhecer quando esse conhecimento surge de uma forma adequada ou apropriadora de uma determinada área.

Como já foi dito, a construção do conhecimento científico ao longo da história engloba uma grande gama de discussões filosóficas ao redor de seus conceitos, em especial a Mecânica Quântica, onde a interação com a realidade será reavaliada em função de seus princípios e aplicações.

Será nesse quesito que o processo de demarcação será construído, de acordo com o trabalho de Turgut (2011). No caso do autor citado, o processo será utilizado para identificar critérios convenientes para diferenciar a ciência da "não ciência" (ou pseudociência), na temática da astrologia. Tais critérios são elaborados em relação a variadas visões de natureza da ciência, que não necessariamente convergem em um senso comum (ABD-EL-KHALICK *et al.* 1998) (KANG et al. 2005), mas servem de contraponto ao discurso apropriador encontrado na astrologia. Da mesma forma, a partir das conclusões referentes a esse trabalho, onde se espera apresentar a imagem de ciência trazida pelo discurso científico apropriado nas obras, é possível pensar no processo de demarcação referente ao conteúdo da Mecânica Quântica.

Diversos autores defendem o discurso sobre a construção filosófica do conhecimento científico nas aulas de ciência (MATTHEWS, 2000) (MATTHEWS, 1995) (BRAVO *et al*, 2001) (AIKENHEAD, 1980). Para o presente trabalho é pertinente recortar o período histórico correspondente ao desenvolvimento da mecânica quântica, cujas implicações filosóficas são descritas na introdução teórica. Como já foi explicado, será essas concepções o dispositivo de análise interpretativa.

Desta forma, cada trecho selecionado passará por uma análise de seu contexto, buscando encontrar em que ponto do discurso o autor da obra apropria de forma inadequada a Mecânica Quântica. Assim, será na discussão das implicações filosóficas que serão construídos os argumentos para classificar determinado discurso como impróprio, como feito por Turgut (2011).

Capítulo II - A construção teórica, filosófica e histórica da Mecânica Quântica.

II.1 – A "Catástrofe do Ultravioleta"

Ao tentar (re)construir os passos que levaram a teoria quântica ao patamar de um paradigma científico, é coerente adotar a mesma postura do filósofo moderno[1] que criou essa denominação: observar seu contexto histórico e temporal (KUHN, 1998). Nessa questão, a Alemanha do final do século XIX apresenta-se como um território fértil para o surgimento de uma nova teoria, em uma combinação dos interesses particulares de seu contexto temporal com os personagens da sua comunidade científica (ROCHA, 2002).

Em 1901, ao descrever o cenário científico de sua época, Lorde Kelvin afirma que "no céu azul da física clássica existem apenas duas nuvens a serem dirimidas". O que se torna importante esclarecer, é o fato das nuvens serem o éter luminífero e o princípio da equipartição de energia (SCHULZ, 2007). Ambos correspondem a problemas responsáveis por revoluções na história da ciência, mas que convergem no mesmo fenômeno: a natureza da luz.

Na Alemanha, a revolução industrial trouxe uma grande onda de progresso científico-tecnológico, principalmente no campo siderúrgico. Após anexar campos de produção de carvão oriundos de uma fronteira com a França, um considerável esforço foi empregado para a produção de um aço de melhor qualidade. Mas para isso, era vital fazer um controle rigoroso da temperatura do forno, tarefa praticamente impossível para os termômetros em vista da elevada temperatura (ROCHA, 2002). A solução estava no estudo do espectro luminoso, emitido pelo metal ao ser aquecido. Ou melhor, na "segunda nuvem" de Lorde Kelvin: A equipartição de energia.

Lorde Rayleight (1842-1919) e James Jeans (1877-1946), na tentativa de prever a energia emitida por um corpo em relação a sua própria temperatura, vão estabelecer uma resposta ao problema estabelecido como *radiação de corpo negro*. Sua denominação parte de uma analogia com uma superfície teórica totalmente negra, capaz de absorver a luz incidente. Ao construir uma cavidade de metal de mínimas dimensões, a luz incidente que passa por um orifício será refletida internamente até ser totalmente absorvida. E para completar, a luz emitida durante o aquecimento de suas paredes internas seria comparável àquela emitida por um "corpo negro" (figura 1), na teoria.

[1] Thomas Kuhn, em 1962, publica o livro "A estrutura das revoluções científicas" onde estabelece que a análise do contexto histórico torna-se essencial na construção do conhecimento científico. O paradigma é corpo teórico que fornece as regras aceitas pela comunidade científica.

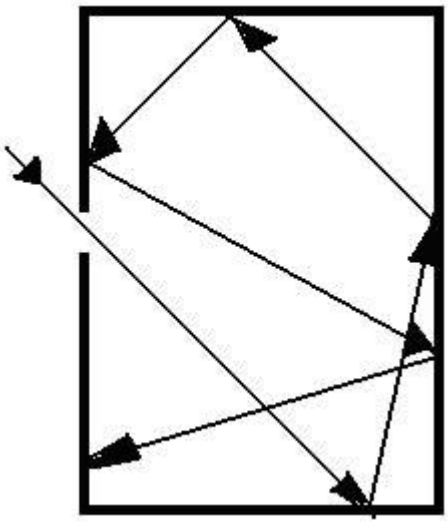


Figura II.1 – Analogia de uma cavidade com um corpo negro (Disponível em <http://www.mundoeducacao.com.br/upload/conteudo/radiacao%20de%20corpo%20negro%202.jpg>, acesso em Janeiro de 2013)

Nesse momento, a luz ainda era compreendida exclusivamente proveniente da vibração de elétrons, ou seja, de natureza eletromagnética. Ao tentar relacionar os comprimentos de onda das radiações emitidas com a energia associada, Rayleight e Jeans construíram uma lei que não se adequou com os dados experimentais (ORTOLI & PHARABOD; 1986). De acordo com essa lei:

$$f(\rho) = \frac{8\pi kT}{\rho^4}$$

Equação 1: Lei de Rayleight-Jeans

Porém, para valores de temperatura acima de 2000 K não se encontrava mais uma boa correlação entre dados experimentais e teóricos. Como podemos ver na figura a seguir:

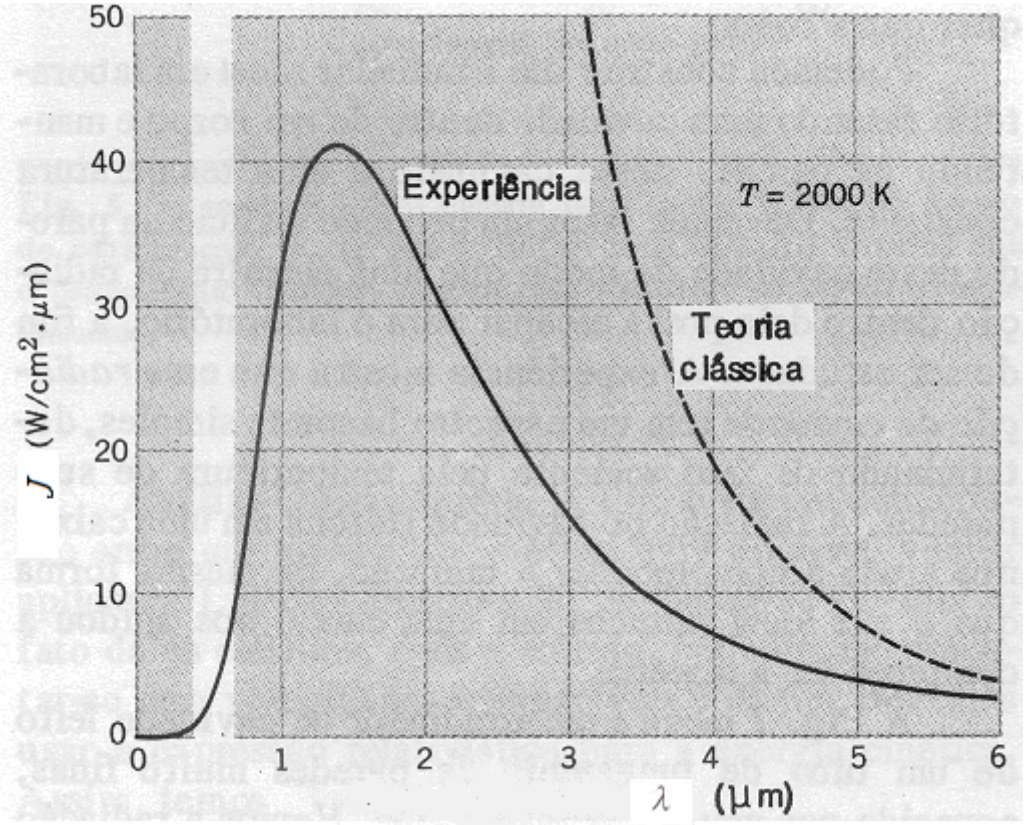


Figura II.2: Resultados experimentais X Resultados teóricos (Disponível em <http://s3.amazonaws.com/magoo/ABAAABoyMAA-2.png>, acesso em fevereiro de 2013)

Tal quadro não era esperado, devido a grande confiança da comunidade científica em relação aos modelos estatísticos de distribuição e equipartição. A grande questão se encontrava no fato de que para altos valores de frequência (com pequenos comprimentos de onda), característica de radiações na faixa do ultravioleta, é notada uma grande discrepância entre a previsão teórica e os dados experimentais. Desta forma, tal episódio foi batizado como a "*catástrofe do ultravioleta*".

Posteriormente, outros trabalhos tentariam resolver o problema. Josef Stefan (1835-1893) estabelece em 1884 um estudo empírico que relaciona a energia emitida por um corpo negro com a quarta potência da temperatura. Em seguida, naquele mesmo ano, Ludwig Boltzmann (1844-1906) fornece uma explicação teórica para o trabalho de Stefan, explicação esta que permanece até os dias atuais, chamada de *Lei de Stefan-Boltzmann* (ROCHA, 2002) (JAMMER, 1966). Outro cientista, Wilhelm Wien (1864-1928), irá fazer um estudo em laboratório de uma determinada faixa de temperatura para o problema do corpo negro. Seu trabalho, conhecido como *lei de deslocamento de Wien*, irá se basear também nas leis da termodinâmica e apenas consegue reproduzir os resultados empíricos para pequenos comprimentos de onda. Logo, era visível que as leis da Física Clássica não se adequavam ao problema (ROCHA, 2002).

Para resolver e construir um modelo matemático que se adequasse a tal representação era preciso não apenas introduzir um novo quebra cabeça, mostrava-se necessário uma nova

compreensão da natureza. Por fim, a "pequena nuvem" imaginada por Lorde Kelvin se transformou em uma grande tempestade na comunidade científica.

II.2 - O surgimento do termo "quantum": implicações e aplicações

A partir do momento em que as bases matemáticas da física clássica não estabeleciam relações coerentes com os experimentos realizados, tornou-se necessária uma busca por uma nova visão do fenômeno em questão. Nesse ponto, após seis anos de trabalho, Max Karl Ernst Planck (1858-1947) apresenta em uma conferência o que seria o princípio não apenas da catástrofe do ultravioleta, mas também de uma notável revolução do trabalho científico (ROCHA, 2002).

Professor de termodinâmica na Universidade de Berlim, Planck assistiu a palestras de Gustav Robert Kirchhof (1824-1887) e se inspirou nos trabalhos de Rudolf Clausius (1822-1888). Ambos envolvidos com o comportamento da luz, Kirchhof desenvolveu uma lei capaz de relacionar a emissividade e absorção da luz em condições específicas[2], enquanto Clausius é reconhecido como um dos fundadores centrais da termodinâmica, com contribuições fundamentais (JAMMER, 1966).

Ao entrar em contato com o problema da catástrofe do ultravioleta, através de experimentos realizados no *Imperial Physico-Technical Institute* de Berlim, Clausius demonstrou um grande interesse sobre seus fundamentos. Baseado na sua leitura de Kirchhof, criou a simples hipótese de que a radiação poderia ser tratada como uma oscilação linear de frequência v (JAMMER, 1966).

Planck supôs que este problema estava ligado com a relação entre a radiação (luz emitida) e matéria. Desta forma ele se envolveu com diversas manipulações algébricas para reproduzir a curva experimental que era esperada pela teoria. Porém, o resultado final o colocou em profundo questionamento, pois significaria um novo modo de pensar a equipartição de energia. Assim, criou-se o chamado *quanta* de energia, ou seja, a radiação se tornou uma propagação de inúmeras quantidades definidas de energia (ROCHA, 2002). Como podemos ver na figura 3, com a *Lei de Planck*:

[2] Na *Lei de Kirchhof*, fica estabelecido que raios luminosos de um mesmo comprimento de onda, a uma mesma temperatura, possuem a mesma emissividade e absorção para todos os corpos. Historicamente, é importante destacar o estudo das *Linhas de Fraunhofe*lr, ponto que conduziu Kirchhof a tal lei.

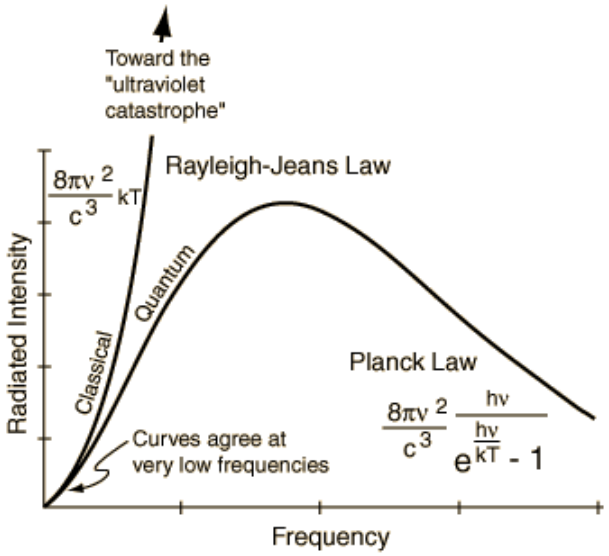


Figura II.3: Resultados da Lei de Planck (Disponível em <http://scienceblogs.com.br/dimensional/files/2011/08/zblackbody.gif>, acesso em Janeiro de 2013)

A partir dessa lei, um corpo aquecido só poderia emitir números inteiros de quanta energéticos, em um determinado intervalo de tempo. Mas tal interpretação não agradava o próprio Planck, de formação rigidamente clássica. A radiação, agora tratada como um processo de emissão de pacotes descontínuos, não foi muito bem aceita pela comunidade científica. De acordo com Planck, essa inserção seria apenas de caráter matemático, não apresentando qualquer manifestação física (ORTOLI & PHARABOD; 1986).

Para relacionar seus pacotes de energia com a radiação, Planck estabelece que uma determinada frequência de onda é constituída por um número definido de quanta. Dessa forma, cada pacote passa a ter uma energia correspondente à equação 2:

$$E = h.\nu$$

Equação 2: relação entre energia e frequência de uma onda

Como consequência, passa a existir uma constante de proporcionalidade “h”, que passa a ser chamada de *constante universal de Planck*, cujo valor é igual a 6,63 x 10^{-34} J.s (ROCHA, 2002). Como é possível perceber, sua escala é consideravelmente pequena em relação com as experimentações mais comuns.

Então, é plausível concluir que a pequena nuvem de Lorde Kevin referente à equipartição de energia, era apenas o começo de uma grande tempestade com a criação do termo quanta. Suas aplicações no universo microscópico irão proporcionar um rico debate acerca não apenas do funcionamento da natureza, mas também no modo dos cientistas enxergarem a própria.

II.3 – O efeito fotoelétrico

Como uma prova de que a “nova física” implicaria mudanças radicais na estrutura conceitual das bases da física clássica, em 1905 um jovem de 26 anos iria publicar uma série de cinco artigos, dentre eles, um que seria a explicação para o efeito fotoelétrico. Albert Einstein (1879-1955), autor destes artigos, fez-se valer do artifício matemático (como era tratado por Planck) do quanta de energia para enfim resolver o problema trazido por Heinrich Hertz (1857-1894) em 1872 (ROCHA, 2002) (ORTOLI & PHARABOD; 1986).

O efeito fotoelétrico caracteriza-se pela emissão de elétrons, em materiais metálicos, quando sofrem a incidência de um feixe de luz. Quando Hertz começou suas pesquisas, em 1886, sua intenção era de comprovar o caráter ondulatório da luz por caminhos que James Clerk Maxwell (1831-1879) não considerou. É irônico perceber que ao mesmo tempo em que sua experiência atingiu seu objetivo, ela gerou um forte argumento para sua contestação (JAMMER, 1966).

Hertz esperava mostrar que a quantidade de elétrons arrancados da placa metálica era proporcional à intensidade da radiação incidente sobre esta placa. A figura a seguir apresenta um esquema experimental do efeito fotoelétrico:

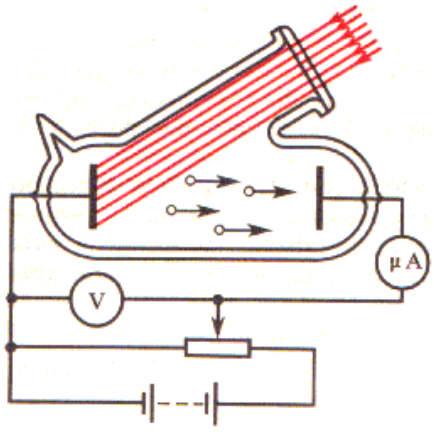


Figura II.4: Efeito fotoelétrico (Disponível em <http://t2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTfuMmsr86tJ5W2P5ZuOoT6BJ799yeOaKMmRibQgAKBfKME17cBT13f2BK1>, acesso em Janeiro de 2013)

Enquanto a quantidade de luz não apresentava nenhuma relação com a corrente elétrica, Hertz percebeu que a composição espectral afetava diretamente a velocidade dos elétrons ejetados. Além disso, existiam diversas incoerências com a física clássica: a) a maneira como os elétrons eram retirados da placa ao receber a incidência da luz, onde a emissão era praticamente instantânea; b) a existência de um limite crítico de frequência da luz incidente, sob o qual não se gerava nenhuma corrente (ROCHA, 2002).

Einstein, em contraponto com a teoria eletromagnética de Maxwell, considerou que uma radiação monocromática com uma frequência determinada pode ser perfeitamente descrita como uma emissão descontínua de energia. A base para esse pensamento não é totalmente inovadora, pois Issac Newton, Pierre-Simon Laplace e Jean Baptiste Biot já propuseram teorias corpusculares para a luz (JAMMER, 1966). Porém, através da Equação de Planck que Einstein conseguirá relacionar a energia cinética dos elétrons com a frequência da radiação (ROCHA, 2002) (ORTOLI & PHARABOD; 1986).

Ao imaginar um feixe luminoso como um jato de partículas, chamadas por ele de *fótons*, a energia total incidente passa a ser considerada como a soma das energias de cada pacote. Esses pacotes transmitem sua energia cinética para os elétrons, durante o choque. O que explica o fato da ejeção fotoelétrica acontecer de forma mais imediata do que a prevista pela teoria ondulatória (ROCHA, *op cit.*).

Em linhas gerais, para que a corrente elétrica possa ser detectada, é necessário que a frequência da radiação incidente seja suficientemente alta para que seus fótons consigam atingir a um limite de energia chamado *função trabalho* (W_0). Abaixo desse corte, os elétrons do material não são capazes de absorver a energia dos pacotes da radiação luminosa. (ROCHA, *op cit.*). Em termos de fórmula:

$$h\nu = W_0 + ({}^{mv^2}/_2)$$

Equação 3: energia absorvida no efeito fotoelétrico

É importante considerar que após a publicação de seu trabalho, em 1905, diversos trabalhos experimentais foram elaborados para sustentar a teoria corpuscular da luz de Einstein. Os mais importantes seriam as comprovações feitas por Robert Millikan (1868-1953), de 1916, e a descoberta de um novo efeito por Arthur Compton (1892-1962) em 1923. O *efeito Compton* tratava as colisões entre fótons e cargas elétricas de maneira análoga aos princípios de conservação de energia, o que fortaleceu a corrente corpuscular da luz (ROCHA, 2002) (JAMMER, 1966).

II.4 – O modelo atômico Bohr-Rutherford

A ideia de átomo, herdada do século V antes de Cristo, remete a uma corrente filosófica grega que trata a matéria como uma composição de partículas massivas e indivisíveis. Filósofos como Demócrito (460-370 a.C.), Empédocles (490-430 a.C.) e Epicuro (341-270 a.C.) formavam a chamada “corrente atomista”, entretanto o átomo só passou a ganhar espaço no

cenário científico a partir do século XIX, com os estudos de John Dalton (1766-1844) (ROCHA, 2002).

Dalton, ao publicar seu trabalho “Novo Sistema de Filosofia Química”, estabelece que elementos diferentes impliquem em átomos diferentes, modernizando o clássico conceito de átomo como constituinte da matéria. Desta forma, para diferenciar os diferentes elementos encontrados na natureza, surge o conceito de molécula. Uma contribuição muito importante partiria também de Amadeu Avogadro (1777-1856), com a hipótese de que “volumes iguais de gases, medidos à mesma temperatura e pressão, contém o mesmo número de moléculas”. Desse ponto, tais trabalhos foram fundamentais para o desenvolvimento da Química moderna (ROCHA, 2002) (JAMMER, 1966).

De forma paralela, outra pesquisa iria também acrescentar novas linhas ao modelo atômico: o *tubo de raios catódicos*. Tratava-se de partículas carregadas desviadas por um campo magnético, porém esses raios tinham carga elétrica negativa. O maior problema era que essas partículas não sofriam alterações detectáveis (devido a baixa qualidade do vácuo dentro do tubo que formava uma blindagem elestrostática) em relação ao campo elétrico, levando a Hertz concluir que não poderiam ser tratadas como cargas elétricas. Surpreendentemente, em 1897, Joseph John Thomson (1856-1940) constrói um tubo capaz de detectar esse efeito. Por seguinte, consegue estabelecer uma relação entre o valor dessa carga elétrica negativa com a sua massa, mais conhecida como *relação carga-massa do elétron* (JOFFILY, 2005).

A presença de uma partícula negativa, passível de ser medida, põe em xeque o modelo atômico grego. De acordo com Thomson, era necessário que a carga positiva fosse distribuída ao redor das cargas negativas (elétrons), como uma espécie de “pudim de passas” (ver figura a seguir). Mesmo apresentando fortes evidências a favor da existência do elétron, não era possível ainda desconsiderar a inconsistência do modelo atômico sugerido por Thomson, pois isso acarretaria na neutralização das cargas elétricas no interior do átomo (ROCHA, 2002).

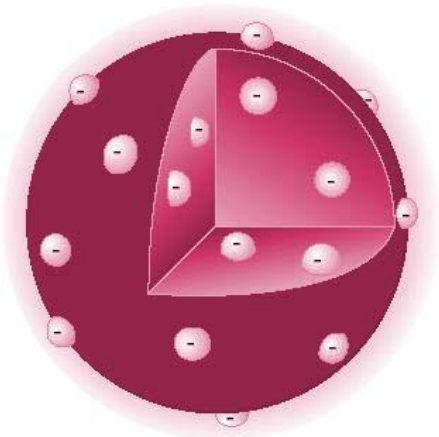


Figura II.5: átomo de Thomson (Disponível em <http://s3.amazonaws.com/magoo/ABAAABu38AK-1.png>, acesso em Janeiro de 2013)

Seguindo a linha histórica, outro experimento também se tornou famoso por estabelecer uma nova compreensão a respeito da estrutura atômica. No laboratório de Cavendish, Ernest Rutherford (1871-1937) ao fazer experiência utilizando radiação de partículas alfas contra uma placa de ouro, nota um comportamento inesperado nas partículas emitidas. De acordo com o modelo de Thomson, era de se esperar que as partículas simplesmente atravessassem a placa, como uma bala atravessando uma nuvem de poeira. Todavia, observou que diversas partículas sofreram desvios em sua trajetória, fruto de uma repulsão eletrostática (ROCHA, 2002) (ORTOLI & PHARABOD; 1986). A figura a seguir ilustra o experimento de Rutherford:

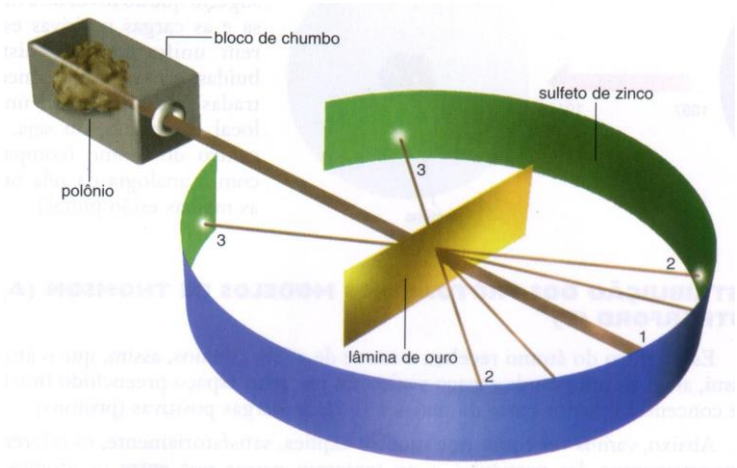


Figura II.6: Experimento de Rutherford (Disponível em <http://3.bp.blogspot.com/-922wAAZ188c/T95mX5jtJ0I/AAAAAAAAAIE/jITch26H_g4/s1600/ruther2.jpg>, acesso em Janeiro de 2013)

Desse modo, Rutherford propõe um novo modelo atômico capaz de separar as cargas positivas das cargas negativas. Os elétrons passam a ser distribuídos ao redor de um núcleo positivo, fazendo alusão ao sistema solar. Porém, esse modelo ainda apresentava um grave defeito: considerando que a carga elétrica ao se mover em uma trajetória circular desenvolva um movimento acelerado, isso acarretaria em uma frequente emissão de radiação. Logo, o modelo atômico de Rutherford não se torna estável utilizando apenas os preceitos da física clássica (ORTOLI & PHARABOD; 1986).

A solução para o problema de Rutherford viria de um grande conhecido, mais especificamente de um de seus alunos. Niels Bohr (1885-1962), aluno também de Thomson, iria se interessar pelo modelo atômico planetário. Longe de querer refazer outro modelo, se propõe a corrigir suas falhas, no que diz respeito à instabilidade das órbitas eletrônicas (ROCHA, 2002).

A maneira encontrada por Bohr para estabilizar as trajetórias dos elétrons era quantizar seu movimento, fazendo-o válido apenas para níveis definidos de energia. Em outras palavras, utilizando a ideia do quanta de energia de Planck, Bohr introduz a descontinuidade no interior do próprio átomo (ORTOLI & PHARABOD; 1986) (ROCHA, 2002). Assim, em 1913, nasce o *átomo de Bohr*.

O que começou como uma simples construção mental, posteriormente passa a colecionar consideráveis sucessos no desenvolvimento científico de novas teorias, por exemplo, as *linhas espectrais*. Desta forma, para justificar a emissão de luz em frequências bem definidas por alguns elementos químicos, bastava considerar que para saltar de uma camada eletrônica para outra (estado excitado), um elétron deve receber pacotes discretos de energia. Ao fazer o caminho de volta, a energia que o elétron perde é emitida na forma de fótons de luz, caracterizando a radiação luminosa (ROCHA, 2002).

Bohr também estabelece que não apenas os níveis de energia se tornem quantizados, mas também o próprio momento angular do elétron. Isso ocorre devido a grandeza física da constante de Planck ser correspondente com a grandeza física do momento angular. Porém, por uma questão de adequação, a constante de Planck passa a se escrita como $h/(2\pi)$.

O modelo atômico de Rutherford-Bohr, ao se fazer valer da física quântica, mostra que o cenário científico contextual estava passando por grandes transformações. O modelo atômico ainda não estaria completo, pois enquanto o elétron ainda estava modelado nas leis da física clássica, seu movimento ganhava um novo corpo teórico completamente revolucionário. Logo, era notória a proximidade de uma nova teoria: a mecânica quântica estava prestes a nascer.

II.5 – A dualidade onda-partícula

No primeiro quarto do século XX, a natureza da luz já apresentava para a comunidade científica algumas dúvidas importantes. Com a criação do quanta de luz, e por seguinte a explicação do efeito fotoelétrico, Einstein consegue atribuir para a luz um caráter corpuscular. Tal modelo passou por consideráveis sucessos, porém mesmo assim não consegue explicar o fenômeno da interferência (PESSOA Jr, 1992).

Até o fim do século XIX, a maioria dos fenômenos físicos era construída a partir de duas visões bem distintas: a teoria ondulatória, herança do eletromagnetismo de Maxwell, e a teoria corpuscular, base da mecânica newtoniana. Logo, a noção de onda ou partícula era usada para dividir a grande parte dos eventos encontrados na natureza (ORTOLI & PHARABOD; 1986).

Essa divisão era construída a fim de estabelecer uma forma de interação do evento em questão com o mundo a seu redor. Se para a visão corpuscular a interação se estabelecia através do contato direto ente dois corpos, na visão ondulatória os fenômenos físicos são baseados no transporte de energia e na interação de campos (JAMMER, 1966). Por exemplo,

ao ver um carro se chocar com outro em uma rua movimentada, usamos as leis da mecânica para trabalhar com os fatores pertinentes, tais como impulso, conservação da quantidade de movimento, *etc.* Mas essas mesmas leis não podem ser consideradas no estudo da interação entre cargas elétricas, que dependendo da natureza de suas cargas irão gerar um movimento de atração ou repulsão. Tal quadro ilustra muito bem o cenário da física até o fim do século XIX, com todos os eventos sendo distribuídos de forma bem definida entre essas duas teorias (ORTOLI & PHARABOD; 1986).

Voltando ao efeito fotoelétrico, o que dizer a respeito da natureza da luz? A partir do momento que existem experiências que ilustram tanto o caráter ondulatório quanto o corpuscular, torna-se necessário buscar alternativas para explicar essa dualidade. E essas alternativas viriam junto com o desenvolvimento da teoria quântica, que estava ganhando força no cenário científico (ROCHA, 2002).

Buscando um recorte histórico, é interessante ressaltar que a teoria quântica continuou dando frutos. Einstein, em 1907, inicia um estudo sobre a quantização do calor específico em sólidos, o que posteriormente se tornaria a Física da Matéria Condensada. Ou seja, a física quântica em questão de poucos anos já inspirava novas áreas na física, trazendo benefícios para a modernidade. Produtos como: televisores, novos computadores e células fotoelétricas nasciam como frutos do grande número de trabalhos relacionados a essa nova visão (ROCHA, 2002).

Com a eclosão da Primeira Grande Guerra, as relações políticas europeias sofreram um grande processo de transformação. Se a comunidade científica formava um elo para discutir a teoria quântica e a relatividade einsteiniana, agora inevitavelmente as colaborações passariam por profundas mudanças. E nesse contexto, um aristocrata francês chamado Louis de Broglie (1982-1987) será forçado a mudar seu campo de atuação profissional ao servir nas forças armadas. Antes envolvido com história eclesiástica, o período bélico citado o coloca envolvido com a radiotelegrafia (transmissão de mensagens sem fio a um curto alcance), e por consequência, com o eletromagnetismo.

Seu irmão (Maurice de Broglie), um físico experimental, secretariava os Congressos Solvay. Lá, nomes como Einstein, Curie, Rutherford, Bohr lançaram as bases da nova teoria quântica. Porém, em 1924, Louis de Broglie publicará sua tese de doutoramento que surpreenderá toda a comunidade científica: *Pesquisas sobre a Teoria dos Quanta.* Considerado um marco entre a velha e a nova teoria quântica, de Broglie parte de dois fatos já solidificados: a quantização da luz e o movimento dos elétrons (ROCHA, 2002) (ORTOLI & PHARABOD; 1986).

Através da constante universal “*h*” de Planck, de Broglie introduz duas novas fórmulas que irão provocar uma grande controvérsia na física. Uma delas irá propor uma relação entre o momentum “p” do elétron com um comprimento de onda “λ”, e a outra relacionará sua energia

com um determinado valor de frequência. Ou seja, utilizando o trabalho de Einstein, ele aplicava seus fundamentos para definir a natureza dos elétrons (JAMMER, 1966) (SELERI, 1986). As equações postuladas por de Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Equação 4 – Primeira equação de de Broglie

$$f = \frac{E}{h}$$

Equação 5 – Segunda equação de de Broglie

Mesmo não apresentando muitas novidades, pois baseiam-se do trabalho de Einstein acerca do efeito fotoelétrico, essas equações mostram um ponto jamais previsto pela física clássica: a matéria pode apresentar um caráter *dual*. Pois os elétrons, considerados de modo incontestável como partículas, agora podem ser associados a um comprimento de onda. Escrevendo de outra forma, a matéria passa a ser descrita usando as características de uma onda (PESSOA JR, 1992).

A tese de doutorado de Louis de Broglie irá impulsionar o desenvolvimento, do que se pode chamar, da Física Moderna. A dualidade onda-partícula irá proporcionar o desenvolvimento de um novo campo chamado *Mecânica ondulatória*. Nesse campo, será feita uma formulação matemática da teoria quântica, onde diversos cientistas tomaram esse novo aspecto da natureza como ponto central de seus trabalhos (ROCHA, 2002).

II.6 – O Princípio da incerteza

A possibilidade de modelar uma partícula a partir de uma onda agora obriga a buscar novos caminhos no campo da óptica. O desafio de escrever as leis da difração e interferência para as chamadas "*ondas de matéria*" consolidou o trabalho de dois grandes nomes da ciência: Erwin Schrödinger (1887-1961) e Werner Heisenberg (1901-1976) (ORTOLI & PHARABOD; 1986).

Schrödinger era professor da Universidade de Zurique, onde se especializou no estudo estatístico dos gases e da radiação. Ao entrar em contato com a tese de de Broglie, em 1924, mostra-se muito motivado a encontrar uma equação capaz de escrever matematicamente tais ondas de matéria. Porém, ao se deparar em sérias dificuldades ao tentar tratar essas ondas sob um prisma relativístico, sua saída será construir analogias entre os aspectos matemáticos da mecânica clássica e da óptica geométrica (ROCHA, 2002).

Para Schrödinger, como herança de uma visão construída pela física clássica, a natureza possui um *caráter realista* (SELERI, 1986). Filosoficamente, um cientista realista busca construir descrições verdadeiras de como o mundo realmente é (CHALMERS, 1993). Logo,

todos os sete artigos que Schrödinger viria a publicar se preocupam ainda em manter uma teoria pertinente com eventos físicos observáveis.

Como fruto de seus trabalhos e, considerado o ápice da mecânica ondulatória, surge a *Equação de Schrödinger*. Uma equação diferencial parcial[3] que apesenta uma função de onda "Ψ" como uma solução, capaz de conter todas as informações físicas de um determinado sistema físico (ROCHA, 2002). Sua fórmula matemática apresenta alguns elementos matemáticos novos:

$$H(t)|\Psi(t)> = i\hbar\frac{d}{dt}|\Psi(t)>$$

Equação 6 – Equação de Schrödinger dependente do tempo

É importante notar que a função de onda "Ψ" está descrita na equação como um estado[4]. A partir deste momento, a controvérsia existente entre a dualidade onda-partícula parecia estar perto de uma conclusão, pois seu trabalho irá desencadear uma série de resultados importantes, entre eles a reprodução dos resultados de Broglie e o modelo atômico e Bohr. As partículas seriam então, ondas agrupadas em pacotes, estes que em uma escala macroscópica aparentam serem pontos (SELERI, 1986) (ORTOLI & PHARABOD; 1986).

Mas ainda existiam dúvidas a serem solucionadas. Um experimento chamado *Câmara úmida de Wilson*, que consistia em uma câmara saturada com vapor d'água bombardeada por um feixe de raios-X, ainda apresentava a radiação como um feixe de partículas bem definidas (PESSOA JR, 1992). A figura a seguir ilustra seu resultado:

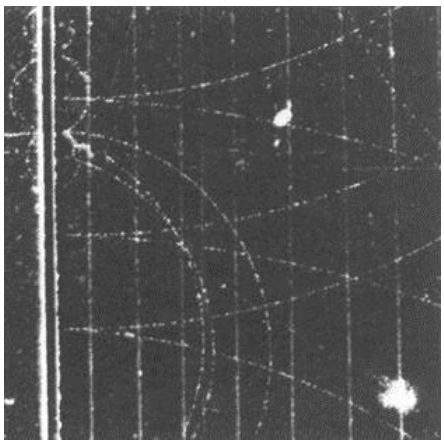


Figura II.7 – Trajetória das partículas provenientes de uma radiação (Disponível em <http://profs.ccems.pt/PauloPortugal/PHYSICA/Radioactividade/Decaimentos/Decaimentos_beta_ficheiros/image024.jpg>, acesso em Janeiro de 2013)

[3] Escrita em termos de Derivadas Parciais.
[4] Conjunto de propriedades físicas que o caracterizam em um dado instante.

Se a mecânica ondulatória de Schrödinger era construída a partir de um relato realista da natureza, o evento observado pela câmara de Wilson tornou-se uma contradição na sua teoria. Nenhum evento natural poderia ser relacionado com duas explicações diferentes, logo o impasse partícula-onda ainda estaria em pauta. Nesse ponto, surge a necessidade de uma nova interpretação da natureza, algo construído por Heisenberg (ROCHA, 2002).

Heisenberg era um dos assistentes de Max Born (1882-1970) e se envolverá com a teoria construída por Bohr para explicar o movimento dos elétrons. Não satisfeito com a impossibilidade de observar os fenômenos descritos por Bohr, sua maior inovação será não se limitar com analogias construídas com a mecânica clássica para descrever um determinado estado físico (ROCHA, 2002).

Embora não pudesse comprovar de forma observável o movimento dos elétrons, Heisenberg sabia que a energia liberada na transição de um nível eletrônico para outro era uma quantidade definida. Mas ao pensar sobre a migração de raios atômicos, Heisenberg se questionou se a intensidade luminosa não estaria relacionada com os dois estados, ao invés de apenas um. Ao formalizar sua proposta, ele pode verificar que a estrutura matemática se assemelhava muito com o cálculo de matrizes. E através desses cálculos, conseguiu encontrar resultados muito próximos aos valores empíricos da intensidade luminosa associada a cada transição de nível eletrônico (JAMMER, 1966) (ROCHA, 2002).

Devido a grande consistência de sua hipótese, Heisenberg irá se juntar com Born para escrever um artigo que denominará sua criação como *Mecânica das matrizes*. Nesse artigo, foram estabelecidos os fundamentos pertinentes a essa nova visão, além de escrever outros famosos operadores da física como matrizes e como o operador momentum “p” (JAMMER, 1966).

Para Heisenberg, a interpretação orbital do movimento dos elétrons se encontrava equivocada. De acordo com um trabalho contemporâneo de Paul Dirac (1902-1984), era impossível atribuir valores exatos para coordenadas de uma partícula, assim como sua evolução temporal. Dessa forma, em 1927 nasce mais um importante princípio da física moderna: *O Princípio da Incerteza* (CHIBENI, 2005).

De acordo com Heisenberg, é impossível determinar com precisão a posição “x” e o momentum “p” de um objeto quântico, no mesmo instante. Ou seja, ao elaborar uma prática experimental que vise determinar a posição de um elétron, o valor de seu momentum se torna incerto. Logo, adotar um modelo determinista, como uma órbita circular, para a trajetória do elétron, não é uma posição coerente (JAMMER, 1966) (ROCHA, 2002).

Para atender ao paradoxo onda-partícula, de acordo com o recente princípio da incerteza, Heisenberg irá mostrar que o produto da imprecisão das medidas de momentum e posição atende a uma relação matemática, como mostrada na figura a seguir:

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{h}{4\pi}$$

Equação 7 – Princípio da incerteza

Dessa forma, a partir do momento em que duas grandezas se tornam mutualmente indeterminadas (quanto maior a precisão de uma medida, menor terá que ser a outra), é possível apresentar uma impossibilidade de encontrar em um mesmo objeto quântico dois atributos distintos, tais como “onda” ou “partícula” (JAMMER, 1966).

II.7 – O conceito de complementariedade

A dualidade onda-partícula ainda assumia a forma de uma anomalia para a visão clássica da física, realista e *causal.* Nesse prisma, procurar um modelo que descreva de forma coerente os fenômenos apresentados acarreta em um questionamento acerca da manifestação física dos próprios fenômenos (SELERI, 1986). Para Bohr, os rumos da nova Mecânica Quântica consistiam em algo mais profundo do que as descrições matemáticas.

Quando estabeleceu sua visão sobre o átomo, física clássica e moderna estavam sendo usadas de forma conjunta. Como foi possível perceber, seu trabalho inspirou diversos cientistas que não aceitavam essa postura, em especial Heisenberg. E será nesse encontro que irá nascer mais dois pilares da mecânica quântica: *o princípio da correspondência* e a *complementariedade* (ORTOLI & PHARABOD; 1986).

Quando Planck propõe sua lei, a respeito da radiação de corpo negro, percebe-se que nos limites de sua constante “h” tendendo para zero, as conclusões convergem para os resultados clássicos (JAMMER, 1966). E sob esse prisma, em 1918, Bohr irá construir uma ponte capaz de unir a física clássica e a nova física moderna.

Ao publicar um importante trabalho, “*On the quantum theory of linea-spectra*”, Bohr discute a determinação de um espetro linear de acordo com a aplicação da teoria quântica. Porém, Bohr irá apresentar que as frequências da emissão resultante de uma mudança de nível eletrônico podem ser caracterizadas utilizando as leis clássicas da radiação. Em outras palavras, em uma determinada faixa, a descrição física de um evento pode ser mudada (JAMMER, 1966).

Da mesma maneira que Planck, Bohr apresenta uma forma de unir a física clássica com a nova teoria quântica. De acordo com seu trabalho, alguns números quânticos são usados para descrever a frequência da radiação emitida. Mas quando esses números assumem valores muito altos, o modelo quântico se adequa ao modelo clássico de radiação (BOHR, 1918). Ao relatar que seu princípio mantinha-se válido para pequenos e médios números quânticos, Bohr formaliza seu argumento como um teorema (JAMMER, 1966).

De acordo com Ortoli e Pharabod (1986):

> “O princípio de correspondência, enunciado por Bohr em 1916 e revisto e corrigido por Ehrenfest em 1927, lança uma ponte entre a física clássica e física quântica. Quando o número de partículas-quantões atinge um certo

> limiar, a teoria quântica conduz-nos aos mesmos resultados da física clássica. (ORTOLI & PHARABOD, 1986 p. 44)”

Dessa maneira, a física clássica passa a ser um campo anexado à física quântica, na forma de um caso particular de suas aplicações. De acordo com Bohr, a partir desse ponto, a teoria quântica já poderia ser considerada uma teoria completa (JAMMER, 1966).

O princípio da correspondência torna a teoria quântica mais forte, mas ainda não responde ao paradoxo onda-partícula. Porém, ela apresenta a Bohr uma visão *dualista* da natureza. Ao conceber que em determinadas condições a física quântica reduz-se aos postulados da física clássica, talvez a própria natureza tenda a apresentar também características dualistas. Em um encontro com Heisenberg, na Noruega, Bohr irá se atualizar em relação as suas relações de indeterminação (SELERI, 1986).

De acordo com Bohr, a dualidade onda-partícula não deveria ser o eixo principal do problema. Para ele, ao experimentar a natureza, o fato de o observador estar em um mundo macroscópico o condiciona a possuir as concepções próprias desse estado. Afinal, de acordo com o princípio da correspondência, a natureza poderia ser descrita em função de seus números quânticos. Logo, a pessoa que experimenta a realidade, por ser um objeto fisicamente clássico, carrega consigo noções clássicas, como a causalidade (SELERI, 1986).

Para Bohr, a causalidade representa processos com leis bem definidas, como a conservação de energia e quantidade de movimento. De acordo com o princípio da incerteza, para sistemas quânticos era impossível construir uma relação entre a posição de uma partícula com seu tempo. Com um ponto de vista positivista, Bohr conclui que a procura de uma causalidade inibe a observação de valores de espaço e tempo em um sistema quântico. Logo, o método escolhido para experimentação passa a ter um papel importante na tomada de medidas (SELERI, 1986).

Desse modo, as relações entre as coordenadas de um sistema quântico são consideradas *mutualmente excludentes*, não apenas em termos de precisão (como afirma o princípio da indeterminação), mas como a sua manifestação física no procedimento experimental (JAMMER, 1966). Bohr deduz esse princípio como um aspecto *complementar* da natureza, que em sua escala atômica, não obedece as leis da causalidade. No embate entre a concepção corpuscular e ondulatória da luz, como o mecanismo de medida atua diretamente em um universo microscópico, sua manifestação irá depender exclusivamente do mecanismo em questão (JAMMER, 1966) (SELERI, 1986).

A inspiração de Bohr para construir sua visão da natureza, curiosamente não é baseada em um trabalho feito no campo das ciências exatas. De acordo com Max Jammer (1966), um filósofo, Harald Hoffding (1843-1931), e um psicólogo, Willian James (1842-1910), irão influenciar o caminho de Bohr na direção de uma interpretação complementar. Um exemplo de

como a observação pode interferir na descrição da natureza pode ser notado pela figura a seguir:

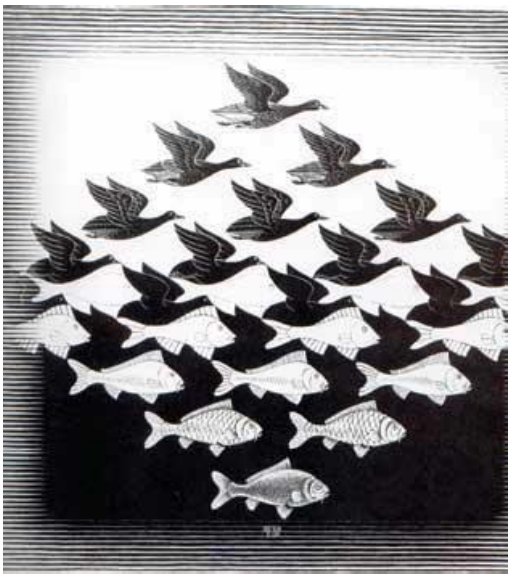


Figura II.8 – Pássaros ou peixes? (ESCHER *apud* SELERI, 1986 p. 94)

Dependendo da forma como a figura é observada, podemos notar a presença de pássaros ou peixes. Mas em nenhum momento, podemos apontar a existência mútua entre as duas. Quando Bohr entra em contato com os trabalhos publicados por James, no campo da esquizofrenia, percebe que assim como quando um paciente sofre desse distúrbio não pode manifestar ao mesmo tempo o comportamento de duas personalidades distintas, a natureza também deve apresentar uma manifestação coerente com o método de observação utilizado (JAMMER, 1966).

Voltando ao paradoxo onda-partícula, sua solução está diretamente relacionada ao papel do observador. Ao separar a luz como onda ou partícula, seja pela interferometria ou pelo efeito fotoelétrico, a *medição* passará a ser tratada como principal agente de determinação de um estado quântico (PESSOA JR, 1992). Assim como Bohr afirmou, o problema da dualidade não se encontra na natureza da luz, mas sim na experimentação da própria. Será esse problema o responsável por uma grande discussão, para que se possa determinar a evolução de um sistema quântico de forma coerente com a realidade.

II.8 - O problema da medição: onde estabelecer a fronteira entre observador e experimento

A partir do momento em que o problema estabelecido pela dualidade onda-partícula foi conceitualmente resolvido pelo princípio da complementariedade de Bohr, torna-se urgente esclarecer como um estado quântico se manifesta na forma de uma observação. Até o presente momento, a mecânica quântica pode ser estruturada da seguinte maneira:

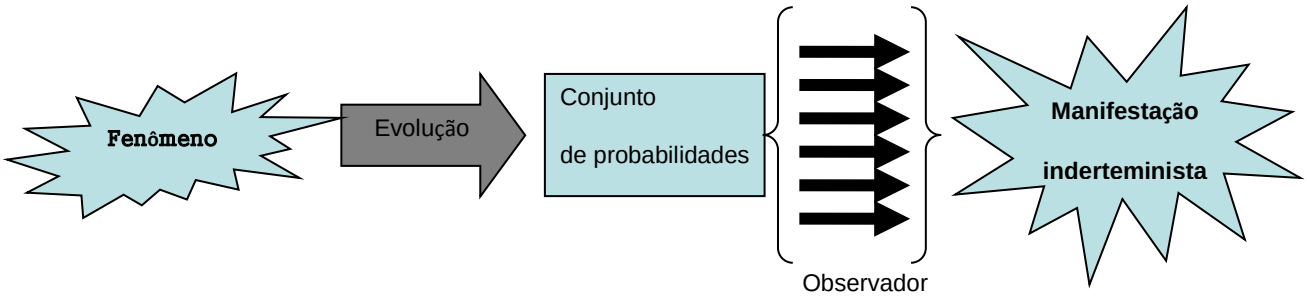


Figura II.9 – Estrutura da mecânica quântica (Próprio autor)

Desta forma, os fenômenos podem ser considerados como estados que evoluem no tempo de maneira determinista, pela equação de Schrödinger. Mas ao contrário da mecânica clássica, um estado apenas contém diferentes possibilidades de se obter uma medição, não obedecendo a uma lógica clássica de causalidade e consequência. Cabe ao observador, no ato da medição, definir qual o caminho a ser tomado entre o conjunto de probabilidades de um estado e sua manifestação física. A esse efeito, dá-se o nome de "*redução do pacote de ondas*" e seu maior problema se encontra na fronteira existente entre a ação do observador e o fenômeno em si (JAMMER, 1966) (PESSOA JR, 1992).

De acordo com Pessoa Jr. (1992), o problema da medição estava relacionado com o fato de entender como ocorre a redução de um pacote de ondas durante uma observação, em outras palavras, de que maneira uma superposição quântica pode ser transformada em estados que se comportam "classicamente". Para isso, não seria possível adotar integralmente a complementaridade de Bohr, pois para um aparelho de medida não é permitido adotar uma natureza dupla, como por exemplo, clássica ou quântica (JAMMER, 1974).

Tradicionalmente, a maior parte dos físicos não fez do problema da medição um obstáculo para a mecânica quântica. Seja tratando como um pseudoproblema, ou apenas como uma questão filosófica, suas soluções em princípio não poderiam ser validadas por meio de experiências. Mas ao longo do século XX, diversos cientistas se mostraram insatisfeitos com a cega aceitação da complementaridade para tratar da redução do conjunto de possibilidades que um fenômeno pode apresentar apenas por meio da experimentação (PESSOA JR., 1992).

Usando um nome como exemplo, Von Newmann apresentou soluções em seu livro, em 1932. Porém, essas soluções também tinham suas próprias questões para serem respondidas: o problema da caracterização e o problema da completeza (VON NEWMANN, 1955).

Para formular o problema da completeza, Von Newmann afirma que o conjunto aparelho-objeto formaria um sistema quântico composto. A princípio, tal problema poderia contrapor a complementaridade, se não fosse pela seguinte saída: o instrumento se encontra separado do

observador, descrito como um sistema clássico que interage com o sistema composto, mantendo assim a natureza dupla descrita anteriormente. Tal problema é insolúvel, por não existir formas de legitimar a interação quântica entre objeto e o instrumento (PESSOA JR, 1992).

O problema da caracterização é o ponto importante para responder a questões trazidas pela mecânica quântica, além do campo científico. De acordo com o trabalho de Von Newmann, o ato da observação deve ser realizado por um indivíduo consciente. Inspirado no trabalho de Leo Szilard (1898-1964), que aponta um aumento de entropia em um sistema termodinâmico relacionado com a intervenção de “seres inteligentes”, é proposta então uma solução subjetiva para o problema em questão (ROCHA, 2002) (PESSOA JR, 1992).

Sendo tratado de maneira mais clara, Fritz London (1900-1954) e Edmond Bauer (1880-1963) (1939) irão criar a chamada *faculdade de introspecção*. A partir deste ponto, em um *ato criativo de objetificação*, o observador utilizando o conhecimento de seu próprio estado promove um corte na cadeia de possibilidades possíveis para aquele conjunto de probabilidades.

Uma forma de provocar um debate acerca do problema da medição reside no seguinte paradoxo, proposto por Schrödinger:

> “Um gato está fechado numa caixa e dentro dessa caixa existe uma ampola de veneno volátil; um martelo que pode cair sobre a ampola e quebrá-la é mantido preso pelo dispositivo de disparo accionado por protões de spin indeterminado e, passada uma hora, observamos o interior da caixa por uma pequena vigia. Como é evidente, o gato está morto ou vivo.” (ORTOLI & PHARABOD; 1986 p. 72)

Para descrever o problema por meio de um formalismo quântico é necessário montar uma função que compreenda todas as variáveis envolvidas. Mesmo que após a redução do pacote de ondas o resultado final seja apenas dois, *vivo* ou *morto*, o número de objetos que influenciam na experiência tornam a função de onda demasiada complexa para apontar para apenas uma resposta. Será que o gato encontra-se mutualmente vivo e morto? Como a complementariedade exclui esse aspecto da natureza, o quadro imaginado por Schrödinger ilustra um paradoxo a ser resolvido pelas correntes propostas durante a busca de uma solução para o problema da medição (ORTOLI & PHARABOD, 1986).

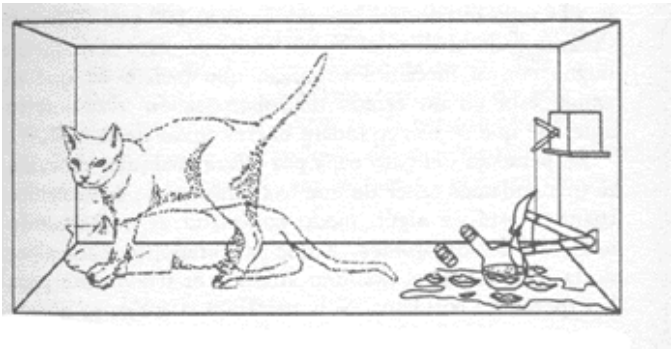


Figura II.10 – O paradoxo de Schrödinger (Disponivel em <http://www.bertolo.pro.br/fisica_cosmologia/Figuras_Espirito_Atomo/09.gif>, acesso em Janeiro de 2013)

II.9 - As críticas recebidas por Einstein: A Mecânica Quântica como um conhecimento incompleto.

Apesar da enorme abrangência alcançada pela mecânica quântica, no curto espaço de tempo em que ela se desenvolveu, suas concepções apresentam características conceituais e estruturais que desafiam a lógica científica ordinária. Mesmo com seus trabalhados apresentando resultados empíricos confiáveis, a teoria não se comporta como uma interpretação *realista* da natureza (CHIBENI, 1992).

Por exemplo, ao passo que a mecânica clássica permite tratar a evolução de qualquer sistema de maneira determinista, a mecânica quântica não permite que nenhuma previsão seja feita em relação a um sistema físico. De acordo com o programa realista, a medida não pode ter nenhum papel associado à consciência do observador, pois a natureza não deve ser tratada "*a posteriori"* (RYFF, 1992).

Afirmar que noções clássicas da física, tais como trajetória, pudessem ser abandonadas no estudo de um fenômeno, perturbou parte da comunidade científica. Mais que isso, ignorar a existência de uma realidade existente antes da observação. Para Bohr, o que acontece com um elétron entre dois instantes em que ele é observado não é um fato necessário para sua compreensão. E essa postura irá provocar um embate com Albert Einstein, e toda uma escola de cientistas de pensamento realista (ORTOLI & PHARABOD, 1986).

Relutante em abandonar a ideia de uma realidade objetiva, independente da observação, Einstein em 1926 irá escrever para Borh revelando sua preocupação quanto a validade da mecânica quântica. De acordo com suas palavras, a mecânica quântica era uma teoria que merecia muito respeito, mas sua descrição de realidade oferecia uma visão incompleta da natureza (ORTOLI & PHARABOD, 1986).

Mesmo sendo um dos fundadores da teoria quântica, Einstein questionou a orientação que a mecânica quântica seguiu. Desde sua formação na Politécnica de Zurique, a sua visão de realidade física acerca da natureza estava claramente definida *a priori*, em grande parte pela leitura dos principais trabalhos de Immanuel Kant (1724-1804), onde construiu uma

necessidade inata de relacionar os conceitos construídos com fatos empíricos (DAHMEN, 2006).

O desacordo gerado entre Bohr e Einstein irá ser a pauta principal de discussão na Quinta Conferência de Física no Instituto Solvay, em 1927. Essas conferências, que acontecem desde 1911, reuniam os membros mais influentes da sociedade científica para formalizar e tratar problemas específicos. Nessa, em questão, não será diferente ao trazer Einstein, Bohr, Dirac, Heisenberg, entre outros, para tratar na natureza dos elétrons.



Figura II.11 – V Conferência de Solvay (Disponível em < http://www.ifi.unicamp.br/~mtamash/f689_mecquant_i/solvay_conference_1927.jpg >, acesso em Janeiro de 2013)

Na discussão do assunto, é possível perceber duas correntes de pensamentos em torno da mecânica quântica. Uma escola *realista* (Einstein) e a chamada *escola de Copenhague* (Bohr). De acordo com Einstein, se a natureza possui uma realidade indeterminada antes de sua observação de um fenômeno, é unicamente por causa da falta de precisão de seus instrumentos. Logo, havia *variáveis ocultas* pela natureza que tornariam a mecânica quântica incompleta (ORTOLI & PHARABOD, 1986).

Do lado oposto, a Escola de Copenhague, ou escola ortodoxa, irá se prender ao fato da mecânica quântica ser uma teoria adotada por grande parte da comunidade científica, além de trazer resultados empíricos coerentes. Ou seja, é um instrumento de trabalho adequado. Sua descrição ondulatória da natureza, através da equação de Schrödinger, é considerada a melhor maneira de descrever o comportamento do elétron (ROCHA, 2002) (ORTOLI & PHARABOD, 1986).

Karl Popper (1902-1994), um importante filósofo, também irá contribuir com o debate. Na publicação de seu livro “Teoria quântica e o Cisma da Física”, ele apresenta o que considera um dos dogmas da escola de Copenhague: a negação de uma realidade objetiva em prol da observação. Para Popper, não fazia sentido negar a teoria quântica, pois ela correspondia aos fenômenos observados. A partir do momento que o observador experimenta a natureza, sua

consciência não é importante, pois o papel do físico é testar uma teoria e sua validade. Por motivos óbvios, Bohr irá discordar do ponto de vista de Popper para manter sua doutrina ortodoxa acerca da mecânica quântica (ROCHA, 2002).

Como o resultado da conferência, foram fundamentados cinco postulados para formalizar a mecânica quântica. Esses postulados reúnem toda construção teórica construída ao longo do começo do século XX, compreendendo desde a mecânica ondulatória de Schrödinger até o formalismo matricial de Heisenberg. Os resultados experimentais não deixam dúvidas do sucesso da Escola de Copenhague. Mas como afirma Mario Bunge (*apud* ROCHA, 2002), especialista em epistemologia da física, a mecânica quântica mesmo sendo a construção científica mais bela, seja por seus resultados ou por sua estrutura conceitual, é a que apresenta a fundamentação filosófica mais frágil. E será nesse campo que os debates irão ocorrer, em paralelo a seu desenvolvimento (ROCHA, 2002) (JAMMER, 1966) (SELERI, 1986).

II.10 – O paradoxo EPR: discutindo a realidade

Para mostrar que a teoria quântica estava incompleta, Einstein e seus colegas, Boris Podolsky e Nathan Rosen, publicam em 1935 um artigo de grande repercussão. Desde 1927, Einstein manifestara suas questões contra a redução do pacote de ondas e em conjunto com seus companheiros propõe um experimento mental que lançou grandes dúvidas sobre a mecânica quântica (SELERI, 2002).

O experimento mental consistia em um emaranhamento de dois quanta em um estado de interação mútua, que depois se separam em direções opostas. De acordo com o artigo original (EINSTEIN, PODOLSKY, ROSEN. 1935), o sistema é descrito por uma função de onda única que leva em conta determinadas relações de conservação. Assim, ao conhecer a velocidade ou a posição de uma partícula, após a separação, é possível determinar a posição e a velocidade da outra. Isso porque, mantendo todos os princípios estabelecidos de conservação e livrando o sistema de qualquer perturbação, as duas partículas sempre se movimentam em direções opostas. Na figura a seguir, é possível visualizar um esquema do experimento de pensamento proposto:

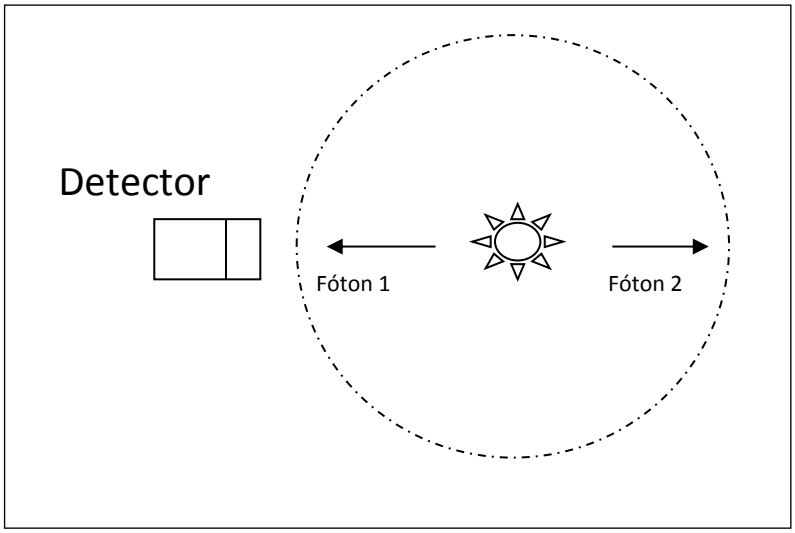


Figura II.12 – Ilustração do paradoxo EPR (Próprio autor)

É claro perceber a diferença de tal abordagem com a interpretação da Escola de Copenhague, onde a posição seria descrita através de ondas de probabilidades. Apenas a detecção/observação pode reduzir todas as possibilidades para apenas um estado. Porém, o argumento lançado por Einstein, Podolsky e Rosen estava fundamentado em uma das mais poderosas ferramentas científicas: o princípio da conservação. Mas longe de derrubar a mecânica quântica, como uma teoria incompleta, outros trabalhos surgiriam para enriquecer não somente o debate entre a interpretação da natureza, mas também sobre a própria ideia de realidade.

Diversos trabalhos teóricos, em especial os de Bohm (1951) e Bell (1964), estabeleceram as devidas condições para validar a mecânica quântica (ORTOLI & PHARABOD; 1986). A *Desigualdade de Bell* configura um sistema de conjuntos na forma de uma desigualdade, construindo um critério para delimitar a área de atuação da física clássica. Mas usando as palavras de Chalmers (1994), a ausência de uma evidência experimental não permitia uma fundamentação mais segura para o conhecimento científico em questão.

II.11 – A resposta de Bohr para o EPR

A resposta de Bohr para artigo do EPR veio no mesmo ano, e chegou ao editor da *Physical Review* quatro meses após a publicação de Einstein e seus companheiros. Longe de criticar a validade da experiência de pensamento construída, pois não havia nenhuma falha conceitual, Bohr irá se concentrar na questão da causalidade para montar sua resposta (SELERI, 1986).

Quando Einstein promove o debate em torno da “realidade física”, suas concepções *a priori*, de acordo com Bohr (1981), são inadequadas e promovem um discurso inadequado de acordo com a experiência apresentada. O emaranhamento de duas partículas, ao serem

tratados como objetos clássicos, não respeitam o formalismo da mecânica quântica. Em outras palavras, o paradoxo EPR é totalmente coerente com a física quântica desde que se respeite seus postulados (BOHR, 1981).

A própria linguagem matemática da mecânica quântica proporciona os argumentos necessários para se abordar o problema. Como já era discutida, a causalidade não é o objeto de busca da teoria quântica. A discussão construída em torno do paradoxo serve para ilustrar a necessidade de mudar a forma de compreender a natureza. Devido ao próprio processo de medida exercer influência no sistema, de acordo com as leis da indeterminação, por conta do quantum de ação “h”. A partir do momento que uma interação observador-fenômeno passa a existir, o sistema se torna absolutamente imprevisível e além da compreensão determinista (SELERI, 1986).

A própria visão de realidade, para Bohr, não irá se basear nos modelos físicos criados. Na sua visão, o fenômeno corresponde a uma circunstância física determinada, assim como as leis utilizadas para construir sua explicação são apenas pertinentes a partir do momento que a observação é realizada (BOHR, 1981).

Além de apontar falhas na escolha da abordagem para tratar do experimento, Bohr demonstra que o paradoxo EPR não apresenta as relações causais explicadas por Einstein. Ao tentar extrair uma correlação precisa entre as posições detectadas, a montagem do experimento não permite encontrar uma correlação correta de seus momentos. A explicação? Os aparelhos são mutuamente incompatíveis e não apresentam a mesma leitura da realidade (BOHR, 1981).

Desse modo, a hipótese do EPR mostra-se inútil em relação a sua premissa. Pois, para que possa ser válida, apenas deve compreender um aspecto da natureza da luz: o corpuscular. A partir do momento em que a luz apresenta um caráter ondulatório, esse deveria ser um fato presente na teoria prevista por Einstein, Podolsky e Rosen (SELERI, 1986).

Nas palavras do próprio Bohr:

> “Apesar de havermos mostrado que a função de onda não fornece uma descrição completa da realidade física, deixamos em aberto a questão de se existe ou não uma tal descrição. Acreditamos, contudo, que uma descrição dessas é possível.” (BOHR, 1981 p.96)

É ponto pacífico que Einstein e os demais autores do paradoxo EPR estavam conscientes que provavelmente seriam refutados por Bohr. Mas mesmo assim não escondem seus descontentamentos ao perceberem que tipo de realidade estava sendo abordada pela mecânica quântica. Porém, ao seguir dos eventos, uma importante contribuição experimental colocaria um fim nessa história (SELERI, 1986) (ORTOLI & PHARABOD, 1986).

II.12 - A desigualdade de Bell e a experiência de Aspect: a vitória da Mecânica Quântica

Em 1951, David Bohm (1917-1992) sugere uma nova abordagem para a interpretação do paradoxo EPR. No lugar de considerar variáveis contínuas (velocidade, posição), poderiam ser utilizadas variáveis discretas, que admitem apenas dois valores distintos. No caso da experiência, são considerados os estados de spin dos elétrons, prótons e nêutrons. Mas, mesmo com a ideia sendo bem vista, faltava um teste para confirmar uma aplicação.

Partindo da ideia de Bohm, John Bell (1928-1990) irá desenvolver em 1964 um sistema de conjuntos na forma de uma desigualdade. Essa desigualdade será conhecida como *desigualdade de Bell* e formará a condição a ser violada, para que possa ser verificada a validade da física quântica (ORTOLI & PHARABOD; 1986).

Em linhas gerais, a desigualdade de Bell mesmo não sendo um teorema estruturalmente complexo, oferecia muito resistência para sua credibilidade. De maneira sucinta, Bell afirma que o ato da medição não é um evento isolado apenas do sistema observador-experimento, mas sim um grande acontecimento universal. Ou seja, a realidade não é um valor local.

A partir desse ponto, a medida do estado de um elétron não sofre apenas perturbações do instrumento de medida, mas também de infinitos eventos que ocorrem em outros locais. Por mais ilógico que se apresente, existe uma matemática apresentada capaz de demonstrar sua hipótese. Hipótese essa que dará um novo sustento para a Escola de Copenhague, pois a realidade quântica não pode assumir um modelo “local”.

Assim, a mecânica quântica já possui uma forma de verificação. Mas ainda restava o paradoxo EPR, e a desigualdade de Bell carecia de uma experiência para provar sua aplicação. Desta forma, diversos físicos irão promover atividades experimentais em busca desse fim (ORTOLI & PHARABOD, 1986).

Em 1984, uma experiência rigorosa e irrefutável será proposta por Alain Aspect (1947-*) e irá reproduzir um aparato experimental fiel com o experimento mental do paradoxo EPR. Utilizando um cilindro com vácuo, fótons são emitidos a partir de átomos de Cálcio e detectados através de polarizadores em posições estratégicas.

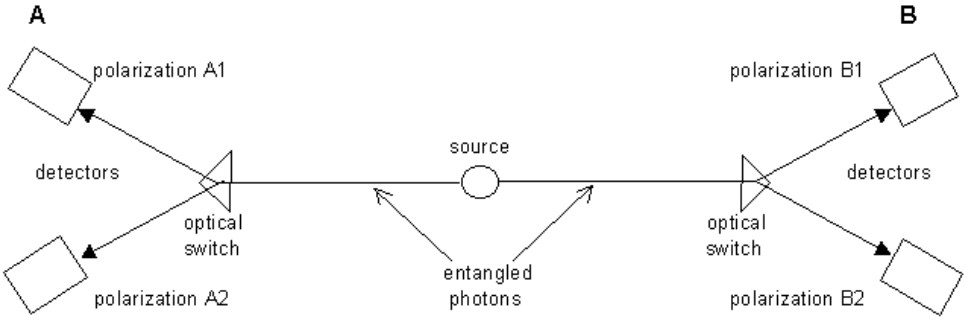


Figura II.13 – Experimento de Aspect (Disponível em < http://faculty.virginia.edu/consciousness/images/bell.gif>, acesso em Janeiro de 2013)

Ao utilizar seu aparelho, que permite medir simultaneamente todos os estados possíveis, fez-se a contagem de ocorrências de cada estado. Ao calcular a média de cada estado, e tentar verificar de acordo com a desigualdade de Bell, encontrou:

$$\left|E(ab) - E(ab') + E(a'b) + E(a'b')\right| = 2{,}70$$

Nesta expressão, os valores representados por "E(ab)" designam os produtos das medições instantâneas nas orientações A e B, divididas pelo número total de medições. Porém, a desigualdade de Bell não supõe que a orientação encontrada nos fótons detectados dependa dos aparelhos de medida, o que permite afirmar que independente do número de ocorrências a configuração encontrada nas detecções pode ser representada pela seguinte representação:

$$\left|E(ab) - E(ab') + E(a'b) + E(a'b')\right| \leq 2$$

A figura a seguir representa os possíveis casos de detecção, seja no aparelho A ou B.

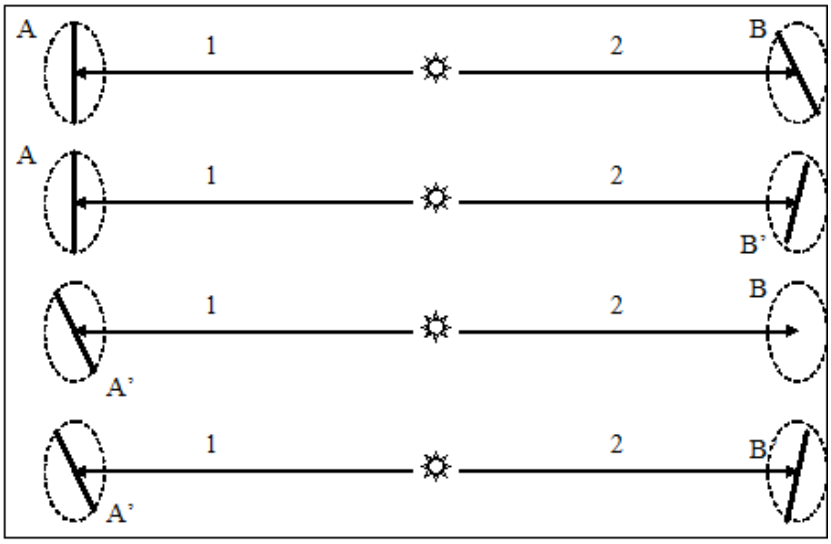


Figura II.14 – Possíveis configurações para a Desigualdade de Bell (Próprio autor)

Se o experimento proposto por Aspect encontrou um número diferente que represente as possíveis configurações encontradas pelo aparato, a mecânica clássica passa a sofrer um importante questionamento. Para que as orientações pudessem se organizar da forma relatada pelo experimento, seria necessário que o fótons utilizados possuíssem uma velocidade superior a velocidade da luz. Ou seja, existe um elemento presente no conjunto experimento-experimentador que modifica o estado encontrado nos detectores.

Desta forma, Aspect encontrou a violação necessária para validar a mecânica quântica e, como consequência, eliminou as teorias que contemplavam ações não-locais para velocidades inferiores a velocidade da luz (CHIBENI; 1994). Logo, o observador tem um papel fundamental

na determinação de um estado. Porém, tal afirmação irá levar a mecânica quântica a campos de conhecimento jamais imaginados por seus criadores.

Capítulo III – Coleta e discussão dos dados.

Neste capítulo, serão apresentados, separados por categorias, os dados coletados durante a leitura dos dois livros apresentados na metodologia. As análises pertinentes a cada obra serão realizadas após a apresentação de seus trechos. As categorias escolhidas para a classificação são:

1. *Realidade:* Os trechos classificados com este quesito remetem a descrições da realidade, seja por meio de uma visão mística, científica ou pessoal. Desta forma, serão encontrados os trechos onde se apresentam o contexto de aplicação para os princípios da Física Moderna e Contemporânea.
2. *Conceitual:* Para os trechos classificados dessa forma, o núcleo de sentido se baseia em uma explicação ou desenvolvimento conceitual de algum aspecto da mecânica quântica.
3. *Metodologia científica:* Nessa categoria, são encontrados os trechos onde a metodologia do trabalho científico é explorada. Ou seja, de que maneira a construção do fazer científico é apresentada no texto e quais sua implicações.

III.1 – O Tao da Física, de Fritjof Capra

III.1.1 Realidade

Trecho: 1

Página: 30

Categoria: realidade

“Para a maioria de nós é muito difícil estar a todo o momento consciente das limitações e da relatividade do conhecimento conceptual. Porque a nossa representação da realidade é muito mais fácil de alcançar que a própria realidade, tendemos a confundir as duas e tomar os nossos conceitos e símbolos pela realidade. Um dos principais objetivos do misticismo oriental é desembaraçar-nos desta confusão.”

Trecho: 2

Página: 43

Categoria: realidade

“O estudo do mundo dos átomos forçou os físicos a entender que a nossa linguagem vulgar não é apenas inexata, mas completamente inadequada para descrever a realidade atômica e subatômica. A teoria quântica e a teoria da relatividade, as duas bases da física moderna, tornaram claro que esta realidade transcende a lógica clássica e que não podemos falar acerca disso em linguagem comum.”

Trecho: 3

Página: 50

Categoria: realidade

“*A* visão do mundo que foi modificada pelas descobertas da física moderna era baseada no modelo mecânico do universo de Newton. Este modelo constituía a estrutura da física clássica. Era, com efeito, um espantoso apoio estrutural de toda a ciência, como uma rocha imbatível, fornecedora de uma base sólida para a filosofia natural durante quase três séculos.”

Trecho: 4

Página: 55

Categoria: realidade

“As primeiras três décadas do nosso século modificaram radicalmente todo o panorama na física. Dois desenvolvimentos diferentes — o da teoria da relatividade e o da física atômica—destruíram todos os principais conceitos da visão newtoniana do mundo: a noção de tempo e espaço absolutos, as partículas sólidas elementares, a natureza estritamente causal dos fenômenos físicos, e o ideal de uma descrição objetiva da natureza.”

Trecho: 5

Páginas: 60 e 61

Categoria: realidade

“A aparente contradição entre a imagem da partícula e da onda foi resolvida de um modo completamente inesperado que pôs em questão a própria base da visão mecânica do mundo o conceito da realidade da matéria ao nível subatómico, a matéria não existe com certeza em lugares exactos, mas antes mostra sinais de existir, os acontecimentos atómicos não ocorrem com segurança em tempos e de modos definidos, mas mostram «tendências para ocorrer».”

Trecho: 6

Página: 115

Categoria: realidade

“No misticismo oriental, este entrecho universal inclui sempre o observador humano e a sua consciência e isto é também verdade na física atômica. Ao nível atômico, os «objectos» podem ser entendidos apenas em termos da interacção entre os processos de preparação e medição. O fim desta cadeia de processos situa-se sempre na consciência do observador humano. As medições são interações que criam «sensações» na nossa consciência — por exemplo, a sensação visual de um clarão de luz, ou de um ponto negro numa chapa fotográfica — e as leis da física atômica dizem-nos com que probabilidade um objeto atômico causará uma determinada sensação se o deixarmos interatuar conosco. «A ciência natural», diz Heisenberg, «não apenas descreve e explica a natureza; é uma parte de uma ação recíproca entre a natureza e nós mesmos.»”

Trecho: 7

Página: 115

Categoria: realidade

“A exploração do mundo subatômico revelou uma realidade que repetidamente transcende a linguagem e a razão, e a unificação de conceitos, que até agora tinham parecido opostos e inconciliáveis, aparece como uma surpreendente característica desta nova realidade. Estes conceitos aparentemente inconciliáveis não são, geralmente, aqueles que concernem ao misticismo oriental — apesar de este ser, às vezes, o caso — mas a sua unificação num nível não usual da realidade estabelece um paralelos entre ambos. Os físicos modernos deveriam penetrar mais profundamente nalguns dos principais ensinamentos do Oriente longínquo e relacioná-lo com as experiências dos seus domínios.”

Trecho: 8

Página: 163

Categoria: realidade

“A física moderna vem assim revelar a matéria, não como passiva e inerte, mas, como um modo contínuo de vibração cujos padrões rítmicos são determinados pelas estruturas moleculares, atômicas e nucleares. É também desta forma que os místicos/orientais vêem o

mundo. Todos eles afirmam enfaticamente que o mundo deve ser observado de um ponto de vista dinâmico, quando se move, vibra e dança; a natureza não é um equilíbrio estático mas sim dinâmico."

Trecho: 9

Página: 175

Categoria: realidade

"No entanto, o sentido que os físicos dão à interpretação do mundo subatômico, em termos de campo quântico, é quase paralelo com o dos místicos orientais, que interpretam o seu sentir do mundo em termos da unidade última que lhe subjaz. No seguimento do surgimento do conceito de campo, os físicos tentaram unificar os vários campos num campo único e fundamental, que englobaria todos os fenômenos físicos. Einstein, em particular, dedicou os últimos anos da sua vida à procura de um tal campo. O *Brahman* dos hindus, tal como o *Dharmakaya* dos budistas, ou o *Tao* dos taoístas, pode ser visto, talvez, como esse campo último que enquadraria os fenômenos estudados em física bem como todos os outros."

Trecho: 10

Página: 237

Categoria: realidade

"Toma-se evidente que a visão do mundo dada pela hipótese da armadilha, na qual todos os fenômenos do universo são unicamente determinados pela sua mútua autoconsciência, aproxima-se muito da visão oriental do mundo. Um universo indivisível, no qual todas as coisas e acontecimentos estão inter--relacionados, pouco sentido faria, a menos que seja ele próprio autoconsistente. De certa forma, o requisito da autoconsistência, que forma a base da hipótese da armadilha. e a unidade e inter-relacionamento de todos os fenómenos, que é enfatizada pelo misticismo oriental, são apenas diferentes aspectos de uma mesma idéia."

Trecho: 11

Página: 238

Categoria: realidade

“É assim fácil discernir como uma tal perspectiva levou os pensadores chineses a uma ideia que apenas recentemente foi desenvolvida na física moderna — a autoconsistencia é essencial a todas as leis da natureza.”

Trecho: 12

Página: 238

Categoria: realidade

“Na perspectiva oriental, como na perspectiva da física moderna, tudo no universo está ligado a tudo o resto, e nenhuma parte é fundamental. As propriedades de qualquer uma das partículas são determinadas, não por uma lei fundamental, mas pelas propriedades de todas as outras partes. Tanto os físicos como os místicos compreenderam a impossibilidade de explicar completamente todos os fenômenos, mas as suas atitudes foram diferentes.”

Trecho: 13

Página: 247

Categoria: realidade

“Na física moderna, a questão da consciência surgiu em conexão com a observação dos fenômenos atómicos. A teoria quântica tomou claro que estes fenômenos apenas podem ser compreendidos como elos numa cadeia de processos, cujo fim se situa na consciência do observador humano.”

Trecho: 14

Página: 247

Categoria: realidade

“A compreensão da nossa consciência, e a sua relação com o resto do universo, é o ponto de partida de todo o sentir místico. Os místicos orientais exploraram, através dos séculos, vários estados de consciência, e as conclusões a que chegaram são, de uma forma geral, radicalmente diferentes das do Ocidente. Se os físicos desejam real mente incluir a natureza da consciência humana nos domínios da sua pesquisa, unir estudo das idéias orientais pode muito bem fornecer-lhes novos e estimulantes, pontos de vista.”

III.1.2 Conceitual

Trecho: 1

Página: 21

Categoria: conceitual

“O conceito de matéria na física subatômica, por exemplo, é totalmente diferente da ideia tradicional de uma substância material na física clássica. O mesmo é válido para conceitos como espaço, tempo ou causa e efeito. Estes conceitos são, no entanto, fundamentais para a perspectivação do mundo à nossa volta, e, com a sua radical transformação, toda a nossa visão do mundo começou a mudar.”

Trecho: 2

Página: 44

Categoria: conceitual

“Por outro lado, a radiação electromagnética também produz o denominado efeito fotoeléctrico: quando a luz ultravioleta incide na superfície de alguns metais pode «expulsar» electrões da superfície do metal, e portanto deve ser constituído por particulas móveis. Uma situação semelhante ocorre nas experiências de «dispersão» de raios X. Estas experiências só podem ser correctamente interpretadas se forem descritas como colisões de «partículas de luz» com electrões.”

Trecho: 3

Página: 49

Categoria: conceitual

“As descobertas da física moderna necessitavam de mudanças profundas de conceitos como espaço, tempo, matéria, objecto, causa e efeito, etc, e sendo estes conceitos tão necessários à nossa maneira de sentir o mundo, não é surpreendente que os físicos, que foram obrigados a alterá-los, sentissem como que um impacte.”

Trecho: 4

Página: 49

Categoria: conceitual

“As descobertas da física moderna necessitavam de mudanças profundas de conceitos como espaço, tempo, matéria, objecto, causa e efeito, etc, e sendo estes conceitos tão necessários à nossa maneira de sentir o mundo, não é surpreendente que os físicos, que foram obrigados a alterá-los, sentissem como que um impacte.”

Trecho: 5

Página: 60

Categoria: conceitual

“Todo o desenvolvimento começou quando Max Planck descobriu que a energia irradiada por um corpo quente não era emitida continuamente, mas antes sob a forma de «pacotes de energia». Einstein designou estes pacotes de energia por «quanta» e reconheceu-os como o aspecto fundamental da natureza.”

Trecho: 6

Página: 61

Categoria: conceitual

“No formalismo da teoria quântica, estas tendências são expressas como probabilidades, e são associadas com quantidades matemáticas que tomam a forma de ondas. Esta é a razão de as partículas poderem ser ondas ao mesmo tempo. Não são «autênticas» ondas tridimensionais, como o som ou ondas de água. São «ondas de probabilidade», quantidades matemáticas abstractas com todas as propriedades características das ondas, que estão relacionadas com as probabilidades de encontrar as partículas em pontos particulares do espaço; é em instantes determinados.”

Trecho: 7

Página: 71

Categoria: conceitual

“Na física moderna, o universo é assim visto como um todo dinâmico e ' inseparável que inclui sempre o observador de um modo essencial. Nesta perspectiva, os conceitos tradicionais

de espaço e tempo, de objectos isolados e de causa e efeito, perdem o seu significado. Uma tal perspectiva, no entanto, é muito parecida com a dos místicos orientais."

Trecho: 8

Página: 109

Categoria: conceitual

"O ponto de partida da interpretação de Copenhaga é a divisão do mundo físico num sistema observado («objecto») e num sistema observador. O sistema observado pode ser um átomo ou uma partícula subatômica, um processo atômico, etc. O sistema observador consiste numa montagem experimental e incluirá um ou mais observadores humanos. Surge agora uma séria dificuldade do facto de os dois sistemas serem tratados de forma diferente. O sistema observador é descrito em termos de física clássica, mas estes não podem ser usados consistentemente para a descrição do «objecto» observado."

Trecho: 9

Página: 117

Categoria: conceitual

"A física moderna, naturalmente, apresenta uma estrutura muito diferente e não alcança ainda tão fundo na experiência da unicidade das coisas. Mas deu um grande passo, com a teoria atômica, na direção da visão do mundo segundo a mística oriental. A teoria quântica aboliu a noção de objetos fundamentalmente separados e introduziu o conceito de participador, que vem substituir o de observador; virá talvez a achar necessário incluir a consciência humana na sua descrição do mundo."

Trecho: 10

Página: 115

Categoria: conceitual

"Exemplos de unificação dos opostos na física moderna podem ser encontrados ao nível subatômico, onde as partículas são ao mesmo tempo destrutíveis e indestrutíveis; onde a matéria é simultaneamente contínua e descontínua, energia e matéria são dois aspectos de um mesmo fenômeno.

Trecho: 11

Página: 125

Categoria: conceitual

“Em todos estes aspectos, que serão discutidos em pormenor em capítulos subsequentes, nota-se que o conjunto dos conceitos opostos, encontrados na nossa experiência do dia-a-dia, é demasiado limitado para o mundo das partículas subatômicas. A teoria da relatividade é crucial para a descrição deste mundo, e na estrutura relativista os conceitos clássicos são transcendidos ao entrar-se num novo campo, o espaço-tempo, um mundo a quatro dimensões. Espaço e tempo são dois conceitos que parecem completamente diferentes, mas que são unificados na física relativista. Esta unidade fundamental é a base para a unificação dos conceitos acima mencionados.”

Trecho: 12

Página: 125

Categoria: conceitual

“Ao nível atômico, a matéria exibe um aspecto dual: surge como partículas ou como ondas. O aspecto que aparenta depende da situação. Em algumas situações o aspecto corpuscular é dominante, noutros as partículas comportam-se mais como ondas; e esta dualidade é também expressa na luz e em toda a radiação eletromagnética. A luz, por exemplo, é emitida e absorvida na forma de «quanta», ou fotões, mas quando estas partículas atravessam o espaço, surgem como campos eléctricos e magnéticos que exibem um comportamento característico de ondas. Os electrões são normalmente considerados como sendo partículas, mas quando um feixe de electrões é forçado a passar através de uma fenda bastante estreita, difrata-se, tal como acontece a um feixe de luz; por outras palavras, o comportamento dos eletrões é, neste caso, ondulatório.”

Trecho: 13

Página: 129

Categoria: conceitual

“Energia e matéria, ondas e partículas, movimento e repouso, existência e não existência — estes são alguns dos conceitos opostos, ou contraditórios, que são transcendidos na física moderna. De todos estes pares, o último parece ser o fundamental, e no entanto, em

física atômica, temos de alcançar ainda mais longe do que os conceitos de existência e não existência. Esta é a característica da teoria quântica mais difícil de ser aceite e que se situa no centro da contínua discussão acerca da sua interpretação. Simultaneamente, o transcender dos conceitos de existência e não existência é também um dos aspectos mais intrigantes do misticismo oriental."

Trecho: 14

Página: 133

Categoria: conceitual

"A importância fundamental do princípio de incerteza é que expressa numa forma matemática precisa as limitações dos nossos conceitos clássicos. Tal como já foi afirmado anteriormente, o mundo subatômico surge como uma teia de relações entre várias partes de um todo unificado. As nossas noções clássicas, oriundas do nosso sentir macroscópico, não se mostram totalmente adequadas para descrever este mundo."

Trecho: 15

Página: 134

Categoria: conceitual

"A noção de complementaridade tomou-se uma parte essencial do modo de pensamento dos físicos acerca da natureza, e Bohr sugeriu que tal aspecto pode também ser útil fora do campo da física; de facto, esta noção demonstrou ser extremamente útil há cerca de 2500 anos; exerceu um papel importante no antigo modo de pensar chinês, que se baseava no facto de conceitos opostos se situarem em pontos extremos — ou complementares. Os sábios chineses representaram esta complementaridade de opostos pelos arquétipos *yin* e *yang,* e viram a sua inter-relação como a essência de todos os fenômenos naturais e de todas as situações humanas."

Trecho: 16

Página: 172

Categoria: conceitual

"A visão clássica do mundo, mecanicista, baseava-se na noção de partículas sólidas e indestrutíveis movendo-se no vácuo. A física moderna veio alterar radicalmente esta imagem.

Originou não só uma noção completamente nova de «partículas» como também transformou, de uma maneira profunda, o conceito clássico de vácuo.”

Trecho: 17

Página: 174

Categoria: conceitual

“A característica mais relevante da eletrodinâmica quântica surge da combinação de dois conceitos: o de campo eletromagnético e o dos fotões como manifestação, sob a forma de partículas, das ondas eletromagnéticas. Como os fotões são também ondas eletromagnéticas, e como estas ondas são campos vibrantes, os fotões devem ser manifestações dos campos eletromagnéticos. Daí a noção de um «campo quântico», isto é, um campo que pode assumir a forma de quanta, ou partículas.”

III.1.3 Metodologia Científica

Trecho: 1

Página: 32

Categoria: metodologia científica

“Em física, o conhecimento é obtido pelo processo de investigação científica, que pode ser encarado em três fases. A primeira fase consiste em reunir dados experimentais acerca do fenômeno a ser investigado. Na segunda fase, os dados experimentais são relacionados com símbolos matemáticos e é elaborado um esquema matemático que inter-relaciona estes símbolos de uma maneira precisa e consistente. Tal esquema é normalmente designado por modelo matemático ou, se é mais inteligível, uma teoria. Esta teoria é então usada para prever os resultados de experiências posteriores levadas a cabo para verificar todas as suas implicações. Nesta fase, os físicos podem ficar satisfeitos quando encontrarem um esquema matemático e souberem como usá-lo para antecipar experiências.”

Trecho: 2

Página: 36

Categoria: metodologia científica

“Os físicos realizam experiências envolvendo um elaborado trabalho de equipe e uma tecnologia altamente sofisticada, ao passo que os místicos obtêm o seu conhecimento unicamente pela introspecção, sem quaisquer máquinas, na privacidade da meditação. As experiências científicas, além do mais, parecem ser produzíveis em qualquer momento e por qualquer pessoa, ao passo que as práticas místicas parecem estar reservadas a alguns indivíduos em ocasiões especiais. Um exame mais atento revela, não obstante, que as diferenças entre os dois tipos de observação se encontram apenas na sua aproximação, e não na sua íntima idiossincrasia ou complexidade.”

Trecho: 3

Página: 236

Categoria: metodologia científica

“Na física moderna surge uma atitude completamente diferente. Os físicos começaram a perceber-se que todas as suas teorias dos fenómenos naturais, incluindo as leis que eles descrevem, são criações da mente humana, propriedade do nosso mapa conceitual da realidade, em vez da própria realidade. Este esquema conceptual é, necessariamente, limitado e aproximado, tal como o são todas as teorias científicas e as «leis da natureza» que contêm”.

Trecho: 4

Página: 236

Categoria: metodologia científica

“O sucesso atribuído à ciência advém do fato de se poderem fazer aproximações. Se se admite um «conhecimento» aproximado da natureza, podem descrever-se grupos seleccionados de fenómenos desta forma, negligenciando outros que sejam menos relevantes. Podem assim explicar-se muitos fenômenos em termos de poucos e, consequentemente, compreender muitos aspectos da natureza de uma forma aproximada, sem ter de se conhecer tudo de uma vez. É este o método científico: todos os modelos e teorias científicas são aproximações da verdadeira natureza das coisas, mas o erro envolvido neste procedimento é por vezes muito pequeno para que lhe posso atribuir significado”.

Trecho: 5

Página: 236

Categoria: metodologia científica

“Assim, os físicos constroem uma sequência de teorias parciais e aproximadas, cada uma delas mais precisa que a anterior, mas não representando nenhuma delas uma imagem completa e final do fenômeno natural. Tal como estas teorias, todas as «leis da natureza» que descrevem são mutáveis, destinadas a ser substituídas por leis mais precisas à medida que as teorias são melhoradas. O carácter incompleto de uma teoria reflecte-se, usualmente, nos seus parâmetros arbitrários ou «constantes fundamentais», isto é, em quantidades cujos valores numéricos não são explicados pela teoria, mas que nela necessitam de ser incorporados após terem sido determinados empiricamente”.

Trecho: 6

Página: 247

Categoria: conceitual

“A formulação pragmática da teoria quântica, usada pelos cientistas no seu trabalho, não refere, explicitamente, a consciência. Wigner, e outros cientistas, argumentaram, no entanto, que a sua inclusão explícita pode ser um aspecto essencial nas futuras teorias da matéria.”

III.2 – O Ser Quântico, de Danah Zohar

III.2.1 Realidade

Trecho: 1

Página: 7

Categoria: realidade

“Várias descrições de excelente qualidade a respeito da física quântica foram publicadas para leigos nos últimos anos. Este livro não pretende ser mais uma delas. Em vez de se referir à física quântica em si, ele é mais um livro sobre como o conhecimento da nova física poderá iluminar nossa compreensão da vida diária, ajudar-nos a entender melhor nosso relacionamento com nós mesmos, com os outros e com o mundo como um todo.”

Trecho: 2

Página: 7

Categoria: realidade

“Para desenvolver este tema, estarei examinando bem de perto o relacionamento entre matéria e consciência dentro da teoria quântica, assim como propondo uma nova teoria mecânico-quântica da consciência que promete nos trazer de volta a uma associação com o universo.”

Trecho: 3

Página: 14

Categoria: realidade

“Tudo da realidade é e continua sendo uma questão de probabilidades. Um elétron *pode* ser uma partícula, *pode* ser uma onda, *pode* estar nesta órbita, *pode* estar naquela — de fato, *tudo* pode acontecer.”

Trecho: 4

Página: 20

Categoria: realidade

“Uma visão da realidade que aceita o movimento instantâneo a distância ou a não localidade, como é mais adequadamente chamada (princípio que diz que algo pode ser afetado mesmo na ausência de uma causa local), tem uma coloração obviamente mística. Na verdade, ela afronta violentamente o bom senso e a física clássica. Ambos repousam no princípio intuitivo de que, em algum nível, a realidade é composta de componentes básicos, indivisíveis, inerentemente distintos entre si e que qualquer efeito experimentado por uma parte tem uma causa que a explique em outra parte.”

Trecho: 5

Página: 29

Categoria: realidade

“Na física quântica esta dependência do *ser* de uma coisa em relação a seu ambiente geral é chamada "contextualismo", e suas implicações são muitas, tanto para nosso conceito de realidade quanto para nosso entendimento sobre nós mesmos como parceiros nesta realidade. Este contextualismo é uma das razões centrais de minha afirmação de que a teoria quântica deverá finalmente contribuir para uma nova visão de mundo, com suas próprias e distintas dimensões epistemológicas, morais e espirituais.”

Trecho: 6

Página: 30

Categoria: realidade

“A própria teoria quântica predominante encerra os perigos de tal subjetivismo (para citar a lição de Heisenberg: "Assim evaporou-se o conceito de uma realidade objetiva..."), mas Capra leva a coisa mais longe, introduzindo as noções de "valor" e de "estado de espírito". Este é um pensar perigoso e, ainda pior, é física de má qualidade.”

Trecho: 7

Página: 31

Categoria: realidade

“No entanto, a consciência que se tornou questão de interesse dos físicos talvez seja mais do que somente a humana. Ao considerar a triste condição do gato de Schrödinger, por que não levar em conta como seu estranho estado parece ser ou é de fato afetado pela consciência do gato em si? Ou pela da pulga sentada em sua orelha? Ou, embora possa parecer afrontoso, pela da partícula radioativa que determina se ele vive ou morre?”

Trecho: 8

Página: 52

Categoria: realidade

“Na época em que Bohm primeiro descreveu as analogias entre processo de pensamento e eventos quânticos, teria sido impossível ir mais além. Nem a neurobiologia nem a física quântica estavam suficientemente desenvolvidas a ponto de ver como qualquer aspecto de uma poderia ser facilmente explicado em relação à outra.”

Trecho: 9

Página: 70

Categoria: realidade

“O interessante de se ver a consciência dessa forma é que ela nos diz algo importante sobre o lugar do homem no esquema geral das coisas. O relacionamento entre esses aspectos onda correlatos no cérebro humano e o dos aspectos onda correlatos de dois prótons ou elétrons num simples sistema quântico é, em princípio, os mesmos.”

Trecho: 10

Página: 70

Categoria: realidade

“Portanto, compreendendo a natureza mecânico-quântica da consciência humana — vendo a consciência como um fenômeno de onda quântico —, poderemos traçar a origem de nossa vida mental até suas raízes na física das partículas, como sempre foi possível quando procurávamos a origem de nosso ser físico.”

Trecho: 11

Página: 70

Categoria: realidade

“Interpretando a consciência dessa forma, como um tipo especial de relacionamento criativo possibilitado pela mecânica ondulatória quântica, muitas coisas entram no lugar, oferecendo melhor compreensão tanto da consciência em si como de seu relacionamento com a matéria, como acontece em nosso cérebro.”

Trecho: 12

Página: 77

Categoria: realidade

“Quero argumentar, porém, no sentido de que, procurando com muito afinco os paralelos entre a moderna física e o misticismo oriental, distorcemos nossa percepção da matéria, assim como aproximar-se demais de uma visão budista da identidade pessoal distorce nossa percepção do ser.”

Trecho: 12

Página: 79

Categoria: realidade

“Reconhecemos esses padrões quânticos em nós mesmos, o que não é de espantar. Se a base física da consciência humana é um sistema mecânico-quântico no cérebro (nosso condensado de Bose-Einstein), seria de esperar que haja paralelos entre a natureza composta dos sistemas de partículas e a natureza similarmente composta da personalidade humana. A dinâmica de uma e de outra é a mesma.”

Trecho: 13

Página: 82

Categoria: realidade

“Os elétrons, ou qualquer outra partícula elementar, são coisas extremamente simples. Possuem poucas características pelas quais se pode distingui-los e, mais importante de tudo, não têm memória. Por isso não desfrutam de uma história.”

Trecho: 14
Página: 92-93
Categoria: realidade

"Para transcender essa tensão entre o eu e o não-eu é preciso fundamentar a realidade do "nós" numa nova estrutura conceituai que dê igual peso aos indivíduos e seus relacionamentos, uma estrutura fundada na física da consciência. Precisamos ver, fisicamente, como é que o "nós" pode ser um composto de "eu" e "você" e também uma coisa nova em si com qualidades próprias. Indivíduos assim compostos não são possíveis na física clássica, mas sabemos que são a norma na física quântica.”

Trecho: 15
Página: 118
Categoria: realidade

“Todos os sistemas quânticos do Universo, inclusive nós mesmos, estão entrelaçados (correlacionados e enredados) em alguma medida. Mesmo o vácuo quântico está repleto de correlações. Tal entrelaçamento básico é a essência da realidade quântica. Mas esses mesmos sistemas também têm potencial para mais entrelaçamentos, para mais e mais profundos relacionamentos, e esse potencial é um aspecto importante de uma psicologia baseada na natureza quântica da pessoa. Ele a dinamiza.”

Trecho: 16
Página: 127
Categoria: realidade

“Somente com um modelo quântico de pessoa, no qual a condição de ser um "eu" surge de um estado quântico coerente, unificador no cérebro, é que pode haver um "eu" central único que comete ou deixa de cometer erros. Isso porque o condensado de Bose-Einstein, que é a base física da consciência, gera um campo elétrico que se estende por uma ampla região e quaisquer padrões (pensamentos, impulsos) no condensado terão uma ação correlata em muitos neurônios do cérebro, influenciando simultaneamente seus potenciais de disparo e fazendo-os agir como se fossem um só.”

Trecho: 17
Página: 146

Categoria: realidade

“Tal capacidade do ser quântico de colher a realidade a partir das múltiplas possibilidades, de fazer mundos experimentais, alguns dos quais são os anteriores melhorados, e nossa habilidade em articular (pela reflexão) o que os fez assim é o que liga essencialmente nossa liberdade à nossa criatividade.”

Trecho: 18

Página: 154

Categoria: realidade

“Os sistemas quânticos são como poemas, sempre prenhes de tantos significados não realizados, sempre pedindo uma evocação, uma interpretação. O gato de Schrödinger tanto está vivo como morto, e é esta dualidade que lhe empresta uma personalidade tão cativante. Meus pensamentos podem assumir ora uma forma, ora outra, fazer uma associação assim ou assado, e é esta qualidade livre, mutável, que nos faz criativos. Da mesma forma, o mundo que eu crio à minha volta e os objetos incluídos nele, se puderem evoluir naturalmente, expressarão essa qualidade poética, e aqueles que foram projetados para mim parecerão "bonitos" somente na medida em que refletirem isso”.

III.2.2 Conceitual

Trecho: 1

Página: 9

Categoria: conceitual

“Mas, ironicamente, enquanto a cosmovisão newtoniana ainda domina nossas vidas e pensamentos, todo e qualquer entusiasmo pela física de Newton em si já morreu há tempos. Ela ainda é a física que move dínamos, que leva o homem à Lua, porém já não está na vanguarda do pensamento físico criativo. Nem sequer é ensinada nos cursos básicos das universidades mais avançadas, pois a consideram adequada somente a níveis mais elementares do ensino da ciência. Em seu lugar, temos a "nova física", a teoria da relatividade de Einstein e a mecânica quântica, ambas tendo mudado radicalmente o modo de se fazer física.”

Trecho: 2

Página: 9

Categoria: conceitual

“O princípio da incerteza que governa o comportamento dos elétrons desempenha um papel na estrutura dos acidentes genéticos que contribuem para o processo de envelhecimento e para a evolução de certos tipos de câncer, sendo que o próprio processo evolutivo talvez seja afetado de maneira semelhante.”

Trecho: 3

Página: 10

Categoria: conceitual

“Essa posição "anti-realista", que ficou conhecida como a Interpretação Copenhagen da teoria quântica por causa do físico dinamarquês Niels Bohr, seu grande defensor, está influenciada pela natureza bizarra e indeterminada dos eventos no nível quântico, onde nada em particular pode ser declarado existente em um local determinado e tudo flutua num mar de possibilidades. Isso levou a conversas absurdas entre os físicos quânticos e seus seguidores filosóficos, incluindo-se aí a negação de uma realidade no nível subatômico ou mesmo, em alguns casos, a negação da existência de *qualquer* realidade.”

Trecho: 8

Página: 13

Categoria: conceitual

“A mais revolucionária e, para nossos fins, a mais importante afirmação que a física quântica faz acerca da natureza da matéria, e talvez do próprio ser, provém de sua descrição da dualidade onda—partícula — a afirmativa de que todo ser, no nível subatômico, pode ser igualmente bem descrito como partículas sólidas, como um certo número de minúsculas bolas de bilhar, ou como ondas, como as ondulações na superfície do oceano.”

Trecho: 9

Página: 13

Categoria: conceitual

“É a própria dualidade o aspecto mais básico. A "substância" quântica é, essencialmente, *ambos:* o aspecto onda e o aspecto partícula simultaneamente.”

Trecho: 10

Página: 14

Categoria: conceitual

“Da mesma forma, a maioria dos elétrons e outras entidades subatômicas não são *nem* totalmente partículas *nem* totalmente ondas, mas, antes, uma confusa espécie de mistura das duas conhecida como "pacote de onda", e é aqui que a dualidade onda— partícula e o mistério quântico se revelam plenamente. Embora possamos medir propriedades das ondas e propriedades das partículas, as propriedades exatas da *dualidade* sempre escapam a qualquer medição.”

Trecho: 11

Página: 15

Categoria: conceitual

“Os partidários de Einstein argumentam que o indeterminismo essencial exigido pela mecânica quântica repousa não na própria realidade, mas antes deriva do fato de que a teoria quântica em si não está completa, ou seja, da nossa inabilidade em estudar a natureza sem perturbá-la.”

Trecho: 12

Página: 16

Categoria: conceitual

“Em níveis de energia suficientemente elevados, partículas podem surgir de um fundo de pura energia (ondas), existir por um tempo ínfimo e então dissolver-se novamente para formar outras partículas ou voltar àquele profundo oceano de energia — como os pequenos rastros de vapor vistos numa simples câmara de Wilson, que aparentemente surgem do nada, atravessam um pequeno espaço na neblina e então desaparecem novamente. Algumas das propriedades dessas partículas individuais transitórias são conservadas — sua massa, carga e spin (movimento angular intrínseco) —, porém, para o número e tipo da população de uma nação ou a construção e declínio de suas cidades e prédios distintos, tal constância se restringe ao balanço geral do sistema como um todo.”

Trecho: 13

Página: 16

Categoria: conceitual

“O átomo de Bohr original, atualmente um tanto obsoleto, mas ainda útil para demonstrar o efeito dos saltos quânticos, se assemelhava a um minúsculo sistema solar. Ele tinha um núcleo comparativamente grande no centro, fazendo o papel do Sol, e vários elétrons o circundavam, cada qual em sua órbita individual — cada órbita representando um determinado estado de energia que o elétron pode ocupar. No final das contas não havia nenhuma regra ou razão para um átomo pular de uma órbita a outra, ou para o tamanho do salto que ele daria.”

Trecho: 14

Página: 17

Categoria: conceitual

“Quando um elétron faz uma transição de um estado de energia a outro dentro do átomo, vimos que ele o faz de forma completamente espontânea e aleatória. Subitamente, sem aviso prévio e certamente sem "causa", um átomo antes "quieto" poderá experimentar o caos em suas camadas de energia eletrônica. Tudo depende muito de sorte.”

Trecho: 15

Página: 18

Categoria: conceitual

“Quando um elétron, a pretexto de uma onda de probabilidade, pretende mudar de uma órbita para outra, ele primeiro se comporta como se estivesse "espalhado por uma ampla região do espaço", revelando uma espécie de onipresença sobrenatural em muitas órbitas. Ele lança "sensores" temporários na direção de. sua futura estabilidade, experimentando — de uma vez só — todas as novas órbitas possíveis nas quais poderá futuramente assentar-se, algo bem parecido conosco quando experimentamos uma idéia nova, criando cenários imaginários nos quais vemos suas inúmeras possíveis conseqüências.”

Trecho: 16

Página: 20

Categoria: conceitual

“Foi Einstein quem primeiro demonstrou que as equações da teoria quântica prediziam a necessidade de não-localidade instantânea. Para ele, isto era impossível ("fantasmagórico e

absurdo", como disse) e jamais sentiu-se à vontade com as implicações metafísicas mais amplas da física quântica.”

Trecho: 17

Página: 22

Categoria: conceitual

“Em que medida existem influências não-locais correlatas entre dois corpos ou eventos aparentemente distintos é algo que depende da medida em que um sistema esteja num estado de "partícula" ou de "onda". As partículas comportam-se mais como indivíduos e são menos correlatas; as ondas apresentam um padrão de comportamento correlato mais do tipo grupal.”

Trecho: 18

Página: 22

Categoria: conceitual

“A existência de correlações quânticas não-locais abalou o mundo da física e é um dos principais fatores que impossibilitaram os físicos quânticos de dizer o que significa sua teoria.“

Trecho: 19

Página: 24

Categoria: conceitual

“Assim, apesar do testemunho de nossos próprios olhos, a teoria quântica nos diz que o gato está — e sempre estará — tanto vivo como morto. Compreensivelmente, este paradoxo foi apelidado "o problema da observação", porque desafia nossas observações fundadas no bom senso e porque ressalta o papel intrigante da observação (e do observador) na formação da realidade.”

Trecho: 20

Página: 26

Categoria: conceitual

“Segundo esta visão, proposta principalmente pelos físicos quânticos John Archibald Wheeler e Eugene Wigner, a consciência humana é o elo perdido entre o bizarro mundo dos elétrons e a realidade do cotidiano.”

Trecho: 21

Página: 28

Categoria: conceitual

“Um fóton, por exemplo, tem ambas as possibilidades: de posição (com sua natureza partícula) e de *momentum* (com sua natureza onda). Um físico poderá armar seu experimento para medir, e portanto determinar, qualquer uma delas — embora ao determinar uma delas ele perderá a outra (princípio da incerteza de Heisenberg).” P28

Trecho: 22

Página: 51

Categoria: conceitual

“Como os elétrons governados pelo princípio da incerteza de Heisenberg, que nunca são os mesmos depois de terem sido observados (medidos), um pensamento que foi ressaltado pela atenção é diferente do vago devaneio que o precedeu. Podemos dizer que o pensamento focalizado tem "posição", como o aspecto partícula da natureza dual de um elétron, enquanto o vago devanear tinha "momento", como o aspecto onda. Nunca conseguimos experimentar (medir) ambos simultaneamente.”

Trecho: 23

Página: 67

Categoria: conceitual

“Existência e relacionamento são um só emaranhado na esfera quântica, como na vida diária. São os dois lados da moeda quântica e são basicamente o que queremos dizer com a dualidade onda—partícula. Assim como a mente e o corpo são os dois lados da existência humana, aquele alerta, ou percepção de fundo não focalizado, e o pensamento concentrado são os dois lados de nossa vida mental.”

Trecho: 23

Página: 68

Categoria: conceitual

“Em qualquer sistema quântico de duas ou mais partículas, cada partícula tem igualmente "capacidade de ser" e "capacidade de se relacionar", a primeira devido a seu aspecto partícula, a segunda devido ao aspecto onda. Por força do aspecto onda e das coisas

que ele permite que ocorram é que os sistemas quânticos apresentam uma espécie de relacionamento íntimo, definitivo entre seus membros constitutivos que não existe nos sistemas clássicos.”

Trecho: 24
Página: 72
Categoria: conceitual

“Na verdade, no mundo da natureza, as partículas se apresentam em dois tipos básicos, férmions e bósons. Os férmions, partículas que se combinam para nos dar a matéria (elétrons, pró-tons e nêutrons), são essencialmente anti-sociais. Suas funções de onda podem se sobrepor um pouco, mas nunca inteiramente. Elas são sempre individuais em alguma medida.”

Trecho: 25
Página: 73
Categoria: conceitual

“É porque os férmions não conseguem entrar no mesmo estado (compartilhar identidades) que a matéria pode ser sólida. A solidez da matéria depende da insociabilidade. Por outro lado, é porque os bósons conseguem entrar no mesmo estado que temos ondas e forças de grande escala. Mas não há uma demarcação nítida e nas circunstâncias certas mesmo o férmion mais ferrenhamente individualista pode ser levado a um relacionamento mais profundo. Nenhum recluso está completamente a salvo das tentações da sociedade.”

Trecho: 26
Página: 93
Categoria: conceitual

“O aspecto partícula da matéria quântica dá origem aos indivíduos, a coisas que, de alguma forma, podem ser apontadas e às quais se pode atribuir uma identidade, mesmo que brevemente. O aspecto onda dá origem aos relacionamentos entre esses indivíduos por meio do entrelaçamento das funções de onda de seus componentes. Em virtude do fato de as funções de onda serem capazes de se entrelaçarem, os sistemas quânticos podem "entrar" uns nos outros formando um relacionamento interno criativo de um modo impossível para as bolas de bilhar newtonianas.”

Trecho: 27
Página: 127-128
Categoria: conceitual

“A base física para a liberdade em qualquer sistema quântico é a indeterminação quântica, o fato de que funções de ondas quânticas não podem ser apontadas com precisão — como o gato de Schrödinger, que não está vivo nem morto porque, como gato quântico, está simultaneamente vivo e morto. Isto é, ele tem a responsabilidade conjunta de se tornar um dos dois, mas qual das duas possibilidades se realizará é algo totalmente indeterminado. Não há nenhuma lei clássica arrumadinha que me diga que olhando de um jeito para ele o matarei e olhando de outro jeito o salvarei. Tais resultados são estritamente questão de probabilidade.”

Trecho: 28

Página: 132

Categoria: conceitual

“Nos processos quânticos, a probabilidade de que algo aconteça está associada à quantidade de energia exigida para fazê-lo acontecer. Se um elétron pode se transferir para uma camada de energia no átomo com muito pouco dispêndio de energia, e para um outro nível com grande dispêndio de energia, há muito maior probabilidade de que ele faça a transição de baixa energia. Ele é livre para fazer qualquer transição, nada é determinado, mas é muito provável que ele escolha a opção mais fácil. E assim ocorre também conosco, embora por sermos muito mais complexos que os elétrons, os fatores que influenciam as exigências energéticas de nossas várias escolhas também são mais complexos.”

III.2.3 Metodologia científica

Trecho: 1

Página: 10

Categoria: metodologia científica

“A teoria quântica é teoria física de maior sucesso até hoje. Ela pode prever corretamente resultados experimentais com um acerto de várias casas decimais. No entanto, sua inabilidade em explicar, quer as predições, quer os resultados, significa que nenhum quadro novo, uno da realidade, emergiu de todas as equações geradas, e menos ainda uma nova visão de mundo na qual as descobertas da física quântica se enraízem para instigar a imaginação das pessoas comuns.”

Trecho: 2

Página: 12

Categoria: metodologia científica

“A nova física é tão nova que os próprios físicos quânticos ainda não se entenderam inteiramente a respeito das mudanças conceituais que ela determina, refugiando-se na linguagem menos exigente das matemáticas. Mas é justamente aí, no cunhar de uma nova estrutura conceitual para a nova física, que está o verdadeiro desafio cultural da ciência moderna.”

Trecho: 3

Página: 23

Categoria: metodologia científica

“Dentro da caixa opaca, Schrödinger arquitetou um experimento macabro. Ele colocou um pedacinho de material radioativo lá dentro, sendo que este material radioativo (para facilitar a metáfora) tem uma chance de 50% de emitir uma partícula de decaimento para baixo. Se a partícula for para cima ela encontra um detector de partículas que, por sua vez, aciona uma alavanca que libera um veneno letal para dentro do prato de comida do gato. O gato come e morre. De forma semelhante, se a partícula for para baixo é acionada uma alavanca que libera alimento e o gato sobrevive para enfrentar outra experiência.”

Trecho: 4

Página: 62

Categoria: metodologia científica

“Além disso, qualquer modelo mecânico-quântico é necessariamente um modelo físico e, portanto, presume que os fenômenos da consciência (atenção, percepção, pensamento, memória etc.), juntamente com os da física, química e biologia, pertencem à ordem da natureza e podem ser experimentalmente investigados.”

III.3 – O Misticismo Quântico de Fritjof Capra

Para construir uma análise em torno do discurso de Fritjof Capra, é importante demarcar em quais dimensões a discussão está sendo realizada. Deste modo, é interessante distribuir as ocorrências de classificações através do seguinte gráfico:

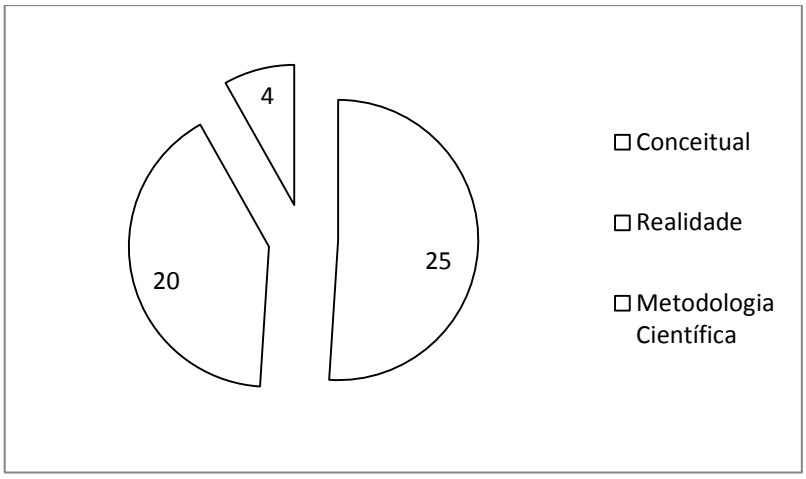


Figura III.1 – Gráfico de distribuição das categorias encontradas

Em uma primeira observação, torna-se visível a predominância das categorias “Conceitual” e “Realidade”. O que é condizente com a proposta original apresentada pelo autor na introdução de seu livro:

> “*Quando descobri o paralelo entre a visão do mundo dos físicos e dos místicos, sugerida anteriormente mas nunca profundamente explorada, tive a nítida sensação de que estava meramente a aclarar o que era óbvio e seria dado adquirido no futuro; por vezes, durante a escrita de* O Tao da Física, *cheguei a sentir que estava a fazê-lo através de mim, mais do que por mim*.” (CAPRA; 1989 p. 16)

Estabelecer um paralelo entre o conhecimento científico e a visão de mundo trazida pelas religiões orientais é um caminho perigoso para se construir uma obra de divulgação científica. Mas para que a análise seja feita função de suas categorias, cada discussão será realizada separadamente.

III.3.1 - Conceitual

Com 18 ocorrências, a categoria conceitual foi a mais encontrada na análise em função de seus núcleos de sentido. Porém, os conceitos físicos apresentados no corpo de seu texto muitas vezes são coerentes. Comparando com a construção teórica realizada no capítulo anterior, é interessante notar que a discussão *conceitual* trazida por Capra apresenta corretamente uma provável participação do papel da consciência humana, uma das soluções encontradas para o *Problema da Medição*, na microfísica. O mesmo para os princípios fundamentais da Mecânica Quântica, tais como o *Princípio da Incerteza* e o *Princípio da Complementariedade.*

III.3.2 – Realidade

A visão de mundo que Capra se preocupa em apresentar no seu livro, de forma geral, pertence a um núcleo bem específico. Quando se propõe a dar um significado material para a teoria quântica, Capra sugere a presença de elementos de religiões orientais. Tais como: O Hinduísmo, Taoísmo e o Budismo. Todas as religiões citadas apresentam elementos que permitem Capra fazer uso do papel da consciência como uma forma de unificação entre o experimentador e a natureza estudada.

O período de lançamento da obra (1989) é contemporâneo com a elaboração do experimento de Aspect (1975), o que pode indicar uma preocupação de Fritjof Capra com as questões levantadas com o Paradoxo EPR. As questões envolvendo uma visão da realidade “a priori” ou “a posteriori” não foram fatores que impediram a Mecânica Quântica de se desenvolver, porém o debate filosófico fomentou importantes trabalhos para a solidificação de sua estrutura.

Deste modo, as incertezas filosóficas trazidas pelo Paradoxo EPR, em conjunto com os problemas teóricos pertinentes a *redução do pacote de ondas*, fazem Capra buscar em outras áreas de conhecimento um campo de estudo onde a Mecânica Quântica possa ser aplicada sem as conhecidas fragilidades teóricas e filosóficas.

III.3.3 – Metodologia Científica

Os trechos escolhidos da obra de Capra empenhados em descrever uma metodologia do trabalho científico apresentam ideias adequadas aos elementos observados na elaboração da Mecânica Quântica. Capra faz questão de deixar claro sua imagem de ciência como uma construção mental humana, o que serve de argumento para justificar a elaboração de um paralelo com o misticismo oriental. Porém, o autor atribui à experimentação um papel importante para o desenvolvimento de um determinado corpo teórico, o que contradiz a própria formulação do corpo teórico da Mecânica Quântica, cuja prova experimental só veio a ocorrer com a sugestão do experimento de Aspect.

III.4 - A Motivação Quântica de Danah Zohar

Mais uma vez, a discussão em torno do texto analisado será realizada em função das categorias escolhidas para a classificação. Distribuindo suas frequências, da mesma que foi feito com os trechos de Capra, encontra-se o seguinte gráfico:

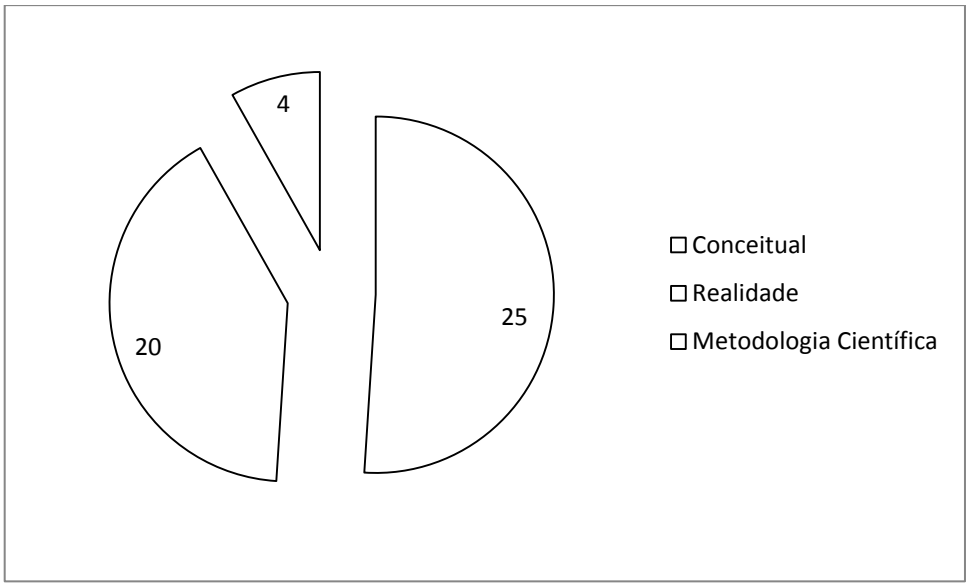


Figura III.2 – Gráfico de distribuição de categorias encontradas – O Ser Quântico

A meta da obra de Danah Zohar é mostrar que os principais princípios da Mecânica Quântica podem ser adotados em um discurso motivacional. Buscando a introdução da autora, é notável a sua preocupação em construir um paralelo entre a psicologia e a Física Moderna:

> "*Por vezes a teoria quântica parece servir como uma metáfora útil, que ajuda a colocar essas reflexões num foco novo e mais preciso; outras vezes parece prometer ao menos uma explicação parcial de como realmente funciona a consciência e, portanto, a vida do dia-a-dia. Este livro começou originalmente como um exercício de metáfora, mas, ao se desenvolver, a metáfora cedeu cada vez mais lugar às evidências ou, ao menos, ao que se pode considerar uma especulação muito bem fundamentada a respeito da verdadeira física da psicologia humana e suas implicações morais e espirituais.*" (ZOHAR; 1990 p. 5)

A partir do momento que Capra utilizou do misticismo oriental para construir ligações da Mecânica Quântica com outras áreas de conhecimento, com um grande sucesso de público, talvez sua obra tenha motivado outros escritores a seguirem por um mesmo caminho de divulgação. O livro de Danah Zohar também tem uma grande demanda comercial, visto que possui mais de 20 edições lançadas, porém seu texto apresenta graves falhas conceituais e filosóficas ao descrever a Mecânica Quântica. Seguindo o mesmo molde da discussão anterior, cada análise será feito em torno de sua categoria.

III.4.1 – Conceitual

Mais de metade dos trechos selecionados foram classificados como uma aplicação ou desenvolvimento conceitual da Mecânica Quântica. Isso mostra a preocupação da escritora em

manter ser discurso cientificamente embasado no corpo teórico em questão. Porém, na necessidade de adequar a estrutura teórica e conceitual da mecânica quântica à sua proposta, são perceptíveis graves falhas, conceituais e filosóficas.

Em primeiro lugar, o Mecanicismo é ilustrado como um movimento antiprogressista da ciência. Para criar uma visão de "Nova Física", o argumento lançado por Zohar é afirmar que a física clássica é obsoleta para o mundo contemporâneo. Seja nas suas citadas relações pessoais ou interpessoais, e até mesmo para os modelos científicos, as leis da mecânica são tratadas como uma necessidade de ruptura com o que é "velho". Tal postura muito se defende em nome da participação do elemento da consciência humana, proposto como uma solução ao problema referente a *redução do pacote de ondas*. A física quântica, por permitir em certo nível teórico tal variável, é tratada pela autora como uma ciência mais humana, em contraponto ao determinismo clássico.

Em seguida, a postura de Einstein é tomada como um estandarte em defesa da Mecânica Quântica. Porém, em comparação com toda evolução da história da física moderna, pode-se afirmar que sua postura determinista frente aos fenômenos naturais o torna um persistente crítico dos principais postulados que defendem uma interpretação dual da natureza.

Ao descrever os processos de transição eletrônica entre as camadas de um átomo, Zohar os descreve como um processo aleatório/probabilístico para defender suas relações entre ciência e psicologia. Mas a transição entre as camadas eletrônicas deve obedecer a níveis quantizados de energia, como descrito por Bohr.

Em termos gerais, alguns conceitos são apresentados de uma forma coerente, porém são os pilares da mecânica quântica, sejam eles conceituais ou filosóficos, que mostram as maiores falhas. Na busca de estabelecer suas relações, a autora não se manteve coerente com certos aspectos fundamentais.

III.4.2 – Realidade

A realidade trazida pela escritora em sua obra é referente ao próprio mundo ao seu redor. São as relações pessoais e interpessoais o cenário onde a Mecânica Quântica será aplicada e relacionada. Mas utilizar o corpo teórico da ciência em questão para traçar estratégias de relacionamento não foi um caminho adequado para construir uma aceitável aplicação.

São duas componentes chaves presentes no discurso de Zohar: a probabilidade e a consciência humana. A maior parte dos trechos em que existe a preocupação em descrever como a "nova física", a fala da autora se baseia na forma que relações cotidianas podem utilizar esses elementos. Para a autora, é possível estabelecer uma analogia entre a interação

de estruturas da microfísica, em especial no seu caráter probabilístico, com as atitudes comportamentais de uma pessoa.

A Mecânica Quântica possui algumas fragilidades filosóficas, como já foi discutido em relação ao livro de Capra e, talvez essas fragilidades abram espaço para que tais paralelos sejam construídos. A autora cita algumas vezes o trabalho de Capra, mas apenas como uma distante aplicação hipotética. Para ela, a mecânica quântica serve como um modelo comportamental, de forma a participar do mundo de maneira mais intensa, dinâmica e interativa.

III.4.3 – Metodologia Científica

A apresentação de aspectos metodológicos referentes a construção da ciência também é um ponto negativo na obra de Zohar. A visão de método científico com grande importância dada para a experimentação faz a escritora tornar o paradoxo do gato de Schroedinger como um experimento real. Talvez tal suposição seja feita para atribuir a seu texto uma visão de confiabilidade respaldada em um experimento, o que além de ser uma falha conceitual grave, atribui a Mecânica Quântica uma estrutura metodológica que não condiz com sua história.

Em seguida, a autora ignora a discussão trazida pela descrição dos modelos científicos através das leis da Mecânica Quântica. Nas suas palavras, por mais que tal conjectura científica seja eficiente para acertar a precisão de diversas constantes matemáticas, tal quadro não proporciona uma nova visão de realidade, ou mais grave, que a comunidade científica não saiba dar significado para esses modelos científicos. Assim, a "nova física" configura-se no livro como um "desafio cultural", pois seus aspectos devem ser relacionados ao papel da consciência humana (percepção, memória, *etc*.).

III.5 – A demanda comercial

De acordo com os dados coletados e analisados, o termo "quântico" foi utilizado de duas maneiras inusitadas. Seja para justificar um paralelo com elementos do misticismo oriental, ou com técnicas motivacionais e de autoajuda, seu contexto de aplicação não oferece uma visão correta de Natureza de Ciência, independente de seus postulados estarem cientificamente corretos ou não (LEDERMAN & ABD-EL-KHALICK; 2000).

Tal aceitação pela sociedade dos livros citados mostra uma confiança exagerada em produtos que carregam algum tipo de nomenclatura científica em seu nome. De acordo com Braga (2000), devido a herança iluminista que moldou o processo educacional brasileiro, a sociedade busca o "cientista" como seu representante. Assim, qualquer termo científico agrega a um produto a noção de confiabilidade. Nos casos estudados nesse trabalho, o termo quântico segue a mesma lógica de apropriação.

Tais ideias, difundidas de acordo com Auguste Comte:

> ““O positivismo de Auguste Comte exerceu larga influência nos mais variados círculos. Enquanto doutrina sobre o conhecimento e sobre a natureza do pensamento científico, incorporou-se a outras correntes análogas, que procuraram valorizar as ciências naturais e suas aplicações práticas.” (COMTE, 1978 p. 26)

Valorizar o conhecimento científico, não significa oferecer uma visão aceitável de Natureza da Ciência. De acordo com Ziman (1980) e Chalmers (1993), o ensino de ciências puramente indutivista, produto do positivismo, é ingênuo e materialista. Desta forma, o consumo e a aceitação de materiais que se apropriam de nomenclaturas científicas é respaldado por uma educação formada em uma base científica que visa a exaltação do cientista como o representante ideal da sociedade, devido a sua neutralidade.

CAPÍTULO IV – DESDOBRAMENTOS EDUCACIONAIS

IV.1 – Qual a necessidade de discutir Física Moderna no Ensino Médio?

Através da análise construída através da leitura das obras selecionadas, é possível afirmar que é necessário repensar a maneira que determinados campos da ciência estão sendo discutidos nas salas de aula. Da forma que é esclarecida por Terrazzan (1992), temos um currículo de física dividido nas seguintes áreas: Mecânica, Termodinâmica, Ondas, Óptica e Eletromagnetismo. Sendo assim, muitos dos manuais encontrados seguem essa mesma lógica na divisão do seu conteúdo. A grande consequência negativa desta abordagem é a quase exclusão da Física Moderna e suas implicações na ciência, pois toda a estrutura conceitual apresentada remete no limite máximo até o fim do século XIX.

Atualmente o ensino médio no Brasil vem sofrendo mudanças, onde a estruturação do conteúdo vai se adequando em torno de novas competências e habilidades. Além disso, novos conteúdos e abordagens se tornam cada vez mais necessárias para que o aluno crie ligações significativas entre determinado conhecimento e o mundo a sua volta (BRASIL, 2000). Nesse movimento, surgem os *Parâmetros Curriculares Nacionais*, ou PCNs, que são orientações dedicadas a explorar tal viés educacional.

O ensino de física, apoiado nas bases legais dos PCNs, deve se estruturar muito além das habituais competências de memorização e matematização. Se a proposta deve ser voltada para a compreensão de sua realidade, os conteúdos devem então ser organizados de maneira significativa e coerente em relação a suas implicações e aplicações (TERRAZZAN, 1992). Como descrito também por Pozo e Crespo (2009), a dificuldade em estruturar o currículo para que possa atender a demanda de questões levantadas pelo próprio mundo ao seu redor acarreta na formação de estruturas conceituais inadequadas. Logo, existe um movimento já embasado em normas federais que torna necessário repensar a prática docente em certos aspectos do programa curricular.

Numa pesquisa realizada para verificar quais as expectativas dos profissionais da área de ensino em relação ao programa utilizado nas suas escolas, muitos apontam diversos temas que são considerados essências na construção de uma aprendizagem significativa (OLIVEIRA *et al,* 2007). Devido a defasagem entre os avanços tecnológicos e suas implicações na sociedade com o currículo, os professores entrevistados classificam suas aulas como desatualizadas e descontextualizadas. A presença de discussões que se baseiam nas novas tecnologias e aplicações práticas da física por parte dos alunos mostra que existe não apenas um eventual interesse, mas sim uma real necessidade de abordar determinados tópicos não previstos apenas pela física clássica. Muitos professores apontaram que tópicos como: efeito fotoelétrico, dualidade onda-partícula, radioatividade e fenômenos nucleares são essenciais

para que se construa a uma devida base conceitual que permita ao aluno interagir de maneira crítica e participativa com o mundo a sua volta.

A estrutura conceitual da Mecânica Quântica, conforme apresentada no primeiro capítulo, mostra-se densa e repleta de um formalismo matemático não encontrado no programa do Ensino Médio. Este fato, acompanhado ainda pela falta de preparo dos profissionais de ensino para lidar com o tema, é descrito por Moreira e Ostermann (2001). Porém, é possível construir estratégias que permitam a inserção desses tópicos em uma determinada atividade. No trabalho citado, a escolha do tópico de supercondutividade permitiu aos autores discutir não apenas os aspectos clássicos da física, como o eletromagnetismo ou termodinâmica, mas também incluir tópicos explicativos básicos de Mecânica Quântica e Física do Estado Sólido. O que se construiu foi um diálogo entre as novas teorias utilizadas para modelar determinado fenômeno com a teoria clássica, e onde a mesma perde sua validade no contexto. Assim, tópicos de Física Moderna e Contemporânea são apresentados de forma articulada com o currículo atual, fortalecendo uma visão mais adequada da ciência e caminhando na direção da meta prevista pelos PCNs.

Sendo assim, de acordo com as obras estudadas na análise, os conceitos encontrados convergem para um tópico apontado como essencial por professores: a compreensão da natureza da luz através de suas implicações mais modernas. Ou seja, apresentar a luz através de seu comportamento dual, e as devidas implicações, se configura como uma prática não apenas aceitável, mas urgente perante a maneira que determinados assuntos estão introduzidos na sociedade.

IV.2 – A Natureza da Luz: Demarcando o campo científico

Construída a argumentação sobre a necessidade de inserir determinados tópicos de Física Moderna e Contemporânea que se articule com o programa curricular e o tornem mais significativo, é preciso construir estratégias que possibilitem vencer tal desafio. Como este trabalho abordou obras literárias que se apropriam do termo quântico, o aspecto que se apresenta como mais importante é a descrição da Natureza da Luz perante sua interpretação dualística. Desta forma, a aceitação popular desse tipo de obra pode passar por um processo de demarcação, conforme descrito no capítulo de descrição metodológica.

No atual ensino médio, o ensino de óptica é generalizado em aplicações geométricas de seus princípios, com pouca importância para sua carga histórica e filosófica (NETO, FREIRE, FERNANDO; 1999). Desta maneira, não é possível discutir a importância da quantização de energia proposta por Panck e consequentemente construir um entendimento básico sobre a natureza quântica da luz.

Como resultado dessa organização de conteúdos, os alunos tendem a apresentar noções inadequadas até mesmo da Óptica Geométrica (PINTO & ZANETIC, 1999). Como dito

anteriormente por Pozo e Crespo (2009), a organização do conteúdo deve ser mais que uma mera estruturação conceitual, o programa curricular deve se apresentar de maneira contextualizada ao mundo contemporâneo. Assim, em uma sociedade exposta a uma grande quantidade de materiais aparentemente da área científica, é preciso que tais conteúdos sirvam para que os alunos se protejam daquilo que não for adequado. Neste caso, com tantas obras espalhadas que pretendem abordar o termo “quântico”, uma apresentação coerente do tema “Natureza da Luz” pode não apenas otimizar o ensino da tradicional Óptica Geométrica mas também construir mecanismos de demarcação contra obras apropriadoras.

Como um exemplo de que é possível trabalhar com o tema, Zanetic e Pinto (1999) construíram um curso onde, ao mesmo tempo em que avaliaram previamente a compreensão de natureza da luz de seus alunos, construíram uma série de atividade que não somente possuíam o intuito de introduzir uma “nova física” no programa curricular. A grande importância no trabalho se dá na construção de um modelo que explique a natureza da luz articulado com concepções clássicas e modernas. Apresentando a luz desde os estudos de Newton, e seu caráter empírico, até sua natureza dual. Nesse caminho, não se considera a Física Quântica apenas como um tópico fora de uma ementa, mas um elemento fundamental para que o modelo de natureza da luz seja coerente com suas aplicações e implicações. O curso também contou com uma oficina para elaborar trabalhos culturais de divulgação científica, em especial na área da Mecânica Quântica. Enfim, se tem um trabalho que atende perfeitamente aos anseios dos PCNs e consequentemente a uma apresentação mais adequada do conteúdo de óptica.

IV.3 – Física e Literatura: uma possível articulação

Se a discussão a respeito da Natureza da Luz envolve uma série de implicações filosóficas capazes de enriquecer o conteúdo curricular, e que tais conceitos são apropriados nas obras em destaque nesse trabalho, é interessante construir uma maneira de utilizar os paralelos construídos por Zohar e Capra para fins acadêmicos.

Aproximar ciência e arte é uma estratégia já adotada por muitos pesquisadores na área de ensino de ciências, e Zanetic (2006) irá trazer essa aproximação para a literatura, devido a grande presença de temas científicos no campo em questão. Segundo o autor, essas duas diferentes culturas possuem muitos pontos de convergência, seja pela influência social da ciência em um determinado contexto ou pela simples divulgação. Ou seja, mesmo que determinados escritores não possuam uma formação acadêmica na área de ciências, suas crenças e valores moldados por suas experiências de vida podem motivar que determinados conceitos científicos se torem explorados em suas obras.

Voltando para as obras escolhidas na elaboração deste trabalho, é interessante destacar mais uma vez a formação acadêmica de Zohar e Capra. Ambos são físicos, e a

presença de uma linguagem científica em suas obras não necessariamente reforça uma adequada apresentação de suas estruturas conceituais, filosóficas e contextuais. Nesse universo, Pessoa Jr. (2010) (*et al,* 2011) irá contribuir para o cenário educacional construindo ligações entre o misticismo quântico com concepções mais adequadas . De acordo com seus trabalhos, questões trazidas a respeito de tópicos presentes em tais livros motivam novos caminhos para dialogar os temos curriculares com suas mais modernas interpretações.

Conclusões e expectativas

Conforme descrito no primeiro capítulo, a pergunta problema do trabalho baseou-se na forma de apresentação de um determinado conhecimento científico através de obras literárias pertencentes a outras áreas de conhecimento. Para isso, foi realizada a comparação do quadro conceitual e filosófico da Mecânica Quântica com o discurso adotado nas obras analisadas.

Lançada em 1989, o obra é quase contemporânea ao período final do experimento de Aspect, em 1983. Com todas as fragilidades teóricas e filosóficas recorrentes do problema de redução do pacote de ondas e do Paradoxo EPR, o texto de Capra abrange muitas descrições conceituais, mas especificamente descrições que tangenciam seu campo de trabalho: *a teoria quântica relativística de campo.* Porém certos aspectos fundamentais, como por exemplo, uma descrição sucinta do Paradoxo EPR, foram omitidos.

A grande crítica a sua obra não deve ser direcionada ao teor conceitual, conforme foi diagnosticado pela análise de discurso. O problema reside na argumentação para o uso desses conceitos, onde Capra faz da Mecânica Quântica uma linguagem mística da natureza. A começar pelo título de seu livro, "*O Tao da Física*", que de acordo com o significado da palavra *Tao* já sugere uma compreensão intuitiva das leis naturais, a grande atração do livro fica por conta das analogias construídas relacionando determinados aspectos trabalhados na mecânica quântica com as doutrinas de várias religiões orientais.

De fato, muitos aspectos referentes a religiões orientais atraíram a atenção da comunidade científica, em especial aqueles envolvidos com a Mecânica Quântica. O próprio brasão da família de Niel Bohr faz referência a um símbolo taoísta, conforme a figura:



Figura 1 – Brasão de Niel Bohr (Disponível em http://www2.uol.com.br/vyaestelar/figuras/fq_yin_yang.jpg, acesso em março de 2013)

Apesar do caminho escolhido por Capra se configurar ao inverso, a presença de elementos que apresentam parâmetros comuns entre os dois campos pode motivar cientistas a buscarem uma crença religiosa que se respalde na sua prática científica, como o caso da dualidade onda-partícula proposta por Bohr com o Yin-Yang. Mas buscar no misticismo oriental a resposta para os questionamentos da Mecânica Quântica, em especial aos questionamentos da área específica de Capra, faz o livro perder a confiabilidade acadêmica.

Seguindo para o livro de Danah Zohar, o discurso presente em sua obra é estruturalmente igual ao “Tao da Física”. Existe a preocupação de mostrar determinados conceitos da Mecânica Quântica relacionados com outras doutrinas e ideias, mas diferente de Capra, a base conceitual de seu livro é muito fraca para dar sustentação a suas ideias.

A autora faz da Mecânica Quântica uma linguagem com muito pouco rigor, seja ele matemático, conceitual ou filosófico. Sua pretensão é apresentar os conceitos da mecânica quântica de maneira motivacional, induzindo o leitor a construir paralelos entre sua estrutura conceitual com as relações de seu cotidiano, sejam elas pessoas ou interpessoais. Na maior parte de suas analogias, Zohar apresenta a Mecânica Clássica como um campo de conhecimento que deve ser extinto, criando um claro contraponto para seu leitor.

É perceptível a grande semelhança entre a premissa das duas obras, o que sugere a influência do trabalho de Capra em obras desse tipo de divulgação científica. A apropriação realizada por Zohar sugere a aplicação das relações construídas entre as estruturas da microfísica em um contexto fora da ciência. Seja o princípio da incerteza, a transição entre camadas eletrônicas, os paradoxos formulados ou até mesmo as implicações filosóficas trazidas pelos diversos problemas encontrados. No final, é visto um trabalho com apresentações superficiais destes conceitos, mas utilizados em um contexto que inviabiliza qualquer aplicação.

As duas obras se apropriam da linguagem científica, em especial do termo quântico, para elaborar paralelos entre diferentes áreas de conhecimento. Mas a validade do discurso apresentado é prejudicada pela argumentação utilizada para justificar a presença de tais teorias. O que mostra a preocupação dos escritores fundamentada principalmente na utilização da linguagem científica, e não na sua correta adequação. O grande número de edições relançadas para cada obra mostra que ambas possuem uma forte demanda comercial, o que faz da linguagem científica um forte instrumento para agregar valores a um determinado produto.

Visto a grande demanda comercial causada por obras respaldas pelo uso de uma linguagem científica, independentes de sua coerência, é preciso construir formas para que a apropriação não seja aceita de maneira passiva. Para isso, será utilizado o processo de *demarcação,* citado no primeiro capítulo.

Conforme avaliado, o grande problema não necessariamente precisa estar contido na apresentação conceitual da Mecânica Quântica. Para que um leitor tenha meios de demarcar essa obra como uma fonte científica duvidosa, era preciso que o mesmo tivesse contato com a estrutura filosófica da Mecânica Quântica. Reconhecer seus cenários de aplicação, e suas implicações filosóficas, poderia invalidar os argumentos utilizados pelos autores das obras analisadas.

Para discutir essas ideias, seria pertinente incluir certos tópicos de Física Moderna e Contemporânea ao longo do Ensino Médio. Sendo mais específico, durante a construção de um modelo para o entendimento da Natureza da Luz. Porém, a pequena carga histórica atribuída ao currículo de física no Brasil dificulta a criação de estratégias pertinentes que possam incluir a Mecânica Quântica no currículo brasileiro.

Ao contrário da visão defendida por Danah Zohar, a Física Clássica não pode ser considerada como antiquada e obsoleta. Porém, a compreensão crítica do mundo e suas novas tecnologias exigem do currículo certos pontos que não são comtemplados. Conforme defende Terrazzan, a formação de um cidadão participativo, que entenda o mundo criado pelo homem atual, depende da atualização do currículo de ciências.

Utilizando dados referentes a uma pesquisa, professores apontam que tópicos como: dualidade onda-partícula, átomo de Bohr, efeito fotoelétrico e radioatividade, são essenciais para atualizar o currículo de física. Todos os tópicos foram discutidos nesse trabalho, e são essenciais para construir um modelo adequado para entender a natureza da luz. Além disso, colaboram com a instrumentação do aluno, tornando-o capaz de demarcar as obras analisadas neste trabalho como inadequadas.

Referências Bibliográficas

ABD-EL-KHALICK, F., Bell, R. L., & Lederman, N. G. (1998). **The nature of science and instructional practice:** Making the unnatural natural. Science Education, 82, 417–436.

AIKENHEAD, G.S. (1980). **Science in social issues:** Implications for teaching. Ottawa, Canada: Science Council of Canada.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.

BOGDAN, Robert; BIKLEN, Sari. ***Investigação* qualitativa em educação**. Portugal: Porto Editora, 1994.

BOHR, Niels. "**A decrição da realidade física fornecida pela mecânica quântica pode ser considerada real?"** *Cadernos de Historia de Filosofia da Ciência 2* (1981), pp. 107-109.

BRAGA, João Pedro. **O colapso da eqüipartição de energia.** *Quim. Nova,* Vol. 24, No. 5, 693-699, 2001

BRAGA, Marco. **A nova Paidéia.** Ciência e Educação na construção da Modernidade. Rio de Janeiro: E-pappers, 2000.

BRASIL, Ministério da Educação – MEC, Secretaria de Educação Média e Tecnológica – SEMTEC. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio.** Brasília: MEC/SEMTEC, 2000

Bravo, A. A., Merce, I., & Anna, E. (2001). **A characterisation of practical proposals to teach the philosophy of science to prospective science teachers.** Artigo apresentado no Simpósio IOSTE, Paralimni, Cyprus.

CAPRA, Fritjof. **O Tao da Física.** 1ª edição, Lisboa: Presença, 1989

CARVALHO, A M.P. (1996). **O uso do vídeo na tomada de dados:** Pesquisando o Desenvolvimento do Ensino em Sala de Aula. *Pro-Posições*, UNICAMP, 7, n.º 1 (19), março, p. 5-13.

CARVALHO, A M.P. (2003). **Profesores y formadores de profesores colaboran em investigaciones sobre la enseñanza de ciencias. *Enseñaza de las Ciencias***, v.21 (2) p 191-197.

Castelao, T. (2002). **Epistemology of science, science literacy, and the demarcation criterion:** The nature of science (NOS) and informing science (IS) in context. Paper Presented at the Informing Science & IT Education Joint Conference: InSITE 'Where Parallels Intersect', Cork, Ireland.

CHALMERS, Alan F. **O que é ciência afinal?** São Paulo: Brasiliense 1993

CHIBENI, Silvio Seno. “**Implicações filosóficas da microfísica**.” *Cadernos de história e filosofia da ciência.* Série 3, v. 2, julho a dezembro de 1992.

CHIBENI, Silvio Seno. “**Certezas e incertezas sobre as relações de Heisenberg*.”*** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, n. 2, p. 181 - 192, (2005)

COMTE, Auguste."**Curso de Filosofia Positiva**", *in* Coleção Os Pensadores, São Paulo: Abril Cultural, 1979.

DAHMEN, Sílvio. **Einstein e a filosofia.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 1, p. 3 - 7, (2006)

EINSTEIN, A., PODOLSKY, B., ROSEN, N. **Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?** Physical Review, v. 47, p. 777-80, 1935.

ERICKSON, F. (1998). **Qualitative Research Methods for Science Education**, in B.J. Fraser & K.G. Tobin (eds), *International Handbook of Science Education*, Kluver Academic Publishers, Great Britain, pp. 1155-1173.

JAMMER, M. **The conceptual development of quantum mechanics.** United States of America, 1966.

JAMMER, M. **The philosophy of quantum mechanics.** New Tork: Wiley. 1974

JOFFILY, Sérgio. **A descoberta do Elétron.** Publicado em: “Partículas elementares: 100 anos de descobertas”, F. Caruso *et al.*; EDUA, Manaus, 2005

KUHN, Thomas S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo, Perspectiva, 5ª Edição, 1998.

LUDKE, M. e ANDRÉ, M. (1986). ***Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas.*** Editora pedagógica e universitária -EPU, São Paulo.

JAUCH, J. M. **São os quanta reais?** Um diálogo galileano. São Paulo: Nova Stella: Editora da Universidade de São Paulo, 1986.

LEDERMAN, N. G., ABD-EL-KHALICK, F., Bell, R. L., & SCHWARTZ, R. (2002). **Views of nature of science questionnaire:** Toward valid and meaningful assessment of learners’ conceptions of nature of science. Journal of Research in Science Teaching, 39(6), 497–521.

MAIORINO, J. E. “**O pensamento reducionista na filosofia de Niels Bohr.”** *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (série 3) 2(2): 177-217, jul-dez 1992

MATTHEW, Michael R. “**História, Filosofia e Ensino de Ciências:** A tendência atual de reaproximação”. Cad*. Cat. Ens. Fís*., v. 12, n. 3: p. 164-214, dez. 1995.

MATTHEWS, M. (2000). **Time for science education:** How teaching the history and philosophy of pendulum motion can contribute to science literacy. NY: Plenum Publishers.

MONTENEGRO, Roberto Luiz; PESSOA, Oswaldo. **Interpretações da teoria quântica e as concepções dos alunos do curso de física.** As Interpretações da Física Quântica, in AGUILERA-NAVARRO, 2010.

NASCIMENTO JR., Antônio Fernandes. **Fragmentos da história das concepções de mundo na construção das ciências da natureza:** das certezas medievais às dúvidas. Ciência & Educação, v. 9, n. 2, p. 277-299, 2003

NETO, Rodolfo; *et al.* **Revelando o caráter determinístico da Mecânica Quântica** – Uma ponte para o ensino da física moderna no ensino médio. Ideação,Feira de Santana, n.3, p.51-68, jan./jun. 1999.

OLIVEIRA, Fábio Ferreira, *et al. "***Física moderna no ensino médio:** O que dizem os professores." *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 3, p. 447-454, (2007)

ORLANDI, Eni. **Análise de Discurso**. Campinas, São Paulo. Pontes Editores, 2012.
PHARABOD, Jean-Pierre; ORTOLI, Sven. **Introdução da Mecânica Quântica**. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1986.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. **Atualização do currículo de física na escola de nível médio:** um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores.

PESSOA Jr., O. **Teoria Quântica:** estudos históricos e implicações culturais. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011.

PESSOA Jr., O. **Como aproveitar a moda do misticismo quântico para discutir física moderna na sala de aula?** 2010. (Apresentação de Trabalho/Conferência ou palestra).

PESSOA Jr., O. **O problema da medição em mecânica quântica:** um exame atualizado. Cadernos de História e Filosofia da Ciência (série 3) 2(2): 177-217, jul-dez 1992

POZO, Juan Ignacio; CRESPO, Miguel Angel Gómes. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico.** 5a. ed. Porto Alegre: Artimed. 2009.

QUIVY, Raymond. **Manual de Investigação em Ciências Sociais.** Tradução de João Marques e Maria Amália Mendes Lisboa. Lisboa: Gradiva, 1992.

ROCHA, José Fernado (org). **Origens e evolução das idéias da física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

SCHULZ, Peter. **Duas nuvens ainda fazem sombra na reputação de Lorde Kelvin**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 4, p. 509-512, (2007)

SELLERI, Franco. **El debate de la teoria cuantica**. Madrid: Alianza Editorial, 1986

TERRAZZAN, Eduardo. **A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau.** Cad.Cat.Ens.Fís., Florianópolis, v.9,n.3: p.209-214, dez.1992.

TURGUT, Halil. **The Context of Demarcation in Nature of Science Teaching**: The Case of Astrology.Science & Education. Volume 20, Numbers 5-6, 491-515, DOI: 10.1007/s11191-010-9250-2

VON NEUMANN, J. **Mathematical foundations of quantum mechanics.** Princeton: Princeton University Press, 1955.

ZANETIC, J. **Física e Literatura:** construindo uma ponte entre as duas culturas. História, Ciências, Saúde – Manguinhos, v. 13, p. 55-70, Outubro 2006.

Zanetic, J; PINTO, A. **É possível levar a física quântica para o ensino médio?** Cad.Cat.Ens.Fís., v.16,n.1: p.7-34, abr.1999. 7

ZOHAR, Danah. **O ser quântico**: uma visão revolucionária da natureza humana e da consciência, baseada na nova física. 18ª. ed. São Paulo: Best Seller, 2010