

Mayara Almeida de Barros

***COPENHAGEN, LEITURAS E INCERTEZAS: UM TEXTO
TEATRAL E O ENSINO DE FÍSICA QUÂNTICA***

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Educação Científica
e Tecnológica da Universidade Federal
de Santa Catarina para a obtenção do
Grau de Mestre em Educação Científica
e Tecnológica
Orientador: Prof. Dr. Henrique César da
Silva

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Barros, Mayara Almeida de
Copenhagen, leituras e incertezas: Um texto
teatral e o Ensino de Física Quântica / Mayara
Almeida de Barros ; orientador, Henrique César da
Silva, 2018.
174 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro de Ciências da Educação,
Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e
Tecnológica, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Educação Científica e Tecnológica. 2.
Textualização. 3. Teatro. 4. Mediação de leitura. 5.
Princípio da Incerteza. I. Silva, Henrique César Ga.
II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e
Tecnológica. III. Título.

Mayara Almeida de Barros

Copenhagen, Leituras e Incertezas: Um texto teatral e o Ensino de Física Quântica

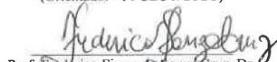
Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre (a) e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica.

Florianópolis, 28 de setembro de 2018.

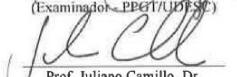

Prof. Dr. José Francisco Custódio Filho
Coordenador do curso

Banca Examinadora:


Prof. Henrique César da Silva, Dr.
(Orientador - PPGECT/UFSC)


Prof. Frederico Firmo de Souza Cruz, Dr.
(Examinador - PPGECT/UFSC)


Prof. Stephan Arnulf Bajiangariel, Dr.
(Examinador - PPGECT/UFSC)


Prof. Juliano Camillo, Dr.
(Examinador Suplente - CED/UFSC)

À Maristela, José Luiz, Maria Cláudia,
Neguinha, e em especial à Maria Julia.

AGRADECIMENTOS

Do início da vida escolar à conclusão do mestrado, muitos foram aqueles que contribuíram para que eu me constituísse “Mayara”, estando cada um aqui presente de alguma forma, na linguagem, no estilo, nos ensinamentos, nas teimosias, nas considerações etc. Agradecê-los se torna mais que um dever a cumprir.

Aos meus pais agradeço o amor, o apoio, o conforto, a aceitação, a certeza de um porto seguro sempre. Minha melhor parte é por e para vocês. Saber que posso voar contando sempre com um colo faz toda diferença. À minha irmã agradeço a vida e o amor compartilhados, agradeço o aprendizado nas diferenças e as diferentes formas de aprender. Agradeço ainda, e acima de tudo, à vida de quem hoje tenho como minha maior preciosidade, Maria Julia.

Agradeço aos professores que me inspiraram em todas as fases de estudo, em especial, à Prof^a Benê e ao Prof Rogério, nos níveis fundamental e médio, respectivamente. Agradeço aos queridos amigos e grandes mestres Isabela e Hamilton, com os quais tive a honra de estudar/trabalhar/conviver nos tempos de UFMS e para além deste. Agradeço às oportunidades que a experiência adquirida em seis anos no programa de extensão Casa da Ciência de Campo Grande me proporcionou. Ao meu orientador e amigo Henrique por todo trabalho desenvolvido, pelo aprendizado compartilhando e principalmente pela paciência dedicada.

Agradeço aos amigos de Campo Grande pelo apoio e compreensão nos meus momentos de ausência. Aos amigos de Florianópolis pela recepção, a mudança de cidade não foi fácil e a existência de cada um de vocês fez toda diferença. Agradeço as colegas da turma de mestrado, que logo se tornaram grandes amigas e parceiras desta caminhada, em especial à Larissa, Maria Lucia, Mayana, Iara, Marianne e Camila. Aos ‘irmãos’ de orientação agradeço as tardes enriquecedoras nas reuniões de grupo e as mesas de bar (em especial à Claudia e ao Jonathan).

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e ao Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica (PPGECT) pela oportunidade e suporte para o desenvolvimento da pesquisa. Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo incentivo financeiro em forma de bolsa, que me possibilitou dedicação exclusiva aos estudos. Acredito que seja necessário o agradecimento à Presidenta Dilma Rousseff e o Presidente

Luiz Inácio Lula da Silva pelas oportunidades geradas em seus governos, das quais me possibilitaram muito mais que a obtenção de diplomas.

Agradeço, por fim, e não menos importante, ao meu companheiro Breno, por todo incentivo, parceria e auxílio nas revisões e formatações na (desgastante) fase final.

Eu tô te explicando
pra te confundir
Tô te confundindo
pra te esclarecer
Eu tô iluminado
pra poder cegar
Tô ficando cego
pra poder guiar

(Tom Zé, 1976)

#LULALIVRE

RESUMO

Nesta pesquisa foi desenvolvida uma análise textual da peça teatral *Copenhagen* (1998), de Michael Frayn. A peça tem como tema central um encontro entre Werner Heisenberg (alemão) e Niels Bohr (de família judia), ocorrido em 1941, no contexto da Segunda Guerra Mundial. Margrethe Norlungue, esposa de Niels Bohr, também faz parte da peça. Durante a conversa os princípios da Complementaridade e da Incerteza, respectivamente estabelecidos por Bohr e Heisenberg, aparecem como fatores estruturantes do próprio texto. Historicamente, pouco se sabe sobre o que os dois físicos conversaram, fato este que permitiu ao autor jogar com as possibilidades e incertezas do encontro. A análise buscou identificar elementos na textualização dramaturgica que produzem efeitos de sentido de incerteza, na relação entre forma e conteúdo, para além do conceito físico presente no Princípio da Incerteza. Respaldados na relevância da materialidade textual, como colocada pela Análise de Discurso de Michel Pêcheux em sua vertente difundida no Brasil por Eni Orlandi, foram utilizados referenciais relativos à textualização teatral, fundamentalmente Ryngaert (1996) e Birkenhauer (2012). A partir da análise, foi elaborada uma proposta de mediação de leitura de *Copenhagen*, estruturada para um contexto de formação de professores de Física. Esta proposição coloca em evidência a importância que noções sobre textualização e circulação do conhecimento científico adquirem na Educação Científica e Tecnológica, ao pensarmos no papel da linguagem e do discurso no Ensino de Física em sua relação com o conhecimento científico. Buscou-se, dessa forma, contribuir para um olhar sobre o texto que desloque a posição de leitor puramente interpretante, para a de um leitor que compreenda o texto como produto de um processo que envolve a dinâmica da própria produção dos conhecimentos científicos em seus complexos processos de circulação histórico-culturais.

Palavras-chave: Textualização. Teatro. Mediação de leituras. Princípio da Incerteza.

ABSTRACT

A textual analysis of the theatre play called Copenhagen (1998), by Michael Frayn, has been done in this research. The play has as the main topic a meeting between Werner Heisenberg (German) and Niels Bohr (from a Jewish family), in 1941, during World War II. Margrethe Norlungue - Bohr's wife - is also part of that play. The principles of Complementarity (by Bohr) and Uncertainty (by Heisenberg) appear during the conversation as structural elements of the text itself. Historically, little is known on what both physicists had talked about. This fact allowed the author to play with all possibilities and uncertainties of such meeting. The analysis sought to identify elements in dramaturgy textualization that produce sense effects of uncertainty, in the relationship between form and content, beyond its physical concept in the Uncertainty Principle. Based on the relevance of reading materiality, as Michel Pêcheux pointed with his Discourse Analysis which was widespread in Brazil by Eni Orlandi, references related to theatrical writing were used, essentially by Ryngaert (1995) and Birkenhauer (2012). From the developed analysis, a proposal of a mediation activity for reading the play Copenhagen was drafted, designed for a Physics teachers training background. Such proposition evidences the importance that notions about textualization and circulation of scientific knowledge acquire in Scientific and Technological Education when we think about the role of language and discourse in teaching and its relationship with scientific knowledge. In this sense, we sought to contribute with a look at the text that moves from the position of a purely interpreting reader to that of a reader who understands the text as a product of a process that involves the dynamics of the production of scientific knowledge in its complex historical-cultural circulation processes.

Keywords: Textualization. Theatre. Readings mediation. Uncertainty Principle.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – representação esquemática do efeito fotoelétrico.	43
Figura 2 – Padrão de interferência observado no experimento da dupla fenda.	48
Figura 3 – Experimento da dupla fenda: a) sem dispositivo para detectar a fenda pela qual o elétron passou; b) com dispositivo para detectar a fenda pela qual o elétron passou.	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	Arte e Ciência do Palco
AD	Análise de Discurso
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
EM	Ensino Médio
FMC	Física Moderna e Contemporânea
FQ	Física Quântica
NuTECCA	Núcleo de Estudos Transdisciplinares em Ensino, Ciência, Cultura e Ambiente
PPGT	Programa de Pós-Graduação em Teatro
TQ	Teoria Quântica
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFSCAR	Universidade Federal de São Carlos

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ânodo
C	Cátodo
λ	Comprimento de onda
λ_l	Comprimento de onda da luz
λ_e	Comprimento de onda do elétron
H	Constante de Plank
I	Corrente elétrica
ΔV	Diferença de potenciais
D	Distancia entre fendas
E	Energia
F	Frequência da luz incidida
V	Frequência da radiação
f_o	Frequência de corte
I	Intensidade luminosa
p	Momento da luz
p_e	Momento do elétron
X	Posição do objeto
V_{corte}	Potencial de corte
Δx	Variação da posição
Δp	Variação do Momento
Δt	Variação do Tempo

SUMÁRIO

EXPOSIÇÃO.....	15
1 PRIMEIRO ATO – <i>COPENHAGEN</i>	25
1.1 A OBRA	25
1.2 A TEXTUALIDADE TEATRAL.....	31
1.2.1 Do dramático ao pós-dramático – Caracterizações	32
1.3 NOÇÕES DA TEORIA QUÂNTICA	40
1.3.1 A ruptura com ideias clássicas	41
1.3.2 O experimento da dupla fenda	47
1.3.3 Heisenberg e o Princípio da Incerteza.....	51
1.4 INCERTEZAS	59
1.4.1 Incertezas éticas	60
1.4.2 Incertezas de Margrethe	62
1.4.3 Incertezas espaço-temporais	64
2 SEGUNDO ATO – TEXTUALIDADE E MEDIAÇÃO DE LEITURAS	68
2.1 LEITURA E ENSINO DE FÍSICA	68
2.2 UM OLHAR SOBRE A TEXTUALIDADE.....	73
2.3 ENSAIO DE LEITURA DE UM TEXTO TEATRAL NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES – ALGUNS SUBSÍDIOS PARA A ELABORAÇÃO DE UMA PROPOSTA.....	77
2.4 DA PROPOSTA DE MEDIAÇÃO DE LEITURAS	79
2.4.1 Elementos preparatórios.....	80
2.4.2 Textualidade teatral e o Ensino de Física.....	81
2.4.3 <i>Copenhagen</i> - impressões gerais.....	84
2.4.4 <i>Copenhagen</i> - a textualização do conhecimento científico	84
2.4.5 Noções de Física Quântica.....	86
2.4.6 Relações de incerteza.....	87
2.4.7 Considerações para o ensino	92
DESFECHO.....	95
REFERÊNCIAS	99
APÊNDICE	107
ANEXO	109

EXPOSIÇÃO

A inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio (EM) vem sendo discutida há alguns anos. Essa tendência é ressaltada pelo considerável número de pesquisas na área de Educação em Ciências sobre este tema (DOMINGUINI, 2012; KARAM, 2005; KIKUCHI; ORTIZ; BATISTA, 2013; OSTERMANN; MOREIRA, 2000; PINTO; ZANETIC, 1999; TERRAZZAN, 1994). A FMC, tida atualmente como componente básico para a compreensão Física do mundo, começou a ser desenvolvida no início do século XX e ainda hoje, praticamente toda Física ensinada na escola básica é aquela desenvolvida até o final do séc. XIX.

Pesquisas indicam alguns fatores que contribuem para esse distanciamento entre conhecimento ensinado na escola e o desenvolvimento científico atual, entre eles, pode-se citar a complexidade matemática presente na FMC e o fato dos professores não se sentirem preparados para abordarem o assunto (LIMA; ALMEIDA, 2012). Pinto e Zanetic (1999) destacaram como dificuldades a serem enfrentadas para tal, além do formalismo matemático, as diferenças conceituais com a Física Clássica e com o senso comum, e a complexidade experimental envolvida.

Ostermann e Moreira (2000) apresentaram uma revisão de trabalhos que abordaram o tema sob diversas justificativas, entre elas: o interesse que a ciência moderna desperta nos jovens devido à aplicabilidade tecnológica; por possibilitar o contato com conceitos e teorias no contexto de sua produção; compreender a Física como produção humana, sujeita a erros e permeada por questões éticas e políticas; apresentar as dificuldades que levaram a crise da Física Clássica e, estabelecer as diferenças de produção de conhecimento entre Física Clássica e Física Moderna. Os autores também apresentaram os caminhos pelos quais tal inserção tem ocorrido, seja pela discreta inclusão de tópicos em livros didáticos ou a partir da utilização de materiais estruturados em diferentes linguagens (jornalística, audiovisual, divulgação científica, entre outras).

Quanto ao ensino da Física Quântica (FQ) especificamente, parte fundamental da FMC, Silva e Almeida (2011) apresentaram uma rica revisão de trabalhos apontando o que dizem as pesquisas globalmente. Os autores classificaram os artigos encontrados em cinco categorias, sendo:

Revisão da literatura sobre o ensino de FQ/FMC; Análise curricular; Análise dos conteúdos em livros que abordam

FQ/FMC; Elaboração e/ou aplicação de propostas de ensino; Concepções de professores sobre o ensino de FQ/FMC no EM (p. 627-682).

Lançando um olhar mais atento às duas últimas categorias, sintetizamos as considerações apresentadas pelos autores, onde concluem uma consensualidade entre os pesquisadores sobre a importância de ensinar FQ no EM, considerando a formação inicial dos professores, e a utilização de textualizações alternativas ao livro didático como estratégia para a construção conceitual e cultural do conhecimento científico, problematizando a pequena quantidade de trabalhos com propostas efetivas de tal inserção, incluindo como estas se realizaram.

Pela perspectiva assumida nesta pesquisa, entendemos por textualizações alternativas ao livro didático, textualidades produzidas fora do contexto do ensino regular, ou seja, aquelas que não foram pensadas especificamente para situações didáticas na escola. Consideramos, ainda, que tais textualizações não se materializam apenas na linguagem escrita, se configurando também como textualidades imagéticas e audiovisuais, por exemplo.

Inseridos em uma sociedade na qual o conhecimento científico circula por diferentes meios e em diversas materialidades (textuais, imagéticas e audiovisuais), e, sobretudo devido à facilidade em encontrar atualmente os mais diversos tipos de textos que abordam conhecimentos relacionados à FMC (documentários, livros de divulgação científica, seriados televisivos, filmes, peças teatrais, textos originais de cientistas, entre outros) pesquisadores em Ensino de Física têm sugerido esses materiais como possibilidades para abordagem do tema em sala de aula.

Silva (2012), por exemplo, utilizou o livro de divulgação *Albert Einstein e seu Universo Inflável* para apresentar alguns aspectos da Teoria da Relatividade em aulas do EM, o autor defendeu que “a leitura motivada, aliada à mediação do professor, pode proporcionar situações relevantes de aprendizagem” (p. 2). Pagliarini e Almeida (2016), também pelo viés das leituras em sala de aula, apresentaram uma experiência de leitura de trechos originais de cientistas referentes ao início da FQ com alunos do EM. Esses trabalhos estão entre aqueles que consideram como aspecto muito relevante, não apenas o uso de textos alternativos, como também o papel mediador do professor nas leituras pelos alunos.

Contudo, acreditamos que a utilização de textos alternativos em sala de aula, a partir de estratégias adequadas de mediação de leitura, depende

da forma como o professor se constitui enquanto leitor. Pois é necessário formação para utilizá-los e capacidade de discernir materiais que possam agregar valor as aulas, compreendendo o processo de construção dos conhecimentos que circulam e como circulam. Consideramos importante nesta formação a compreensão das diferentes linguagens que constituem as mais diversas materialidades. Dessa forma, ressaltamos a importância em contribuir com propostas de mediação de leituras na formação do professor, propostas estas que não adentrem apenas os “conteúdos”, mas a forma com que os efeitos de sentido se produzem pela relação com os conhecimentos científicos, em função das especificidades das textualidades que os fazem circular.

Trata-se de propor formas de mediação de leituras para que o futuro professor se relacione com essas produções textuais diversas durante a sua formação, pensando a formação do professor-leitor como um dos papéis fundamentais dos cursos de licenciatura, visando seu trabalho enquanto futuro mediador de leitura dos alunos. Acreditamos que essa formação de professor mediador de futuras leituras necessita incluir a compreensão e reflexão sobre a textualidade na sua relação com os conhecimentos científicos propriamente ditos ou sobre a ciência, relevantes para a educação básica. Assim, a análise da textualização dos conhecimentos científicos emerge como ponto de partida para proposições de mediação de leituras.

Contribuir para que o futuro professor desenvolva práticas de mediação que levem em consideração possibilidades de leituras e as produções de sentidos pelos seus futuros alunos, implica em proporcionar vivências/experiências em sua formação, que evidenciem as relações entre formas textuais, conhecimentos e produção de sentidos. No caso da FMC, as estratégias de mediação de leituras podem trabalhar a tensão epistemológica existente entre os efeitos de sentidos da Física Clássica e os da Física Quântica. É importante, então, pensar quais possibilidades o texto apresenta para a construção de mediações que as explorem de maneira adequada.

Enfim, pressupomos que, se a qualidade da mediação do futuro professor no trabalho com textos com seus futuros alunos depende da sua formação enquanto leitor durante o curso de licenciatura, a qualidade dessa formação depende da qualidade de estratégias construídas a partir da compreensão de especificidades das determinadas formas de textualização relacionadas aos conhecimentos físicos.

Questões resultantes da reflexão sobre a utilização de textos alternativos no Ensino de Física indicam caminhos ainda pouco

explorados sobre a linguagem. Caminhos pelos quais é possível pensar no texto como parte de um processo de produção e circulação do conhecimento científico, considerando também a sua dimensão cultural. O estudo do funcionamento do discurso científico permite estabelecer relações entre o conhecimento que circula no meio escolar e o que circula fora dele. Dessa forma, o próprio texto torna-se objeto de estudo, visto que o seu formato intervém em seus efeitos de sentidos, ou seja, em suas leituras e nos modos como funcionará em sala de aula.

Neste contexto, buscamos em um primeiro momento por textos considerados como potenciais materiais auxiliares ao ensino da FQ, nas mais variadas formas textuais. Particularmente inclinada ao caminho das artes literárias por interesses pessoais, busquei poesias, cordéis, letras de músicas, livros, entre outros, optando por fim, pelo texto teatral.

Entendemos que ciência e arte são produções humanas, históricas e sociais, ambas indispensáveis ao espaço escolar e, apesar da aparente separação ideológica existente entre elas, uma, aparentemente, com saberes “exatos e objetivos” e a outra, aparentemente, permeada por “subjetividade e sensibilidade”, elas se apresentam entrelaçadas. Pois não é preciso esforço para perceber o caráter pessoal, subjetivo e criativo da ciência, caráter esse bastante evidenciado pela história da ciência, bem como todo critério e procedimentos das produções artísticas. É possível encontrar influências artísticas em trabalhos científicos e trabalhos artísticos inspirados pela ciência e/ou cientistas, suas vidas, seus métodos, conceitos e teorias desenvolvidas. A arte se mostra, dessa forma, como mais um meio pelo qual se dá a circulação da ciência na nossa sociedade. Este é o caso, por exemplo, das obras teatrais.

A escolha por este material de leitura se deu, em princípio, por uma relação pessoal com o teatro, e posteriormente reforçada em revisão bibliográfica preliminar de estudos sobre a utilização de peças teatrais no Ensino de Ciências/Física (MELO; FORTUNATO, 2015; OLIVEIRA, 2010; OLIVEIRA; ZANETIC, 2004; SILVEIRA, 2011; SOUZA-JÚNIOR et al., 2013).

Melo e Fortunato (2015) apresentaram um mapeamento de pesquisas com foco em Ensino de Ciências/Física e sua relação com o teatro; o levantamento bibliográfico indicado pelos autores abrange trabalhos publicados nas principais revistas da área entre os anos de 2009 e de 2014, onde foram localizados apenas quatro artigos, todos relacionados à encenação/dramatização do texto. Ampliando o campo de busca, percebemos um aumento significativo na produção de pesquisas que utilizam o teatro no Ensino de Física/Ciências (ARAUJO, 2014; ASSIS

et al., 2016; GIMENEZ, 2013; KATAHIRA, 2013; MOREIRA, 2012; MOREIRA; MARANDINO, 2015; OLIVEIRA; GOMES, 2016; OLIVEIRA; ZANETIC, 2004; SILVEIRA, 2011). Com diferentes enfoques motivacionais e/ou cognitivos, as principais possibilidades de utilização do teatro/texto teatral no Ensino de Física/Ciências são: escrita, montagem ou dramatização; utilização de jogos teatrais em situações de ensino; e leitura.

Segundo Salomão (2000), a escola enquanto espaço de formação do sujeito para a sociedade, precisa, através da mediação do professor, de formas para articular essas produções da vivência humana. A autora expõe também que

As considerações sobre a linguagem permitem encaminhar uma reflexão sobre a perspectiva da arte como meio didático, revendo o poético como fonte de conhecimento e uma melhor compreensão dos modos da ciência, com aquilo que eles ignoram ou eliminam (p. 84).

Dentro desta perspectiva, objetivando explorar as relações entre ciência e arte, e diante da vasta abrangência de possibilidades de textos alternativos que participam da circulação da ciência, de suas diversas formas de linguagem e para auxiliar na compreensão destas, realizamos a análise do texto teatral *Copenhagen* (1998), de Michael Frayn, buscando identificar quais possíveis sentidos do termo incerteza emergem da leitura deste, relacionando estes ao Princípio da Incerteza de Heisenberg. A análise desenvolvida trata a textualidade enquanto objeto de estudo, explorando aspectos da relação entre forma e conteúdo, entre textualidade e efeitos de sentidos.

Respaldados na concepção de leitura da Análise de Discurso (AD), em sua vertente difundida no Brasil por Eni Orlandi, consideramos que a forma textual não é indiferente aos sentidos e, portanto, consideramos que compreender um texto, para além de interpretá-lo, é compreender essa relação entre materialidade textual e efeito de sentidos possíveis, ou seja, sua textualidade (ORLANDI, 2008). Neste caminho, da análise da textualidade da peça teatral em relação ao conhecimento físico, elaboramos uma proposta de mediação de leituras, pensada para utilização num contexto de formação de professores de Física.

Paralelamente aos estudos de textualizações teatrais e da análise da peça, foi realizado um ensaio de mediação de leitura de *Copenhagen* com alunos da Licenciatura em Física da Universidade Federal de Santa

Catarina (UFSC). Aplicado na disciplina de Metodologia de Ensino de Física, o ensaio consistiu numa sequência preliminar de ensino com quatro aulas sobre a temática “*Teatro, Linguagem e Ensino de Física*”. Apesar de não ser o objeto de análise desta pesquisa, a realização do ensaio proporcionou subsídios para a elaboração da proposta de mediação de leitura, apresentada no segundo capítulo.

Dessa forma, dada a importância que atribuímos às atividades de leitura no Ensino de Física, mais especificamente da inserção no EM da FMC a partir da FQ, devido a nossa preocupação com a textualidade do material utilizado nessas atividades, e preocupados ainda com uma formação que inclua questões relativas à linguagem e a formação de leitores numa perspectiva científica cultural, a presente pesquisa busca responder as seguintes questões:

Quais possíveis efeitos de sentido do termo incerteza, relacionados ao conceito Físico do Princípio da Incerteza de Heisenberg e/ou deslocados dele, surgem na leitura do texto teatral Copenhagen?

Como podemos trabalhar esta polissemia em uma atividade de mediação de leitura com futuros professores de Física num contexto visando o ensino de Física Quântica?

Para responder a estes questionamentos, traçamos os seguintes objetivos:

Desenvolver uma análise do texto *Copenhagen* que extrapole os aspectos conteudistas do mesmo, acrescentando considerações sobre a própria estrutura da textualidade teatral, com base em referenciais teóricos de estudos do texto teatral. A partir da análise, identificar quais efeitos de sentido do termo incerteza podem emergir dessa textualização, visando sua utilização em atividades de mediação de leitura por alunos da Licenciatura em Física, de forma a contribuir na sua formação enquanto professor mediador de leituras.

É importante destacar que no teatro existem várias obras que abordam conhecimentos científicos e/ou sobre a vida de cientistas, como por exemplo, a peça *A Vida de Galileo*, de Bertolt Brecht (1943), e *Einstein*, de Gabriel Emanuel (1985). No cenário nacional, o teatro de temática científica ganha espaço em programas vinculados a instituições públicas

(Seara da Ciência na Universidade Federal do Ceará UFC e o Ciência em Cena no Museu da Vida – RJ) bem como em grupos teatrais independentes (Núcleo de Teatro Científico – Nutec no Rio de Janeiro e a companhia Arte e Ciência no Palco - ACP em São Paulo). A peça *Copenhagen*, escolhida nesta pesquisa, foi encenada no Brasil pela companhia ACP, que possui em seu repertório clássicos como *E agora Sr Feynman?*, de Peter Parnell (2002), e *Oxigênio*, de Carl Djerassi e Roald Hoffmann (2004).

Acreditamos que a leitura do texto teatral, amparada pela mediação do professor, pode se tornar um espaço propício para instigar a reflexão e a discussão de proposições científicas. Silveira (2011) desenvolveu uma releitura da obra *Copenhagen* (1998). O autor apresentou em sua tese intitulada *O teatro como instrumento de humanização e divulgação da ciência: Um estudo do texto ao ato da obra Copenhague de Michael Frayn*, potencialidades de trabalhar concepções sobre a Natureza da Ciência e relações entre Ciência e Arte, pelo viés de considerações da Divulgação Científica, com foco na introdução da Teoria Quântica (TQ) a partir da História da Ciência.

A obra *Copenhagen* se desenvolve em torno de uma conversa pós-morte, em um espaço não conhecido e num tempo não determinado, entre Niels Bohr, Werner Heisenberg e Margrethe Norlungue, esposa de Niels Bohr. Dividida em dois atos, tem como tema central um encontro entre os cientistas que ocorreu em 1941, no contexto da Segunda Guerra Mundial. Na época, Heisenberg trabalhava para o programa de pesquisa nuclear alemão, enquanto Bohr e sua esposa, judeus, moravam em Copenhagen, então ocupada pela Alemanha. O autor supõe que Bohr e Heisenberg discutiram sobre fissão nuclear e sua possível aplicação para o desenvolvimento de uma bomba atômica. Durante a conversa fictícia os princípios da Complementaridade e da Incerteza, respectivamente estabelecidos por Bohr e Heisenberg, aparecem como um dos temas centrais.

A maneira pela qual a conversa é conduzida possibilita fazer analogias entre a TQ e decisões humanas acerca da guerra, além de tentar esclarecer conceitos com exemplos analógicos e macroscópicos, como podemos perceber na seguinte fala de Heisenberg: “*Agora, Bohr é um elétron. Ele está passeando pela cidade em algum lugar da escuridão, ninguém sabe aonde. Ele está aqui, ele está lá, ele está em todo lugar e em lugar algum...*” (CARDOSO, 2015, p. 154). Reflexões sobre o papel do desenvolvimento científico na sociedade, questões morais e éticas na produção do conhecimento e relacionadas às possíveis interpretações da

nova teoria que surgia na época do encontro real também podem ser levantadas a partir da leitura do texto.

Foi possível encontrar rica literatura em revisão bibliográfica sobre a obra, porém, com poucos materiais em português. Baym (2005), por exemplo, abordou sobre as analogias encontradas entre a disposição dos atores no palco e o Princípio da Incerteza. Barnett (2005) falou sobre a construção das personagens, vista a partir de uma leitura pós-dramática. Stewart (1999) avaliou a peça explorando os conceitos científicos através de relações entre forma e conteúdo, bem como a relação entre o uso científico e artístico de metáforas, colocando a obra como “*um diálogo entre dois campos do discurso - ciência e teatro - que revela em ambos necessariamente a ambiguidade e a incerteza do resultado*”¹ (p. 306), em uma crítica publicada pela revista especializada em estudos teatrais *New Theatre Quarterly*.

Adentrando em terras (academicamente falando) desconhecidas, buscamos por um referencial teórico que possibilitasse uma análise baseada na estrutura textual, colocando em destaque nosso foco na relação entre forma e conteúdo supracitada, e buscando acima de tudo, não dispersar do conhecimento científico presente no texto. Utilizamos como suporte os trabalhos de Ryngaert (1996), Pallottini (1988), Ball (2005) e Birkenhauer, (2012), dentre os quais os três primeiros discorrem sobre análises dramatúrgicas, e o último discute a diferenciação entre escritas e encenações (textos e formas cênicas) dramáticas e as pós-dramáticas.

Neste contexto, apresentamos esta pesquisa em “dois atos”. No *Primeiro Ato* exploramos o texto a ser trabalhado, da análise e compreensão da sua textualidade a elementos e conceitos científicos abordados por ele. Trazemos, também, alguns aspectos históricos e conceituais da FQ, em especial do Princípio da Incerteza, discutindo, por fim, algumas relações de incerteza identificadas a partir da análise textual. No *Segundo Ato* discorremos sobre noções de leitura e mediação de leitura no Ensino de Física a partir de considerações da AD difundida por Eni Orlandi. Colocamos em foco questões sobre textualização do conhecimento científico, e amparados em Silva (2014), pensamos seu funcionamento em situações de ensino. Em seguida trazemos uma síntese das considerações do ensaio de mediação de leitura realiza com futuros professores de Física, que nos proporcionou subsídios extras para a

¹ *A dialogue between two fields of discourse – Science and theatre – which reveals that both necessarily deal in ambiguity and uncertainty of outcome* (STEWART, 1999, p. 306)

elaboração da proposta. O segundo ato se encerra com uma proposição de estratégias de mediação de leitura pautadas primordialmente na análise da textualidade desenvolvida. Por fim, em termos conclusivos, trazemos no Desfecho as considerações gerais e finais sobre o desenvolvimento desta pesquisa.

1. PRIMEIRO ATO – COPENHAGEN

1.1 A OBRA

Margrethe: Mas por que ele veio para Copenhagen?

Bohr: Meu amor, isso importa? Quanto tempo faz que nós três já estamos mortos?

[...]

Heisenberg: Estamos todos mortos, é certo. E o mundo se lembra de mim só por duas coisas: o Princípio da Incerteza e por minha misteriosa visita a Niels Bohr em Copenhagen em 1941. Todos entendem do que se trata a incerteza! Ou assim eles pensam. Mas ninguém entende porque eu fui para Copenhagen! Eu expliquei uma e outra vez. A Bohr mesmo, e a Margrethe. Aos interrogadores, oficiais de inteligência, jornalistas, historiadores! Quanto mais eu explicava mais incerto ficava. Bem, com muito gosto vou tentar de novo. Agora que estamos mortos e não faremos mal a ninguém, e não trairemos ninguém (CARDOSO, 2015, p. 112)².

A obra *Copenhagen*, escrita pelo dramaturgo britânico Michael Frayn em 1998, consiste em uma conversa pós-morte entre Niels Bohr, Werner Heisenberg e Margrethe Norlungue, esposa de Niels Bohr, na qual se movimentam livremente em um espaço desconhecido e num tempo não determinado. Dividido em dois atos, o texto de Frayn tem como tema central um encontro ocorrido entre os cientistas em 1941, durante uma visita de Heisenberg a Copenhagen, no contexto da Segunda Guerra Mundial.

Personagens fundamentais no desenvolvimento da TQ, Heisenberg, alemão, era um dos principais nomes no programa de pesquisa nuclear de Hitler, enquanto Bohr e sua esposa, de famílias judias, moravam em Copenhagen, nessa ocasião ocupada pela Alemanha nazista. O verdadeiro motivo da visita gerou muita controvérsia e nunca foi esclarecido publicamente pelos sujeitos envolvidos, fato que permitiu a Frayn jogar com as possibilidades e incertezas da conversa. Para White (2003)

O que Heisenberg disse depois depende do testemunho em que se queira acreditar. Segundo aqueles com quem Bohr

² O texto utilizado nesta pesquisa é a *Versão brasileira da peça para fins didáticos* (Anexo A), traduzida por Luis Felipe Massarico Cardoso, do Núcleo de Estudos Transdisciplinares em Ensino, Cultura, Ciência e Ambiente, do Instituto Federal de São Paulo.

conversou após o encontro, o alemão deixou bem claro que estava trabalhando num projeto para desenvolver uma arma atômica [...] Mas, de acordo com Heisenberg, ele simplesmente dissera: “*Eu sei que, em princípio, isto é possível, mas iria exigir um extraordinário esforço técnico que, esperamos, não poderá ser realizado nesta guerra*” (p. 276).

O título *Copenhagen* marca o local do famoso encontro, e também dá nome a uma das interpretações mais aceitas (difundidas) sobre a Teoria Quântica³, a *Interpretação de Copenhagen*, constituída, basicamente pelos princípios da Incerteza e da Complementaridade, respectivamente elaborados por Heisenberg e Bohr.

O Princípio da Incerteza diz respeito a fenômenos estritamente quânticos, e “*exprime o fato de que uma maior previsibilidade nos resultados da medida de um dos observáveis⁴s implica uma diminuição na previsibilidade do outro (para pares de grandezas canonicamente conjugadas)*” (PESSOA JUNIOR, 2003, p. 77). A Complementaridade de Bohr refere-se à “*existência simultânea dos conceitos de partícula e onda [...] sendo juntamente necessárias para uma descrição completa dos processos atômicos*” (PESSOA JUNIOR, 2003, p. 91), embora os comportamentos de partícula e de onda dos entes quânticos jamais se manifestem simultaneamente num mesmo experimento. A complementaridade evidencia o comportamento dual dos entes quânticos, afirmando que “*as propriedades ondulatórias e corpusculares de um objeto quântico constituem aspectos complementares de seu comportamento*” (SILVEIRA; FILHO; SILVA, 2011, p. 325). Esses princípios serão abordados posteriormente com maior ênfase neste capítulo.

Na obra de Frayn o diálogo entre as personagens se desenvolve em torno da primeira fala de Margrethe “*Mas por que ele veio para Copenhagen?*”. O autor constrói, a partir disso, um enredo permeado por acontecimentos históricos, suposições e incertezas, numa esfera ficcional.

³ “*É uma característica notável da Teoria Quântica que ela pode ser interpretada de diferentes maneiras, sendo que cada uma dessas interpretações é internamente consistente e, de modo geral, consistente com experimentos quânticos. Usamos a noção de interpretação como significando um conjunto de teses que se agrega ao formalismo mínimo de uma teoria científica, e que em nada afeta as previsões observacionais da teoria*” (PESSOA JÚNIOR, 2003, p.4).

⁴ Toda quantidade física mensurável descrita por um operador autoadjunto (PINTO NETO, 2010, p.10). A noção de observáveis quânticos surge no trabalho publicado por Heisenberg em 1927, onde “*sustentava que qualquer teoria física se devia apenas ocupar de coisas passíveis de medida experimental*” (GRIBBIN, 1984, p.98).

Não se trata exatamente da reconstituição fictícia do encontro histórico ocorrido em 1941, aos moldes de uma representação documental ou mesmo fictício-documental. No encontro da peça, as personagens estão mortas, como marcam as primeiras falas do texto tanto de Bohr, quanto de Heisenberg. Por outro lado, o texto não deixa de recriar, em seus dois atos, possibilidades para o encontro, trazendo à tona implicações éticas, morais e filosóficas do fazer científico.

A ficção, permeada pela história da ciência, traz conceitos físicos presentes na construção de uma bomba nuclear, além dos princípios relacionados à TQ, e apresenta aspectos do trabalho de dois dos físicos mais importantes do século XX, num recorte em que seus trabalhos são inseparáveis do contexto histórico mais amplo em que foram produzidos, no caso, o contexto da Segunda Guerra Mundial, e de fato, diversos elementos contextuais históricos estão presentes, ainda que não aos moldes puro e simples de uma representação ficcional do evento histórico.

Fortemente presente no primeiro ato, a possível produção da bomba atômica, bem como as responsabilidades e consequências de sua utilização são temas centrais do enredo. Heisenberg teria efetivamente tentando construir uma bomba para os nazistas? O que o motivou a ir ao encontro de Bohr em meio à guerra? Heisenberg buscava informações técnicas ou o conselho do velho amigo? Teria ele tentado um acordo mútuo de não construção da arma? Questões como estas são, implicitamente (ou não), o fio condutor da obra, como no início do primeiro ato:

Margrethe: Então a que veio?

Heisenberg: Esmago as pedrinhas do caminho familiar para a porta de entrada da casa dos Bohr, e toco a campainha! Sinto medo, sim. É uma mistura tola de vaidade e algo que me faz sentir totalmente indefeso, porque dos dois bilhões de habitantes desta terra me deram esta responsabilidade impossível (CARDOSO, 2015, p. 117).

E nos seguintes trechos:

Margrethe: O que ele disse?

Bohr: Nada! Eu não sei! Eu estava bravo demais para entender (CARDOSO, 2015, p. 129).

[...]

Margrethe: Mas. O que Heisenberg tinha dito exatamente? Isso é o que todos querem saber...

Bohr: É o que quiseram saber os ingleses o quanto Chadwick⁵ pode se comunicar comigo! Que disse exatamente Heisenberg?

Heisenberg: E o que, exatamente, Bohr respondeu? Essa foi a primeira coisa que perguntaram meus colegas quando voltei para a Alemanha.

Margrethe: O que Niels disse a Heisenberg? O que Niels respondeu? A pessoa que mais queria saber era o próprio Heisenberg! (CARDOSO, 2015, p. 131).

Frayn constrói, utilizando-se de metáforas, analogias e extrema complexidade temporal no discurso, uma íntima relação das personalidades dos sujeitos envolvidos com suas produções científicas, teorias e posicionamentos filosóficos. Os princípios da Incerteza e da Complementaridade são apresentados conceitualmente em algumas falas das personagens. Mas “incerteza” e “complementaridade”, são palavras que, a partir de suas memórias e para além da conceituação científica, aparecem também arraigadas na própria estrutura textual da peça. Para Stewart (1999) “*Copenhagen é estruturada em torno de um intercâmbio entre a metáfora usada para explicar a ciência e a própria ciência como metáfora para explicar a ação*”⁶ (p. 302).

A utilização de linguagem metafórica e analógica não é uma novidade no teatro, sendo em geral entendida como um poderoso recurso nos textos teatrais. Porém, em obras de temáticas científicas e/ou sobre cientistas, como *Copenhagen*, por exemplo, acreditamos que seja possível levantar discussões que problematizam a (demasiada) simplificação de conceitos científicos, que pode levar à banalização e/ou a uma compreensão distorcida entre o conhecimento científico e o conhecimento tido como de senso comum, entre os sentidos que as palavras podem tomar dentro do contexto de uma teoria científica e outros que outras memórias podem fazer produzir.

O autor compõe sua obra baseado nos trabalhos de biógrafos e historiadores da ciência, entre eles Abraham Pais, David Cassidy e Thomas Powers (SILVEIRA, 2011). Todavia, questões relacionadas a um princípio ético na ciência e, sobretudo, sobre a veracidade dos fatos históricos foram levantadas, visto que se trata de um relato fictício de

⁵ James Chadwick (1891 - 1974), físico britânico responsável pela descoberta do nêutron em 1932, integrante da equipe de cientistas que trabalhou no Projeto Manhatann.

⁶ “*Copenhagen is structured around the interchange between metaphor used to explain science and science itself used as a metaphor to explain action*” (STEWART, 1999, p. 306)

acontecimentos verídicos, vividos por personalidades publicamente conhecidas, em um contexto histórico de guerra.

Se se pode questionar a metaforização de conceitos e princípios científicos, o autor também foi acusado de deturpar a história, apresentando ao público/leitor um posicionamento favorável a Heisenberg, o que o levou a escrever um *post-script*, publicado em 2002, no qual apresenta as diferentes versões dos fatos encontradas por ele nos trabalhos e críticas de jornalistas, historiadores da ciência, biógrafos e professores renomados de Física. Neste *post-script*, o autor demonstra os caminhos de suas escolhas, e apresenta outras visões sobre a personalidade de Heisenberg, que não compuseram seu trabalho. Bem como se posiciona enquanto dramaturgo, produtor de uma obra artística.

[...] É aí que minha peça se afasta do registro histórico, ao supor que em algum momento posterior, quando todos envolvidos se tornaram espíritos do passado eles mesmos, discutiram a questão ainda mais, até que tivessem conseguido um pouco mais de compreensão do que estava acontecendo, assim como eles tiveram tantas vezes quando estavam vivos com as dificuldades intratáveis apresentadas pelo funcionamento interno do átomo⁷ (FRAYN, 2002).

Mesmo neste *post-script*, sua fala não deixa de intercambiar analogicamente História e Ciência, como no destaque grifado do trecho acima.

Barad (2007) faz uma interessante análise crítica do uso analógico do Princípio da Incerteza da Física para o campo ético. Ao tratar do posicionamento político e da produção científica de Bohr e Heisenberg, Frayn insere “relações de incertezas” que aparecem fortemente evidenciadas nas falas de Margrethe Norlungue. A esposa de Bohr, aliás, tem no texto uma função não facilmente identificável, ora ela aparece apenas comentando eventos, ora suas falas refletem pensamentos aleatórios ou falas provocativas, ora ela é um observador “externo” e às vezes ela é colocada no papel de “leiga”, fazendo com que os físicos personagens utilizem “linguagem simples” nas discussões, lembrando a

⁷ “This is where my play departs from the historical record, by supposing that at some later time, when everyone involved had become spirits of the past themselves, they argued the question out further, until they had achieved a little more understanding of what was going on, just as they had so many times when they were alive with the intractable difficulties presented by the internal workings of the atom” (FRAYN, 2002).

estrutura dos *Diálogos sobre os dois Principais Sistemas do Mundo* de Galileu Galilei, entre Sagredo, Simplício e Salviati. Parece predominar a ideia de um personagem “fora”, fazendo contrastar com o foco do evento “incerto”, o encontro, a conversa entre Bohr e Heisenberg, não deixando de sugerir, talvez mais fortemente, o papel de um observador do evento, o que remete novamente à TQ, sobre cujas interpretações a questão do observador tem importância fundamental e foi e é ainda extensamente problematizada e debatida.

Por toda sua complexidade e beleza, a obra de Frayn se apresenta como um texto propenso a ser explorado de diversas formas. A partir de leituras, análises, montagens, dramatizações e adaptações. No campo da Educação em Ciências seria possível abordar concepções sobre o fazer dos cientistas, relações de poder na produção científica (questões políticas), aspectos da Filosofia da Ciência, da História da Ciência, bem como os conceitos envolvidos na produção de uma arma nuclear e os princípios de Incerteza e Complementaridade da TQ.

Ao se tratar de um acontecimento real (o encontro de 1941), embora ficcional o efeito de realidade histórica se mistura no decorrer da peça. É certo que muitos eventos apresentados ocorreram, e é interessante observar a forma que o texto apresenta alguns desses eventos de maneira distinta, nos dois atos, que não só recriam possibilidades do encontro, como apresentam concepções dos fatos e das posições e/ou opiniões das personagens envolvidas. Do surgimento da Quântica à explosão das bombas em Hiroshima e Nagasaki em 1945, *Copenhagen* retrata e relembra acontecimentos que foram decisivos para a produção científica na primeira metade do século XX, e ditaram os rumos seguidos pela comunidade científica após a Segunda Guerra Mundial. Aspectos comumente explorados em textos sobre História e Filosofia da Ciência são apresentados por Frayn e possibilitariam trabalhar concepções sobre ciência e cientistas.

É possível, através da peça, traçar um roteiro dos fatos, encadeamentos que entrelaçam os primeiros problemas e experimentos (físicos e de pensamento) da nova teoria, as relações entre os cientistas que estavam empenhados nas descobertas recentes, concepções sobre cientistas e suas produções, a elaboração dos princípios da Incerteza e da Complementaridade, a descoberta da fissão nuclear, a produção científica durante a Segunda Guerra Mundial e a construção da bomba atômica.

A importância de Heisenberg e Bohr no desenvolvimento da Teoria Quântica é explicitada já no início do primeiro ato, onde ambos falam do período que trabalharam juntos, trazendo a contextualização do enredo, a

relação de amizade que eles tinham e falando pela primeira vez dos trabalhos desenvolvidos por ambos.

Heisenberg: Quem foi Bohr? Ele foi o primeiro, o pai de todos nós! Tudo o que fizemos foi baseado em sua grande intuição!

Bohr: Pensar que veio trabalhar comigo em 1924...

Heisenberg: Acabava de terminar meu doutorado, e Bohr era o físico atômico mais famoso do mundo!

Bohr: ...e em menos de um ano a mecânica quântica te era devedora de umas quantas coisas.

Margrethe: Surgiu do trabalho que fizeram juntos.

Bohr: E um ano depois obtive o Princípio da Incerteza!

Margrethe: E foi tua a complementaridade!

Bohr: A discutimos juntos!

Heisenberg: Juntos fizemos nossos melhores trabalhos (CARDOSO, 2015, p. 113).

Silveira (2011), por exemplo, desenvolveu em sua tese de doutorado intitulada *O teatro como instrumento de humanização e divulgação da ciência: Um estudo do texto ao ato da obra Copenhague de Michael Frayn*, uma montagem adaptada da peça, com três alunos da Licenciatura em Física e uma da Comunicação Social, da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB. O autor apresentou potencialidades de trabalhar concepções sobre a Natureza da Ciência e relações entre Ciência e Arte, pelo viés de considerações sobre a Divulgação Científica, com foco na introdução da TQ a partir da História e Filosofia da Ciência.

Seguindo outro caminho possível, nesta primeira parte da pesquisa apresentamos uma leitura/análise do texto, com foco nos diferentes sentidos de incerteza que permeiam e constituem a obra enquanto texto, objetivando construir subsídios para possíveis utilizações do texto em atividades de mediação de leitura num contexto de formação de professores de Física. Nos itens subsequentes apresentamos os elementos estruturantes do texto, bem como trechos que fizeram suscitar a discussão sobre a polissemia de incerteza identificada nessa forma de textualidade, seus deslocamentos em relação aos sentidos do campo da Física, referências e controvérsias.

1.2 A TEXTUALIDADE TEATRAL

Pensar o discurso artístico, e mais especificamente, a materialidade do texto teatral, se faz necessário para compreender fatores cruciais no

processo de produção de sentidos e nas relações que este texto estabelece com o conhecimento científico, no caso, a Teoria Quântica. Dessa forma, olhamos o texto teatral enquanto um meio específico de circulação do conhecimento científico para então se derivarem estratégias de utilização em atividades educacionais, não apenas como instrumento/ferramenta de ensino, mas como material que, mesmo que estabelecendo relações com o conhecimento científico, tenha suas especificidades e particularidades levadas em consideração na proposição de mediações de leituras. Para Ryngaert (1996) *“Toda obra dramática pode ser apreendida, em primeiro lugar, na sua materialidade, no modo como a sua organização de superfície se apresenta sob forma de obra escrita”*⁸ (p. 35).

1.2.1 Do dramático ao pós-dramático⁹ – Caracterizações

Da Poética de Aristóteles aos estudos do teatro contemporâneo, muito se discute sobre quais seriam as principais características do texto para que seja entendido (aceito) como texto teatral. Considerações acerca do estilo de escrita e dos modos de enunciação separaram, inicialmente, os textos teatrais em gêneros. De acordo com Ryngaert (1996), *“Os gêneros não concernem apenas às formas da escrita, mas também, por intermédio das personagens em ação, à natureza dos temas tratados”* (p. 7). Pallottini, (1988) apresentou as seguintes categorias de gênero definidas por Rosenfeld a partir das obras de Platão e Aristóteles: épico, lírico e dramático, sendo:

[...] lírico aquele em que o poeta fala por si, o dramático aquele em que o poeta faz aparecer personagens, e o épico aquele em que o poeta narra, em seu próprio nome, ou servindo-se de personagens (p. 52).

Nesta perspectiva, *Copenhagen* apresenta uma incerteza (dúvida) estrutural intrínseca quanto à sua natureza, oscilando entre o épico (narrativa de maior extensão) e o dramático (diálogo entre personagens atuantes sem interferências externas), entre memórias narradas individualmente (como na fala de Margrethe: *“E Niels decide, de repente amá-lo novamente, apesar de tudo”* (CARDOSO, 2015, p. 124)) e

⁸ Partindo da premissa de caracterizar e apresentar as especificidades do texto teatral na relação com a Física, considerações sobre a encenação da peça não foram consideradas nesta análise.

⁹ Anteriormente neste mesmo capítulo utilizamos o termo dramático para caracterizar um texto teatral quanto ao seu gênero, de forma que o drama se configurou sinteticamente como narrativa de ações e diálogos. O dramático utilizado neste item, porém, refere-se ao teatro clássico burguês em geral, ao qual a perspectiva pós-dramática se opõe.

diálogos construídos em jogos temporais, do pretérito imperfeito ao mais-que-perfeito. Em toda extensão do texto, oscilações entre narrativas, que se configuram como pensamentos, lembranças e opiniões faladas, como num monólogo, e diálogos que reconstróem o encontro das três personagens são facilmente percebidos.

Bohr: É certo que ele sabe que o estão vigiando. Tem que ter cuidado com o que diz. Mas bem se poderia se cuidar com o que diz.

Margrethe: Tem que se cuidar ou não o vão deixar sair do país de novo.

Heisenberg: Me pergunto se imaginam o quão difícil foi conseguir permissão para vir. Os humilhantes pedidos ao partido, os poucos recursos para “a festa”, os esforços desgastantes para que nossos amigos na chancelaria usassem suas influências.

Margrethe: Como ele parece? Será que ele mudou muito?

Bohr: Um pouco mais velho (CARDOSO, 2015, p. 115).

Neste trecho, no intermédio do diálogo entre Bohr e Margrethe, aparece uma fala de Heisenberg claramente direcionada ao público, como um comentário narrado de uma lembrança. Da mesma forma, no trecho a seguir podemos perceber também na fala de Heisenberg uma breve fuga da conversa direta. Falas que soam tanto como solilóquios ou pensamentos interiores, quanto como narrativas históricas sobre personagens de um épico:

Bohr: Mas era um físico excepcional. E quanto mais eu penso, mais me convenço de que Heisenberg foi o melhor.

Heisenberg: Quem foi Bohr? Ele foi o primeiro, o pai de todos nós! Tudo o que fizemos foi baseado em sua grande intuição!

Bohr: Pensar que veio trabalhar comigo em 1924...

Heisenberg: Acabava de terminar meu doutorado, e Bohr era o físico atômico mais famoso do mundo!

Bohr: ...e em menos de um ano a mecânica quântica te era devedora de umas quantas coisas.

Margrethe: Surgiu do trabalho que fizeram juntos.

Bohr: E um ano depois obtive o Princípio da Incerteza!

Margrethe: E foi tua a complementaridade! (CARDOSO, 2015, p. 113).

A seguir, ainda sobre a oscilação entre diálogos e narrativas, destacamos uma parte inteiramente narrada, que tem no público/leitor o endereçamento direto:

Margrethe: Silêncio. Em que pensará? Em sua vida? Na nossa?

Heisenberg: Silêncio. E é claro que eles estão pensando novamente em seus filhos.

Margrethe: As mesmas memórias brilhantes. A mesma escuridão! Voltam e voltam.

Heisenberg: Seus quatro filhos vivos e dois mortos! (CARDOSO, 2015, p. 127).

Trata-se de falas que soam como de um narrador, independente dos personagens que as pronunciam. Assim como no trecho a seguir:

Bohr: É o que quiseram saber os ingleses o quanto Chadwick pode se comunicar comigo! Que disse exatamente Heisenberg?

Heisenberg: E o que, exatamente, Bohr respondeu? Essa foi a primeira coisa que perguntaram meus colegas quando voltei para a Alemanha.

Margrethe: O que Niels disse a Heisenberg? O que Niels respondeu? A pessoa que mais queria saber era o próprio Heisenberg! (CARDOSO, 2015, p. 131).

Para Ryngaert (1995) “*na forma épica, é comum tomar a sala por testemunha, sem passar pelo simulacro de um diálogo*” (p. 13), já na forma dramática, tem-se “*uma obra que ‘imita’ pessoas que fazem alguma coisa*” (p. 9), trazendo assim o conceito de ação dramática. Nos trechos que destacamos, essas formas se misturam. *Copenhague* possui ação dramática? Como ela se caracteriza em meio aos diálogos e narrativas? A ação dramática no texto está internalizada na percepção do leitor/público.

Ball (2005), no entanto, argumenta que entre aqueles que fazem, leem e comentam sobre teatro, o ponto de convergência para a caracterização do drama se dá em torno da ideia de conflito, pois é a partir do conflito que as personagens agem. A ação ou ação dramática, segundo Pallottini (1988), “*é a ação de quem, no drama, vai em busca dos seus objetivos consciente do que quer*” (p. 9). Para Ball (2005) “*a ação é um*

encadeamento de acontecimentos, ou seja, a ação ocorre quando faz com que uma outra coisa aconteça” (p. 23).

Nesta busca por um objetivo, que desencadeia ações e faz o enredo se desenrolar, surgem resistências que se caracterizam como o conflito dramático; para Pallottini (1988) *“o conflito é o cerne de toda peça de teatro”* (p. 48). É por esse quadro de desejo, ação e conflito que o leitor/plateia se identifica e se comove. Essa personificação das angústias e conflitos humanos que despertam emoções é caracterizada como verossimilhança dramática.

Ball (2005) apresenta quatro categorias de conflito, que ele trata como uma oposição entre o querer e os obstáculos encontrados na busca de um objetivo, são eles: *“Eu contra mim mesmo; Eu contra outros indivíduos; Eu contra a sociedade; Eu contra o destino, ou o universo, ou as forças naturais, ou Deus, ou os deuses”* (p. 51). De maneira similar, para Ryngaert (1996) *“o conflito existe quando um indivíduo é contrariado por um outro (uma personagem) ou quando se depara com um obstáculo social, psicológico, moral”* (p. 64), e afirma mais adiante que, do ponto de vista da mecânica da peça, o conflito comanda o fio condutor.

O conflito em *Copenhagen* não está nas falas enunciadas, se estabelece em torno da memória dos três personagens mortos, contra suas lembranças, contra si mesmos, que buscam a resposta sobre o porquê da visita de Heisenberg a Bohr em 1941, em plena Segunda Guerra Mundial, e apresentam cada um à sua maneira, na forma de um efeito-lembrança, suas versões desse encontro enigmático vivido por eles em vida. O que motivou Heisenberg a visitá-los? Qual o assunto da conversa? As possibilidades são construídas em dois atos, de forma a criarem e se recriam situações de acordo com suas múltiplas perspectivas.

Heisenberg: Por onde caminhamos?

Bohr: Não caminhamos.

Heisenberg: Eu vejo as folhas de outono empilhadas sob as luzes da rua.

Bohr: Porque você acha que foi em outubro!

Margrethe: E foi em setembro!

Bohr: Não havia folhas caídas.

Margrethe: E era 1941. Não se podiam acender as lâmpadas na rua! Estávamos em guerra (CARDOSO, 2015, p. 132).

Em meio às incertezas da memória, surgem outros dilemas que conduzem a trama e aprofundam e constituem outras facetas do conflito-chave da peça: a posição ética e moral de Heisenberg como cientista dentro do programa de pesquisa em Física nuclear da então Alemanha governada por Hitler durante a Segunda Guerra Mundial. Esse conflito se desenvolve, entre outros aspectos sob a construção de uma espécie de dualidade em torno de Heisenberg. Esta é indicada já no início do texto, quando Margrethe e Bohr discutem sobre receberem um alemão como visita.

Margrethe: Mas porque ele veio? O que está tentando dizer?

Bohr: No fundo creio que é muito simples: queria conversar.

Margrethe: Conversar? Com o inimigo? No meio da guerra?

Bohr: Margrethe, meu amor, não éramos inimigos.

Margrethe: Estamos falando de 1941!

Bohr: Heisenberg era nosso amigo!

Margrethe: Heisenberg era alemão! Nós éramos dinamarqueses! Os alemães tinham ocupado o nosso país. Eu nunca vi você tão irritado com alguém como naquela noite com Heisenberg! (CARDOSO, 2015, p. 112).

Quem era Heisenberg? Outra incerteza e vários efeitos de dualidades, que não se resolvem numa direção única, várias faces complementares apesar de parecerem antagônicas ou substancialmente diferentes: amigo/inimigo, cientista/alemão. No mesmo patamar de importâncias, destacamos os embates relacionados a problemas éticos e morais, que serão exemplificados mais adiante, e estiveram em voga sobre a produção científica no período da Segunda Guerra Mundial e se estenderam para além deste.

A incerteza das memórias tem papel fundamental no desenrolar do conflito, que por fim, assim como na vida real, acaba sem resolução ou certezas e definições. Eis as falas finais da peça:

Bohr: Antes que possamos agarrar a algo, nossa vida se acabou.

Heisenberg: Antes que possamos discernir quem ou o que somos, nós fomos para sempre e nos tornamos poeira.

Bohr: Instalados em toda essa poeira que nós levantamos.

Margrethe: E, cedo ou tarde chegará o tempo que todos nossos filhos serão pó, e, em seguida, os filhos de nossos filhos.

Bohr: Quando as decisões, grandes ou pequenas, não se voltam a tomar nunca mais. Quando não há mais incerteza, porque não haverá mais conhecimento.

Margrethe: E quando todos nossos olhos se tiverem fechados, quando até os nossos fantasmas se tenham ido... o que restará do nosso adorado mundo? De nosso arruinado, desonrado e adorado mundo?

Heisenberg: Mas enquanto isso, neste meio tempo precioso aí está. As árvores do parque. Os lugares amados. Os nossos filhos e os filhos dos nossos filhos. Preservados possivelmente, por aquele momento tão breve em Copenhague. Por algum acontecimento será encontrada ou definida em todo. Por esse último núcleo de incerteza que se encontra no coração de tudo o que existe (CARDOSO, 2015, p. 173).

No que diz respeito ao desenvolvimento do conflito, em termos estruturais, *Copenhagen* apresenta uma característica interessante em relação a outros textos teatrais: o autor não faz o uso de indicações cênicas. Tais indicações, chamadas didascálias, apresentam informações de ações, mudanças de entonação, mudanças de plano, entradas e saídas de atores, direcionamentos de falas, entre outros. São os textos (ou subtítulos/textos secundários) que não são destinados à pronúncia, mas auxiliam na imaginação e percepção da ação das personagens.

A fala dramática enquanto função comunicativa possibilita dois sistemas: o interno e o externo. Nesta duplicidade enunciativa, o sistema interno diz respeito à comunicação entre as personagens, e o externo diz respeito a indicações que extrapolam a fala, o texto coadjuvante, as intenções comunicativas do autor. *Copenhagen* é escrito de forma “corrida”, o texto original é composto somente por falas que devem ser pronunciadas pelas personagens, ora na forma de diálogo, ora como narrativa. As personagens são, elas mesmas narradoras, comentadoras e agentes da trama. Para Ryngaert (1996)

Quando o autor não fornece nenhuma indicação é porque deseja se abster de dar outras pistas para a interpretação além daquelas incluídas no texto das personagens. Ele mantém a abertura, até mesmo a ambiguidade, de seu texto, e deixa o campo livre ao leitor, não impondo de antemão qualquer interpretação que sirva de modelo à representação. Com isso também mostra a importância que atribui às palavras pronunciadas pelos atores, mais que a qualquer quadro

figurativo ou a qualquer sistema de desempenho (p. 44).

Frayn, ao se abster das didascálias, torna o próprio texto intrinsecamente instável. Possibilita uma abertura do formato em direção à incerteza. Não são colocadas indicações de cenário, vestuário, disposições, (nada...). Nenhuma indicação cênica. Nesta ótica, dois pontos se destacam na leitura da obra: a forma como o diálogo é estruturado, rompendo com alguns elementos do drama tradicional; e o meio pelo qual a percepção temporal é construída no texto, o tempo em *Copenhagen* é indeterminado. Bohr, Heisenberg e Margrethe conversam ora no presente pós-morte, revivendo lembranças, ora no passado vivido, como se fosse possível alterar os fatos e sem nenhuma indicação explícita de mudança, conforme os trechos:

Margrethe: Olhem para eles! Todavia, pai e filho! Por um momento. Mesmo agora que estamos todos mortos.

[...]

Heisenberg: E nos falaremos e nos entenderemos como então!

Margrethe: E dessas duas cabeças surgirá o futuro. Quais cidades serão destruídas e quais sobreviverão. Quem morrerá e quem viverá. Qual mundo desaparecerá e qual triunfará.

Bohr: Meu querido Heisenberg!

Heisenberg: Meu querido Bohr! (CARDOSO, 2015, p. 146).

[...]

Bohr: Ele está parado no limiar da porta piscando na súbita inundação de luz que vem do interior da casa.

Heisenberg: E, de repente, as razões que estavam claras dentro da minha cabeça perdem definição. A luz cai sobre eles e se dispersam.

Bohr: Meu querido Heisenberg!

Heisenberg: Meu querido Bohr! (CARDOSO, 2015, p. 167).

Esta característica pode colocar em foco questões relativas à textualidade, que possibilitam lançarmos um olhar a partir de outra perspectiva para a análise da peça, pela qual é possível salientar especificidades relacionadas ao texto teatral pós-dramático. Um ponto fundamental no teatro pós-dramático, é o rompimento com a quarta parede, que ressignifica o papel do público no teatro. Para Birkenhauer, (2012), no teatro dramático “*o espectador é endereçado enquanto observador clandestino, que é excluído do acontecimento*” (p. 185). Barnett (2005) considera que “*o teatro pós-dramático torna-se um teatro*

de linguagem em que a palavra é liberada da limitação representacional” (p. 140), e cita a substituição que Poschmann faz entre “personagem” para “portadores de texto”.

Entre o dramático e o pós-dramático, Birkenhauer (2012) aponta o “teatro dramático enquanto lugar de personagens que falam no contexto de ações ficcionais e o pós-dramático enquanto lugar de discursos polifônicos e significantes soltos” (p. 182). Ainda nesta perspectiva evidenciamos o trabalho de Barnett (2005), o autor considera

[...] o texto (*Copenhagen*) visto como um híbrido, em algum lugar entre o dramático e o pós-dramático, definido, como é, em uma vida fictícia após a morte onde as categorias humanas convencionais já não funcionam (p. 139).

Que, assim como na TQ, os objetos são e não são os mesmos do nosso mundo cotidiano.

O trabalho de Barnett chama a atenção por discorrer sobre a estrutura temporal da obra, apontando elementos linguísticos que extrapolam os limites da fala do texto e esboçam múltiplas possibilidades de encenação. Para Barnett (2005) “o teatro pós-dramático não estrutura o tempo” (p. 140), e baseia a partir daí, uma leitura pós-dramática da obra de Frayn. Para isso, ele utiliza a ideia de Lehmann de que “o tempo no teatro pós-dramático é mais parecido com o “tempo em sonho” em oposição ao “tempo na vida cotidiana”” (LEHMANN, 1999 apud Barnett, 2005, p. 140).

O tempo em *Copenhagen* estabelecido enquanto tempo pós-vida, fora da nossa percepção comum, permite com que as personagens se desloquem temporalmente nos eventos, revivendo e refletindo suas vidas. Possibilidades para o diálogo havido entre Bohr e Heisenberg no encontro de 1941 aparecem sem a construção de uma situação representacional próxima de um documentário histórico. Bohr, Margrethe e Heisenberg (fictícios) são, ao mesmo tempo, observadores e observáveis. São capazes de testar possibilidades e reconstruir os eventos, de maneira representacional, cada qual de acordo com suas memórias e conhecimentos, mas jamais com precisão, no caso, uma precisão ou factualidade histórica.

Essas considerações teóricas, entre outras, sugerem a possibilidade de pensá-las na relação com os efeitos de sentido de incerteza que o texto produz. Ou seja, como a peça dialoga com a Física para além da

representação ou rerepresentação de seus conhecimentos? Neste caminho, buscamos identificar no texto as formas pelas quais o autor introduz elementos, relacionando forma e conteúdo, ou seja, que podem produzir efeitos de sentidos de incerteza pela sua textualidade.

Da estrutura textual aos diálogos construídos entre as personagens, evidenciamos diferentes formas e seus possíveis efeitos sentidos de incertezas encontrados, bem como de alguns outros conceitos físicos, como a dualidade onda-partícula, por exemplo. A discussão sobre noções de conceitos físicos, relacionados à Quântica, apresentados na obra será feita na próxima sessão. Após apresentadas essas noções, voltamos a olhar a textualidade teatral mais detidamente, de forma a destacar aspectos da relação entre a textualização teatral e o conhecimento científico.

1.3 NOÇÕES DA TEORIA QUÂNTICA

Pode-se ver até aqui, ainda que não explicitado, várias remissões e relações da peça com a Física, notadamente com a Teoria Quântica. Incerteza, Dualidade, Complementaridade, problemas de representação, deslocamento de tempo e espaços indefinidos, estão presentes na textualidade da peça e são temas fundamentais que caracterizam a TQ. Vejamos então, mais detidamente essa relação entre a peça e a Física.

Michael Frayn, ao escrever *Copenhagen*, concentra-se em três temas centrais de cunho científico. Conforme já mencionado, são eles: Fissão nuclear e os processos pelos quais se viabilizou a construção da bomba atômica, concentrados no primeiro ato; e dois dos princípios chave para a compreensão da Mecânica Quântica, a Incerteza e a Complementaridade (que traz em si a ideia de dualidade onda-partícula), respectivamente desenvolvidos por Heisenberg e Bohr. Sendo todo o texto permeado por relações com conhecimentos científicos e por concepções filosóficas relacionadas às interpretações da Mecânica Quântica.

Com foco na finalidade analítica desta pesquisa, discorreremos a seguir sobre as produções científicas dos sujeitos (personagens), relacionadas à Física Quântica, especificamente ao Princípio da Incerteza. Para tal, acreditamos que se faça necessário uma breve apresentação de importantes momentos no desenvolvimento desta teoria, que tem como marco histórico inicial o trabalho realizado por Planck em 1900, propondo a quantização da energia e provocando, posteriormente, uma renovação conceitual do conhecimento vigente, com o trabalho publicado por Einstein em 1905 sobre o efeito fotoelétrico, no qual expande à luz a

ideia de quantização da energia de Planck (a luz aparece então como uma partícula ou corpúsculo), passando pelas condições de quantização propostas por Bohr para o modelo atômico de Rutherford, e por fim a hipótese que De Broglie apresentou em 1924, associando características ondulatórias a partículas (como o elétron), apresentando suas relações matemáticas.

Vale ressaltar que o desenvolvimento da Teoria Quântica, como no surgimento de qualquer nova teoria, não se deu através de um processo linear e estável. Esses momentos não são os únicos importantes na construção da Quântica, mas pensamos ser suficientes para uma aproximação desta. A apresentação destes momentos antecede as considerações sobre o experimento da dupla fenda, que, neste trabalho, será a base para a compreensão do Princípio da Incerteza de Heisenberg, e nos auxiliará na construção das relações entre os efeitos de sentido de incerteza na textualidade da peça e a noção de incerteza que constitui a TQ. Alguns aspectos sobre os posicionamentos filosóficos dos sujeitos/personagens serão apontados junto à apresentação da *Interpretação de Copenhagen*, no último item da sessão.

1.3.1 A ruptura com ideias clássicas

A última década do século XIX (e o início do século XX) trouxe à comunidade científica um novo, e incômodo, problema. Acreditava-se que toda base teórica das leis da natureza estava consolidada com as leis da Mecânica de Newton e com as Leis de Maxwell para o eletromagnetismo. Teoricamente, essas leis deveriam “dar conta” da descrição e previsibilidade dos fenômenos físicos, salvo algumas exceções que eram, não muito dificilmente, contornadas.

A concepção física do mundo era dualista, a matéria era descrita a partir de um entendimento corpuscular, e a radiação em termos de ondas. Corpúsculos, portadores de massa, possíveis de serem localizados no espaço e no tempo. Ondas transportando energia, não massas, e sem localização espaço-temporal definidas. O estudo da interação radiação-matéria com o problema da radiação do corpo negro¹⁰, que diz respeito à radiação eletromagnética absorvida e/ou emitida pelos átomos de corpos aquecidos, apresentou, na época, uma divergência marcante entre a previsão teórica da termodinâmica (teoria clássica, baseada na mecânica newtoniana) e os resultados obtidos experimentalmente.

¹⁰ Corpo que absorve toda a radiação que nele incide.

Nos limites de baixas frequências do espectro de radiação, a Física Clássica funcionava bem, porém, ao trabalhar com altas frequências, a intensidade da radiação detectada divergia da prevista teoricamente. Classicamente é previsto que uma cavidade bombardeada por radiação deve apresentar uma quantidade alta de radiação com comprimentos de onda pequenos, de forma que, as medidas experimentais deveriam fornecer uma curva que aumentasse infinitamente na região destes. Em outras palavras, um corpo negro deveria emitir grandes quantidades de energia a alta frequência, na região do ultravioleta e para além dela (efeito conhecido como catástrofe do ultravioleta).

Experimentalmente constatou-se que, à medida que a frequência aumentava, a energia das oscilações de alta frequência apresentava uma emissão máxima, com uma queda tendendo a zero para comprimentos de onda muito pequenos. Max Planck supôs, para resolver o problema, a emissão e absorção de ondas eletromagnéticas por pequenos osciladores elétricos, e apresentou um tratamento diferente dos propostos por Rayleigh, Jeans e Wien, anunciando em 1900, que

[...] as emissões atômicas em uma determinada frequência não ocorrem de forma contínua e gradual como indicariam as Leis Clássicas, mas em jatos, que só podem ser emitidos – e assim mesmo com determinadas probabilidades – quando a energia disponível para isso atinge valores que são múltiplos inteiros de um certo valor mínimo dado pelo produto da frequência em questão por uma constante h , conhecida desde então como constante de Planck (DE TOLEDO PIZA, 2007, p. 20).

Resumidamente, a proposta de Planck consiste em assumir algumas modificações em cálculos já conhecidos, supondo que a energia (E), na sua relação com a frequência da radiação emitida/absorvida, assumisse apenas valores que são múltiplos inteiros de uma quantidade elementar, adotando a forma:

$$E = h \cdot \nu \quad (1)$$

onde ν é a frequência da radiação e h é uma constante, que posteriormente ficou conhecida como constante de Planck.

O caráter discreto, não contínuo da energia, não é comportando pelas teorias clássicas, ou seja, pelo paradigma da Física vigente até então.

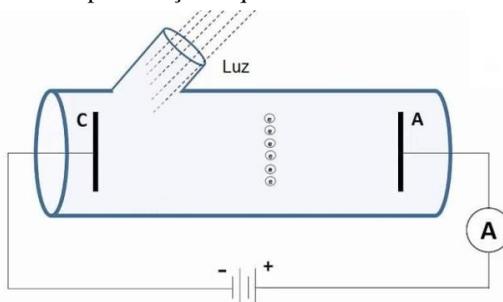
Planck, ao propor a quantização da energia, fez emergir nos anos seguintes, pela comunidade científica, questionamentos sobre possíveis limitações da Física Clássica. A partir de então,

Não só a estruturação dos fenômenos proposta pelas teorias clássicas se mostrou inadequada, mas até mesmo os termos usados na própria identificação e caracterização dos fenômenos tiveram que ser revistos (DE TOLEDO PIZA, 2003, p. 1).

Em 1905, Albert Einstein (em seu ano miraculoso¹¹) publicou cinco artigos que modificaram o entendimento de tempo, espaço, e da estrutura da radiação eletromagnética. No primeiro artigo da série, que lhe rendeu o Nobel de 1926, apresentou seu trabalho sobre o fenômeno conhecido como efeito fotoelétrico, expandido e aprofundando para a luz a ideia de quantização da energia de Planck.

O efeito fotoelétrico consiste na “*liberação de elétrons pela superfície de um metal, após a absorção da energia proveniente da radiação eletromagnética incidente sobre ele*” (CARUSO; OGURI, 2006, p. 331). A experiência do efeito fotoelétrico realizada nos estudos de Philip Lenard, investigada por Einstein, consistia em um tubo de gás rarefeito composto por um cátodo (C) e por um ânodo (A). Fazendo incidir luz no cátodo, verificava-se uma corrente elétrica fluindo no circuito, causada pela ejeção de elétrons pelo cátodo em direção ao ânodo (Figura 1). Sendo a diferença de potencial (ΔV) regulável.

Figura 1 – representação esquemática do efeito fotoelétrico.



Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=iKa2u_EfIEQ (imagem editada)

¹¹ Ano em que Einstein publicou cinco artigos com grandes contribuições para a ciência, entre eles um sobre o Efeito fotoelétrico e um onde apresenta a Relatividade Especial.

O objetivo do experimento é estudar de que maneira a corrente elétrica do circuito depende dos fatores (frequência e intensidade da luz incidente) utilizados. Lenard fez medições, variando a frequência e a intensidade da luz, para analisar o que acontece com a corrente elétrica que passa no circuito.

Das considerações levantadas, observou-se que: a corrente elétrica (i) depende da intensidade luminosa (I); i aparece no medidor quase instantaneamente ($\Delta t \sim 0$), ou seja, o tempo para a corrente ser verificada não depende de I (primeiro obstáculo para interpretação clássica do efeito¹²); para que exista corrente elétrica é necessário que a frequência da luz incidida (f) seja maior ou igual a uma frequência mínima, chamada frequência de corte¹³ (f_0), de forma que só exista corrente para certas frequências, fato este impossível de ser explicado classicamente¹⁴; a frequência de corte depende do metal que o cátodo é feito; por fim, fazendo variar a diferença de potencial do circuito (ΔV), verifica-se a existência de um potencial mínimo para a detecção de corrente elétrica no circuito, chamado de potencial de corte (V_{corte}).

O problema do efeito fotoelétrico surge quando a intensidade da luz é aumentada, pois é verificado que V_{corte} não se altera. Einstein, com base no trabalho de Planck, propõe alguns postulados a respeito da composição da luz, apresentando, dessa forma, uma explicação do efeito fotoelétrico para aquilo que a Teoria Clássica não conseguia explicar. Para ele, não só as trocas de energia entre a matéria e a radiação eram quantizadas, e sim a própria luz. Assim, em uma interação entre fóton (quantum de luz) e elétron, ou há uma troca total de energia, ou não há nenhuma. Sendo a energia do fóton também dada pela equação (1).

O estudo do efeito fotoelétrico realizado por Einstein foi capaz de explicar o fenômeno, com base na ideia de quantização da luz, e prever o valor da constante de Planck, calculado a partir de um experimento completamente distinto da radiação de corpo negro. Uma das principais consequências das deduções de Einstein foi fazer ressurgir na comunidade científica a discussão sobre a constituição estrutural da luz, retomando a discussão com mais profundidade, agora com considerações de quantização. Concepções ondulatórias e concepções corpusculares são entendidas e tratadas de maneiras completamente distintas.

¹² A radiação eletromagnética da luz vai movimentar o elétron até que a energia dele seja suficiente para que escape do metal, fazendo com que apareça corrente no circuito.

¹³ Frequência mínima para que o efeito fotoelétrico se evidencie.

¹⁴ Classicamente a frequência da luz não poderia interferir na emissão de elétrons, somente a intensidade da luz teria influência.

Einstein inicia assim seu artigo de 1905 sobre o efeito fotoelétrico:

Há uma profunda diferença formal entre os conceitos teóricos que os físicos formaram a respeito dos gases e de outros corpos ponderáveis e a teoria de Maxwell dos processos eletromagnéticos no assim chamado espaço vazio (EINSTEIN apud TORT; STACHEL, 2005, p. 201).

Consequentemente, com o intuito de explorar as hipóteses de quantização, o estudo das propriedades atômicas se desenvolveu rapidamente nas principais universidades da Europa.

Em 1911, Ernest Rutherford apresentou uma nova estrutura para o modelo atômico, conhecido como modelo planetário. Ele propôs o átomo composto por uma parte central - o núcleo - carregada eletricamente, circundada por partículas leves com carga elétrica contrária à do núcleo. O modelo de Rutherford, interpretado pelas leis da Física Clássica, logo apresentou problemas relacionados à sua estabilidade¹⁵, justamente porque estas leis previam a emissão contínua de radiação eletromagnética pelo átomo, o que não acontecia, caso contrário todos os átomos seriam instáveis.

Em 1913, Niels Bohr, que ficou conhecido como um dos principais formuladores da Mecânica Quântica, com base na teoria de Planck para a radiação do corpo negro e no modelo atômico de Rutherford, introduziu

[...] uma série de emendas quânticas à aplicabilidade irrestrita das Leis Clássicas, sob a forma de um conjunto de regras especiais que deviam se sobrepor às determinações dessas leis para o movimento dos elétrons no átomo [...] As órbitas permitidas pelas regras de Bohr têm raios e energias bem definidos, e são selecionadas através de condições adicionais chamadas de condições de quantização (DE TOLEDO PIZA, 2007, p. 26).

De forma a assumir como princípios fundamentais, que:

¹⁵ “O problema é que os elétrons carregados estariam constantemente acelerados em seu movimento em torno do núcleo, e, de acordo com a teoria eletromagnética clássica, todos os corpos carregados acelerados irradiam energia na forma de radiação eletromagnética. A energia seria emitida às custas da energia mecânica do elétron, que se moveria em espiral até atingir o núcleo. Novamente teríamos um átomo que rapidamente sofreria um colapso para dimensões nucleares” (EISBERG; RESNICK, 1994, p. 134 – 135).

1) Um sistema atômico pode existir, e somente pode existir permanentemente, numa série de estados que correspondem a uma série descontínua de valores de sua energia; conseqüentemente, qualquer mudança da energia do sistema, incluindo emissão e absorção de radiação, deve ocorrer através de uma transição completa entre dois desses estados, que serão chamados estados estacionários do sistema.

2) A radiação emitida ou absorvida durante a transição completa entre dois estados estacionários é “unifreqüentica” e possui uma freqüência ν dada pela relação

$$E' - E'' = h \cdot \nu$$

Onde h é a constante de Planck e E' e E'' são os valores da energia nos estados considerados (DE TOLEDO PIZA, 2003, p. 10 – 11).

Apresentando, assim, uma discretização da energia dos sistemas atômicos.

Muitos físicos do mundo tinham, nessa época, sua atenção voltada à compreensão da estrutura da matéria, à busca por soluções dos problemas das hipóteses de quantização, dos seus fenômenos observados em experimentações, e quais seriam as implicações teóricas e filosóficas no fazer científico vigente. Pois, com o desenvolvimento da Quântica uma nova forma de enxergar o mundo estava sendo construída. A Física passava por uma reavaliação do paradigma existente, e muito do que era tido como certo, tornara-se questionável. Uma nova linguagem foi criada para expressar os acontecimentos dos fenômenos quânticos e o ato de conhecer e pensar a natureza foi reestruturado e ressignificado para os níveis atômico e molecular.

Louis De Broglie, baseado numa ideia de simetria da natureza, sugeriu em 1923 que, “*se as ondas de luz se comportam por vezes como partícula, não poderão também os elétrons comportar-se como onda?*” (GRIBBIN, 1984, p. 68). Propondo, dessa forma, que a dualidade onda-partícula não é específica da radiação eletromagnética, sendo extensível a corpos materiais. A partir das seguintes relações:

$$E = h \cdot \nu \quad \text{e} \quad p = h / \lambda \quad (2)$$

Com p sendo o momento e λ o comprimento de onda associado. De Broglie introduziu sua hipótese, observando que as duas equações

abarcavam propriedades ondulatórias (frequência) e corpusculares (energia e quantidade de movimento), ambas contendo a constante de Planck. O trabalho de De Broglie, capaz de explicar a hipótese de quantização do átomo de Bohr, foi comprovado experimentalmente em 1927 por Clinton Davisson e Lester Germer (GRIBBIN, 1984, p. 71).

Resumidamente, a radiação eletromagnética passou a ser compreendida a partir de duas perspectivas, como composta de partículas (fótons), conforme evidenciou o Efeito Fotoelétrico, e enquanto fenômeno ondulatório, obedecendo às equações de Maxwell. Ressaltamos que nos abstivemos de muitos acontecimentos e conceitos desenvolvidos nos períodos mencionados, e que estes nem sempre foram apresentados em ordem cronológica. A intenção de mostrar, mesmo que brevemente, o caminho pelo qual se construiu o desenvolvimento da compreensão da dualidade onda-partícula, principalmente a partir dos trabalhos realizados por Planck, Einstein, Bohr e De Broglie, foi uma escolha baseada no objetivo de apresentar a essência do Princípio da Incerteza de Heisenberg através do experimento da dupla fenda.

A busca pela compreensão, descrição e previsibilidade do “comportamento” do átomo aparece no texto de Frayn, de diferentes maneiras, como podemos observar nos seguintes trechos:

Margrethe: Então, por que todos seguem trabalhando no tema?

Bohr: Porque tem algo de mágico! Se dispara um nêutron no núcleo de um átomo de urânio e se divide em dois elementos distintos! Foi o que tentaram fazer os alquimistas, que um elemento se converta em outro! (CARDOSO, 2015, p. 117)
[...]

Bohr:...o funcionamento do átomo era difícil de explicar! Fizemos muitas tentativas! A cada tentativa ele se tornava mais obscuro. Mas ao final chegamos. Vamos, outro projeto, outro projeto! (CARDOSO, 2015, p. 146)

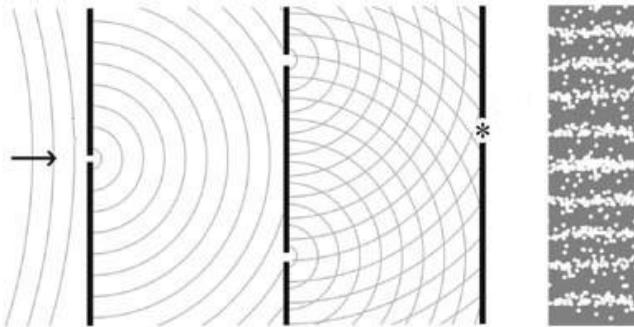
1.3.2 O experimento da dupla fenda¹⁶

O experimento da dupla fenda, realizado com um feixe de elétrons, esquematizado abaixo (Figura 2), consiste na emissão de elétrons em

¹⁶ As explicações aqui apresentadas do experimento da dupla fenda foram retiradas/baseadas em vídeo-aulas disponibilizadas no canal de Física Moderna da UFF, pelo site de compartilhamento de vídeo Youtube, disponível nos links https://www.youtube.com/watch?v=OLc_v5-sQeM,

direção a duas fendas (com abertura e distância precisamente estipuladas¹⁷), e um anteparo para detectar a chegada dos elétrons do outro lado das fendas, onde é observado um padrão de interferência. As regiões claras são definidas como regiões de alta probabilidade do elétron chegar e as regiões escuras são regiões de baixa probabilidade. O padrão de interferência observado é, sem dificuldade, associado aos padrões de interferência observados em fenômenos tipicamente ondulatórios¹⁸. A existência deste padrão permite afirmar o comportamento ondulatório do elétron.

Figura 2 – Padrão de interferência observado no experimento da dupla fenda



Fonte:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/59686/mod_resource/content/1/Material%20da%20Monografia%20Grupo%206%20Noturno.pdf (imagem editada)

É sabido que, desde sua descoberta em 1897, o elétron é entendido e tratado como partícula, com massa e carga bem definidos. Um questionamento simples (e cabível) surge nesta circunstância. Por onde o elétron passou? Esta pergunta, de significado fundamental na Física Clássica, muda de patamar no tratamento Quântico, bem como altera toda relação observador-fenômeno, ou no arranjo experimento-medida.

Ao tentar determinar por onde o elétron passou (detecção pontual), por meio de algum dispositivo acoplado ao experimento, perde-se a figura de interferência. Ou seja, ao tentar identificar uma característica

<https://www.youtube.com/watch?v=rTP40WtBXDA>,

<https://www.youtube.com/watch?v=WSNwVePppVQ> (último acesso em 01/08/2018).

¹⁷ A distância entre as fendas (d) deve ser da ordem de grandeza do comprimento de onda do elétron para se configurar o padrão de interferência.

¹⁸ Ondas provocadas em uma tuba de água, por exemplo.

corpúscular do elétron, o caráter ondulatório de seu comportamento desaparece.

Isto ocorre porque, para determinar por qual fenda o elétron passou, é necessário, por exemplo, lançar uma luz (de comprimento de onda - λl - adequado) sobre ela. Ao iluminá-la, provoca-se uma interação entre o elétron e o fóton emitido pela luz incidente. Considerando as dimensões das grandezas envolvidas no experimento, temos que:

- i) para que haja interferência, a distância entre as fendas (d) deve ser da ordem de grandeza do comprimento de onda do elétron ($d \sim \lambda e$);
- ii) o comprimento de onda da luz deve ser menor que a distância entre as fendas ($\lambda l < d$), caso contrário não é possível determinar de qual fenda a luz foi refletida.

De acordo com as relações (eq. (2)) que estabelecem a ligação entre características corpusculares (posição e momento - localizados) e ondulatórias (frequência e comprimento de onda), conforme já mencionado anteriormente, deduz-se que se o comprimento de onda da luz que vai interagir com o elétron tem que ser menor ou igual a distância entre as fendas, obedecendo a relação de De Broglie, temos para o momento da luz (p):

$$p = h / \lambda l$$

E, se o comprimento de onda da luz deve ser menor que a distância entre as fendas ($\lambda l < d$), então:

$$p \geq h / d$$

Como, o momento do elétron (pe) é:

$$pe = h / \lambda e$$

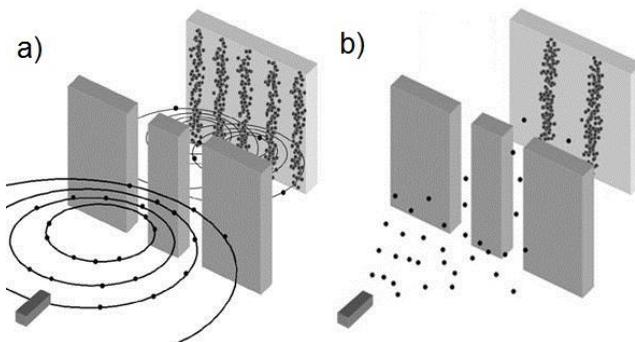
Temos que:

$$p \geq pe$$

De forma que, iluminar a fenda para determinar por onde o elétron passou, implica em fazer com que o elétron interaja com um fóton que tem momento maior ou igual ao seu próprio momento.

Nesta interação há troca de momento e, conseqüentemente, o momento do elétron após a interação sofre uma alteração da ordem de p , ou seja, o momento do elétron é modificado por uma quantidade que é aproximada ao seu próprio momento, podendo alterar totalmente sua trajetória inicial (Figura 3a). Esta modificação no momento/trajetória do elétron faz sumir o padrão de interferência, sendo que, o que se observa é uma distribuição de o elétron chegar a determinado lugar, conforme podemos observar na Figura 3b, as figuras simétricas geradas pelo ato de fechar as fendas, uma de cada vez.

Figura 3 – Experimento da dupla fenda: a) sem dispositivo para detectar a fenda pela qual o elétron passou; b) com dispositivo para detectar a fenda pela qual o elétron passou.



Fonte: <https://i0.wp.com/culturanerdegeek.com.br/wp-content/uploads/2017/04/experimento-de-dupla-fenda.jpg> (imagem editada)

Na Física Clássica existe um objeto onda e um objeto partícula, dois objetos de naturezas diferentes. No experimento da dupla fenda tem-se um outro (e novo) objeto cuja natureza uma hora é onda e uma hora é partícula, e isso depende do experimento, ou seja, depende do modo como é medido. Desta forma, surgiu uma série de interpretações sobre o que está acontecendo no fenômeno, cuja essência do Princípio da Incerteza está presente.

Deste experimento concluiu-se que não é possível observar objetos quânticos com nossos sentidos (de ordem clássica), pois toda observação

deve ser mediada por um aparato que provoca uma perturbação no objeto que está sendo observado, fazendo com que a informação obtida na interação seja modificada. Como representar, então, um objeto (desconhecido) que possui comportamento ondulatório, e que ao mesmo tempo pode ser localizado no espaço?

O tratamento matemático desse objeto foi baseado no conceito clássico de *pacote de ondas*¹⁹. De forma que, se considerarmos várias ondas com comprimentos de onda muito próximos, a soma delas poderá ter uma localização, de extensão Δx , bem definida. O pacote de onda aqui, grosso modo, é entendido como um objeto que se propaga em movimento ondulatório e interage com a radiação (e/ou matéria) como partícula, possuindo uma extensão possível de ser determinada.

A representação matemática dos pacotes de ondas pode ser dada por uma função periódica que produz uma limitação de se conhecer com alto grau de precisão e ao mesmo tempo a posição e o momento (Δp) de um objeto quântico, tendo como situações limite: $\Delta x \rightarrow 0 \Rightarrow \Delta p \rightarrow \textit{diverge} (\rightarrow \infty)$ e $\Delta p \rightarrow 0 \Rightarrow \Delta x \rightarrow \textit{diverge} (\rightarrow \infty)$. De modo que a única possibilidade de se saber precisamente o momento de um objeto quântico é quando não se tem informação nenhuma sobre sua posição (e vice-versa).

O experimento da dupla fenda possibilita uma dedução das relações de Incerteza de Heisenberg, além de abarcar todo conceito da Complementaridade, que são diretamente relacionados e constituem o pilar da *Interpretação de Copenhagen* da TQ, proposta inicialmente por Heisenberg e Bohr. Porém, não foi a partir dele que Heisenberg deduziu tais relações. Nos tópicos seguintes apresentamos uma síntese da maneira pela qual se sucedeu esse desenvolvimento.

1.3.3 Heisenberg e o Princípio da Incerteza

No início dos anos 20 do século XX, uma nova geração de físicos se formava em meio a uma comunidade científica imersa em novas ideias, debates e possibilidades da teoria que se constituía, entre eles estavam Werner Heisenberg, Paul Dirac, Wolfgang Pauli e Pascual Jordan. Heisenberg, nascido em 1901 na cidade de Würzburg, na Alemanha, iniciou seus estudos em Física teórica (dedicados à TQ, especificamente das propriedades dos espectros atômicos) com Arnold Sommerfeld na

¹⁹ Instrumento matemático que representa a superposição de ondas de frequências diferentes, que tem como característica fundamental se propagar enquanto onda e ser possível de ser localizada no espaço.

Universidade de Munique, tendo trabalhado nos anos seguintes com Max Born e Niels Bohr. Durante esses anos que antecederam a formulação da Mecânica Quântica Matricial, Heisenberg se inclinou ao rompimento com os preceitos da teoria clássica, que ainda não tinha sido posta de lado (DE TOLEDO PIZA, 2007).

Neste contexto, Heisenberg introduziu em seus estudos a suposição de que qualquer teoria física deveria se ocupar apenas de coisas passíveis de medida experimental (GRIBBIN, 1984), apresentando assim o conceito de *observáveis*. Em 1925, focalizando seus estudos em grandezas observáveis, apresentou seu trabalho intitulado *Reinterpretação Quântica de Relações Cinemáticas e Mecânicas*, onde desenvolveu o argumento a partir de duas considerações essenciais, são elas: de que as leis clássicas não são válidas no nível atômico; e, que o princípio de correspondência²⁰ de Bohr é fundamental para a TQ (DE TOLEDO PIZA, 2003).

No início de 1925 viajou para a ilha de Helgoland para se tratar de um problema de saúde (DE TOLEDO PIZA, 2007). Na ilha, iniciou seu trabalho para tentar interpretar os resultados quânticos em termos de pares de estado. Neste contexto, desenvolveu um novo tratamento teórico e matemático. Quando retornou a Gottingen, Heisenberg encaminhou um manuscrito de seu novo trabalho a Pauli. A matemática dos pares de Heisenberg envolvia disposições diferentes dos números²¹. Born, quando teve acesso ao material, percebeu que as disposições e arranjos numéricos de Heisenberg já eram conhecidos na matemática, sendo chamados de *matrizes*.

Ainda em 1925, Born e Jordan publicaram um artigo em resposta ao trabalho de Heisenberg, consolidando o tratamento teórico deste. A Mecânica Quântica Matricial foi desenvolvida conjuntamente entre Born, Jordan e Heisenberg, em torno do oscilador harmônico, e a partir de então emergiram os ingredientes formais da TQ tal como é conhecida hoje (DE TOLEDO PIZA, 2003). Born obteve a relação

²⁰ Postulado enunciado por Niels Bohr em 1923, que afirma que: “1. As previsões da teoria quântica para o comportamento de qualquer sistema físico devem corresponder às previsões da física clássica no limite no qual os números quânticos que especificam o estado de um sistema se tornam muito grandes. 2. Uma regra de seleção é válida para todos os números quânticos possíveis. Portanto, todas as regras de seleção que são necessárias para obter a correspondência exigida no limite clássico (n grande) também se aplicam no limite quântico (n pequeno).” (EISBERG; RESNICK, 1994, p. 158)

²¹ “Ao multiplicar entre si dois arranjos de números, o resultado não era independente da ordem pela qual se fazia a multiplicação” (GRIBBIN, 1984, p. 79). Estes são conhecidos como pares de variáveis que não comutam.

$$pq - qp = h / 2\pi i \quad (3)$$

considerando p e q matrizes associadas a variáveis quânticas. Devido a sua complexidade, poucos compreendiam a mecânica matricial. No mesmo ano, Dirac recebeu o trabalho de Heisenberg (ainda sem ser publicado) e reescreveu as equações seguindo o formalismo de William Hamilton²², ressaltando a importância da não comutatividade das grandezas ($a \times b \neq b \times a$).

Questões referentes à natureza da matéria e ao seu funcionamento emergiram neste cenário de novas descobertas e propostas. Experimentos decisivos como do efeito fotoelétrico, espalhamento Compton, dupla fenda e a Câmara de nuvens, bem como os experimentos de pensamento de Heisenberg e Einstein, foram arquitetados e minuciosamente estudados a fim de se compreender o comportamento “exótico” das partículas subatômicas. Continuidade versus descontinuidade, partícula versus onda, previsibilidade versus probabilidade, como enquadrar todos esses elementos num mesmo quadro ontológico que sustente uma nova (e surpreendentemente complexa) teoria?

Em meados da década de 1920, a Teoria Quântica recebeu suas duas primeiras formulações matemáticas, distintas mas coerentes entre si e completas internamente. Uma elaborada em termos de funções de onda, desenvolvida por Erwin Schroedinger, e outra a partir de álgebra matricial, desenvolvida por Heisenberg. Duas formulações diferentes para descrever o mesmo objeto físico, dois caminhos, e, conforme comprovado posteriormente pelo próprio Schroedinger, inesperadamente equivalentes. Surgiram grandes debates em torno da equivalência das diferentes formulações na comunidade científica, incluindo o que ocorreu na famosa Conferência de Solvay de 1927, onde estavam presentes Bohr, Einstein, Heisenberg, Schroedinger, Planck, De Broglie, entre outros.

Em um nível mais aprofundado da discussão, muito mais do que duas formulações matemáticas, estavam em jogo duas formas distintas de pensar e observar a natureza, dois posicionamentos filosóficos distintos sobre a essência da matéria e da energia. Várias interpretações filosóficas que surgiram na época estão em debate ainda nos dias atuais. Pessoa Junior (2003) afirma que “*Existem dezenas de interpretações diferentes da Teoria Quântica, que podem ser agrupadas em quatro ou cinco grupos.*” (p. 5), e as apresenta ordenadamente como *Interpretação*

²² Formulação matemática conhecida como Hamiltoniana.

Ondulatória, Interpretação Corpuscular, Interpretação Dualista Realista e a Interpretação da Complementaridade.

Representações sobre as bases filosóficas da produção científica também estão presentes de diversas formas em *Copenhagen*. No trecho abaixo Heisenberg faz uma analogia da vida cotidiana de Bohr e seu modo de “fazer ciência”, enquanto Bohr levanta questionamentos sobre o pragmatismo matemático de seu amigo. Estas informações estão, conforme já mencionado, intimamente relacionadas ao modo de pensar e agir dos cientistas sobre a natureza. É importante ressaltar que, algumas divergências de pensamento apresentadas na peça são fatores responsáveis pelas diversas interpretações que a TQ possui/permite, interpretações estas que representam uma característica singular da nova teoria e que, embora seu sucesso formal e experimental, ainda permanecem em aberto.

Heisenberg: Você esquiava como fazia ciência! O que estava esperando? Provavelmente estava realizando os cálculos das dezessete rotas possíveis diferentes!

[...]

Bohr: Sim, mas não te importava que destruisse no caminho. Enquanto funcionava a matemática estavas satisfeito.

Heisenberg: Se algo funciona, funciona.

Bohr: Mas a pergunta sempre é: o que significa a matemática? Em uma linguagem simples. Quais são as implicações filosóficas?! (CARDOSO, 2015, p. 125 - 126).

“*Sobre o conteúdo visualizável da cinemática e da mecânica na Teoria Quântica*” foi o título do trabalho publicado por Werner Heisenberg em 1927, no qual ele apresentou suas relações de incerteza, deduzidas a partir da equação fundamental da mecânica matricial, que mais tarde ficariam conhecidas como Princípio da Incerteza (DE TOLEDO PIZA, 2007). O princípio diz, de forma simplificada, que a determinação precisa do valor de um observável acarreta na falta de precisão na medida da grandeza canonicamente conjugada (PESSOA JUNIOR, 2003). Vale ressaltar que ele surge de uma abordagem matemática e possui aplicabilidade altamente restrita a fenômenos quânticos. Sua forma mais usualmente conhecida é expressa pela relação

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq h \quad (4)$$

Onde Δx é a incerteza da posição, Δp é a incerteza do momento da partícula, e o produto de ambas não pode ser menor que h (constante de Planck). A mesma relação é válida para outros pares de grandezas canonicamente conjugadas, como energia e tempo.

Em Copenhague é possível identificar a apresentação explícita da ideia em torno da Incerteza física. Frayn utiliza-se de uma situação cotidiana para apresentar, metaforicamente, o que seria a essência dessa Incerteza. Como no trecho em destaque.

Bohr: Pelo menos eu sabia onde eu estava. Na velocidade que iam estavam enfrentando a relação de incerteza! Se eles sabiam onde estavam, não sabiam o que a velocidade tinha baixado! Se sabiam a que velocidade havia baixado, não saberiam onde estavam.

Heisenberg: Eu não preciso parar para pensar...

Bohr: Justamente isso é o que poderia ser criticado em parte de seu trabalho (CARDOSO, 2015, p. 125).

É importante atentarmos ao fato de que o Princípio da Incerteza de Heisenberg, conforme já mencionado, diz respeito à natureza Quântica de certas entidades que exigem essa dualidade onda-partícula. Ou seja, as relações de incerteza não são aplicáveis a fenômenos de ordem clássica. Dessa forma, a própria Teoria Quântica se deparou com o paradoxo da linguagem, visto que os conceitos clássicos não poderiam ser utilizados na descrição dos fenômenos quânticos. Neste sentido, a utilização dos conceitos de posição e velocidade (momento) do corpo clássico com exemplos macroscópicos pode não ser favorável ao entendimento quântico, oportunizando a produção de sentidos deslocados dos da TQ.

Em seguida, ainda no trecho acima, as personagens iniciam uma discussão de cunho filosófico, que também é ressaltada em alguns outros momentos, sobre as diferenças nas formas de pensar e produzir ciência existente entre ambos. Essas divergências filosóficas e epistemológicas foram determinantes no desenvolvimento e apreciação das diversas interpretações que a TQ comporta.

Enquanto

Para Bohr, nossa mente funciona classicamente. Os conceitos que entendemos e podemos comunicar aos nossos pares são clássicos e como tal qualquer teoria científica deve ser formulada em termos clássicos (PINTO NETO, 2010, p. 16).

Heisenberg caracteriza as quantidades atômicas observáveis, conceito central no desenvolvimento da Mecânica Quântica Matricial, de forma que ela restrinja os cálculos a elementos que podem ser conhecidos/averiguados experimentalmente, como frequência, intensidade e níveis de energia. Esta característica do trabalho de Heisenberg também é colocada de maneira explícita no texto, bem como sua apreciação pelos modelos puramente matemáticos, conforme destacado nos trechos seguintes:

Heisenberg: Sim. Minha cabeça começou a clarear, e eu tive uma imagem muito clara de como deveria ser a física atômica. De repente, me dei conta que tínhamos de limitá-la às medições que poderíamos fazer, ao que poderíamos observar. Não podemos ver os elétrons dentro do átomo [...] (CARDOSO, 2015, p. 149).

[...]

Heisenberg: Sim. Foi terrivelmente desgastante. Mas perto das três horas da manhã consegui resolvê-lo. Parece como se estivesse olhando através da superfície dos fenômenos atômicos e eu vejo um estranho e belo mundo interior. Um mundo de estruturas puramente matemáticas. E sim, estava feliz! (CARDOSO, 2015, p. 150).

Ainda sobre o Princípio da Incerteza, é importante destacar as considerações que as principais interpretações apresentam. Tais interpretações surgem de concepções integralmente distintas (posicionamentos epistêmicos e filosóficos) e levam a compreensões diversas do mesmo fenômeno. Chibeni (2005) argumenta sobre as versões *ontológica de Indefinição* (ou indeterminação) e *epistemológica de Incerteza*, na qual a primeira diz respeito “a uma indeterminação intrínseca aos entes físicos” (p. 183), e a segunda sendo uma “noção epistêmica, ou seja, relativa ao nosso conhecimento” (p. 184).

Pessoa Junior (2003), como já mencionado, sintetiza algumas interpretações da seguinte forma:

Interpretação Ondulatória: Atribuindo uma realidade apenas para o pacote de onda (sem postular a existência de partículas pontuais), Δx mede a extensão do pacote, indicando que a posição x do objeto quântico é indeterminada ou mal definida por uma quantidade Δx ;

Interpretação Dualista Realista: A partícula tem sempre x e p bem definidos simultaneamente, só que tais valores são desconhecidos. Se medirmos x com boa resolução, temos necessariamente uma incerteza ou desconhecimento grande para p , pois a medição de x por um aparelho macroscópico provoca um distúrbio incontrolável no valor de p ;

Interpretação Dualista Positivista: Vimos que é impossível um fenômeno ser (100%) corpuscular e (100%) ondulatório ao mesmo tempo. De maneira análoga, é impossível medir simultaneamente x e p , com resoluções menores do que Δx e Δp dados pela Eq. 1;

Interpretação Corpuscular: Alguns proponentes da interpretação dos coletivos estatísticos [...], afirmam que é possível medir simultaneamente x e p , com boa resolução. O que ocorreria é que se prepararmos o mesmo estado quântico várias vezes, e medirmos x e p , obter-se-ão os desvios padrões Δx e Δp . Assim, o princípio de incerteza seria exclusivamente uma tese estatística, ao contrário do que afirmam as outras interpretações, que também aplicam este princípio para casos individuais (p. 74).

Das possíveis interpretações, dos conceitos (completamente) novos, de uma linguagem clássica não mais compatível, a Mecânica Quântica se apresentou em uma estrutura extremamente singular. Seu desenvolvimento e aprofundamento se deram muito além do que foi apresentado até aqui. De toda forma, com o exposto, nos ocorreu indagar: Como um texto teatral, com sua linguagem específica, se apropria do discurso científico? *Copenhagen*, além das considerações apresentadas até aqui, traz também uma arriscada tentativa de apresentar seus protagonistas, utilizando metaforicamente, suas próprias teorias como ingredientes estruturantes de suas personalidades, visões filosóficas (geradoras de diversas interpretações), e posicionamentos éticos e morais.

Heisenberg: Muito interessante. Tão interessante que nem sequer te ocorreu. Uma vez mais, a complementaridade. Eu sou teu inimigo; também sou seu amigo. Sou um perigo para a humanidade; também sou seu convidado. Sou uma partícula; Também sou uma onda.

[...]

Margrethe: Vou te contar outro motivo pelo que fizestes o princípio da incerteza, tens uma afinidade natural com ele (CARDOSO, 2015, p. 161).

Essa alegação expande os efeitos de sentido de incerteza para além de uma teoria e suas especificidades ontológicas e epistemológicas e conceituais, chega a se relacionar com a vida de Heisenberg, deixando a complementaridade na forma como Bohr o vê, e de certa forma, sustenta a estrutura textual de *Copenhagen*. Em vários trechos do texto foi possível perceber associações sobre dualidades e incertezas presentes na vida e nas obras dos sujeitos/personagens.

A essência da Complementaridade de Bohr pode ser percebida na discussão onda-partícula apresentada anteriormente. O princípio proposto por Bohr evidencia o comportamento dual dos entes quânticos, afirmando que “*as propriedades ondulatórias e corpusculares de um objeto quântico constituem aspectos complementares de seu comportamento*” (PESSOA JUNIOR, 2003, p. 91) Bohr, que era defensor de uma “linguagem clássica”, alegava que ela era necessária para interpretar os resultados experimentais, porém reconhecia as limitações para descrever os fenômenos quânticos, daí a necessidade dela ser utilizada complementarmente em termos dos elementos que nela mesma seriam contraditórios.

Ainda que tivessem trabalhado juntos antes da guerra, Bohr e Heisenberg tinham divergências significativas na forma de interpretar os fenômenos Quânticos. Enquanto Bohr alegava a existência simultânea dos conceitos de partícula e onda, de forma que o entendimento da dualidade fosse fundamental para a descrição das interações atômicas, Heisenberg defendia a existência de uma interpretação que fosse única (PESSOA JUNIOR, 2003, p. 91).

De acordo com Crease (2011), as divergências foram amenizadas em 1927, ele aponta que

[...] A trégua tornou-se pública em setembro, numa celebração, no lago de Como, do centésimo aniversário da morte de Alessandro Volta. Bohr proferiu um discurso propondo uma desconfortável acomodação entre as mecânicas ondulatória e matricial, e Heisenberg ficou de pé, ao final, para sinalizar seu apoio. Ondas e partículas, disse Bohr, são maneiras de falarmos sobre eventos no domínio atômico. Nenhuma das duas é totalmente precisa, mas ambas têm esferas de aplicação restritas, porém sobrepostas. Elas são, declarou Bohr, modos complementares de falarmos sobre algo do qual não temos conhecimento direto (p. 229).

Esta interpretação conhecida como *Interpretação de Copenhaga*²³ (ou Interpretação Ortodoxa), afirma a impossibilidade de um sistema quântico ter significado independente do arranjo experimental, sendo o ato de observar algo entendido como uma ação sobre algo. De caráter estatístico, tudo que se pode obter das experiências é dado em probabilidades, de forma a não se poder afirmar nada sobre o sistema enquanto este não é observado. Ela é um dos temas centrais da obra de Frayn. Pessoa Junior (2003) afirma que ela foi “*defendida por todos os fundadores da Mecânica Quântica, com exceção de realistas como Planck, Einstein, De Broglie e Schroedinger*” (p. 96). Em algumas interpretações quânticas esse “problema” aparece relacionado ao observador.

1.4 INCERTEZAS

Buscando compreender como podem surgir sentidos de incerteza a partir da leitura do texto, e objetivando sua utilização em uma atividade de mediação de leitura num contexto de formação de professores de Física, percebemos em *Copenhagen* efeitos de sentido de incerteza relacionados: ao princípio físico, propriamente dito, onde o tema é abordado através de metáforas e analogias; incertezas relacionadas ao posicionamento (ético e moral) de Heisenberg durante a guerra; incertezas sobre o enredo da conversa de 1941; acerca do papel de Margrethe na trama; incertezas espaço-temporais, entre outras. Podendo ser relacionadas com incertezas da caracterização estrutural da própria textualidade teatral (épico/drama, além de leituras pós-dramáticas), expostas no primeiro item deste capítulo.

²³ Pinto Neto (2010) enumera considerações (teórico-matemáticas) acerca da Interpretação de Copenhagen, das quais sintetizamos: “1) *Qualquer estado de um sistema quântico em um tempo t_0 está caracterizado por um vetor que pertence a um espaço de Hilbert [...] Que descreve completamente o estado físico do sistema;* 2) *Toda quantidade física mensurável é descrita por um operador autoadjunto (chamado observável) agindo no espaço de Hilbert do sistema;* 3) *O único resultado possível de uma medida de primeira espécie de uma quantidade física é um dos autovalores do operador autoadjunto associado a ela;* 4) *A probabilidade de se encontrar um dos autovalores associado à quantidade observada é dada por $p(a_n) = |P_n |\Psi\rangle|^2 = \langle \Psi | P_n |\Psi\rangle = \sum_{g=1}^{g_n} |\langle \Psi | \phi_n^g \rangle|^2$ [...] Como o estado definido no primeiro postulado descreve integralmente o sistema físico, esta probabilidade é a máxima informação que podemos ter sobre o sistema e não se refere a uma ignorância sobre este que poderia ser eliminada com uma investigação mais detalhada: ela não é epistêmica ;* 5) *A evolução do vetor de estado enquanto não se realizam experimentos é governada pela equação de Schroedinger [...] Na descrição de Heisenberg, são os observáveis que variam com o tempo, enquanto o estado quântico permanece constante” (p.10).*

Indicamos que a Complementaridade de Bohr, bem como remissões a ela, apesar de não terem sido detidamente analisadas e tratadas no desenvolvimento desta pesquisa, são também intrínsecas à estrutural textual e indissociáveis das noções de Incerteza apresentadas a seguir. Ou seja, no texto *Copenhagen*, assim como na Física Quântica, Incerteza e Complementaridade são necessárias.

Neste caminho, a análise do texto mostrou que a peça trabalha com uma polissemia sobre o termo “incerteza” e que esta polissemia não está apenas relacionada com as falas das personagens, sendo também intrínseca à estrutura da peça. Frayn introduz tais efeitos de incerteza como aspecto estruturante da obra. É importante ressaltar que estas incertezas não condizem com o princípio físico de incerteza, o qual é aplicável somente a fenômenos tipicamente quânticos, ou seja, são deslocadas do sentido científico do termo, sendo possível dessa forma, levantar problematizações relacionadas à utilização, via analogias e metáforas, do termo científico em situações cotidianas.

1.4.1 Incertezas éticas

Dos fatos históricos, o posicionamento político de Heisenberg traz em si uma dualidade marcante. A produção da bomba nuclear permite elaborar questionamentos sobre a produção científica durante a Segunda Guerra Mundial, e mais especificamente, questionamentos sobre os limites entre Física e política, como o próprio autor coloca no texto. Frayn insere relações implícitas de incertezas ao tratar essas questões nas vidas dos cientistas.

Margrethe: Tem certeza de que quer convidá-lo para vir aqui?

Bohr: Vamos por os argumentos a favor e contra, de uma forma razoável e científica! Primeiro, Heisenberg é um amigo.

Margrethe: Primeiro, Heisenberg é alemão! (CARDOSO, 2015, p. 115).

[...]

Margrethe: Física! Sim?

Bohr: Isto é física!

Margrethe: Também é política!

Heisenberg: Às vezes é muito difícil de separá-las! (CARDOSO, 2015, p. 121).

Naquele contexto, Heisenberg era amigo e/ou inimigo? Contribuiu para/ou atrapalhou o programa nuclear alemão? A conversa foi sobre

Física e/ou política? É possível fazer tal separação? Quais os limites e as consequências das descobertas e produções científicas sobre a sociedade? Qual a contribuição de Bohr na construção da bomba norte-americana? A indeterminação histórica dos fatos se torna um dispositivo primordial no texto. Indeterminação que não está ligada a um desconhecimento dos fatos históricos, mas que é intrínseca ao objeto, no caso, o ser humano dentro da História. Colocando em destaque, também, reflexões sobre o lugar central que a ciência adquiriu durante a Segunda Guerra Mundial.

Concepções sobre o mundo atômico foram discutidas pelos grandes cientistas da época. Conforme as pesquisas se aprofundavam, as possibilidades de aplicação das novas descobertas surgiam com receio aos olhos da comunidade científica. Ainda que numa esfera fictícia, questionamentos sobre moralidade e ética científicas em torno de Bohr e Heisenberg, foram colocados explicitamente no texto. Enquanto Heisenberg é “mal visto” por coordenar o programa nuclear alemão, sendo o homem que “ofereceria” uma bomba a Hitler, Bohr tem, sabidamente, participação importante no programa nuclear dos aliados (Projeto Manhattan²⁴), liderado por Oppenheimer. O texto joga com esse fato, induzindo as incertezas quanto à responsabilidade moral de cada um conforme destacado a seguir:

Heisenberg: Não tem mistério. Nunca houve mistério. Me lembro perfeitamente porque minha vida estava em jogo, e escolhi minhas palavras com muito cuidado. Simplesmente te perguntei se, como um físico, eu teria o direito moral de trabalhar na exploração da energia atômica. Sim?

Bohr: Não me lembro.

Heisenberg: Não se lembra, não, porque quase que imediatamente se irritou! Você parou secamente.

Bohr: Porque eu estava horrorizado (CARDOSO, 2015, p. 132).

[...]

Heisenberg: ...Pelo menos nós nos atormentamos antes. Talvez um deles parou para pensar por um momento que eles estavam fazendo? Fez isso Oppenheimer ou qualquer um dos seus colegas? O fez Einstein quando escreveu a Roosevelt em 1939, instigando-o a financiar pesquisas sobre a bomba? O fez

²⁴ Projeto científico (político) norte-americano, liderado por J. Robert Oppenheimer, destinado ao desenvolvimento de armas nucleares. Teve início durante a Segunda Guerra Mundial e culminou com as explosões das bombas atômicas Little Boy e Fat Man, nas cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki, respectivamente.

você quando escapou de Copenhagen dois anos mais tarde e te unistes a equipe dos aliados?

Bohr: Meu querido Heisenberg, não estávamos fornecendo bomba a Hitler!

Heisenberg: Tão pouco estavam deixando de cair sobre a cabeça de Hitler. A estavam jogando sobre os velhos na rua, sobre suas mães e seus filhos. E se tivessem feito a tempo teria sido em meus compatriotas. Minha esposa! Meus filhos! Essa era a intenção, sim? (CARDOSO, 2015, p. 138).

Das críticas destinadas à obra, talvez a principal seja, conforme já mencionado anteriormente, a tendência do autor em “defender” Heisenberg, mesmo que de maneira sutil. Em resposta a isso *“Frayn cita o dito de Hebbel de que ‘numa peça boa, tudo está certo’”*²⁵ (BARNETT, 2005, p. 148), de maneira que, mesmo com temática científica (e referências históricas), é fundamental que se leve em consideração, ao analisar o texto, a natureza artística de sua textualidade.

Heisenberg: ... Esperamos que nos revele qual é o sentido de tudo isso. E uma noite se passa. O ouvimos pelo rádio: vocês acabam de cometer o final pelo qual temíamos! Pelo que nós estávamos lá. Nos trancaram para que não falássemos sobre o tema até que fosse tarde demais. Quando o Major Rittner nos disse, eu me recusei a acreditar até que ouvi com meus próprios ouvidos sobre a notícia. Não tínhamos ideia de quão avançado que estavam. Ficamos acordados naquela noite, conversando, tentando entender. Estávamos todos, literalmente atordoados.

Margrethe: Por que o fizeram eles? Ou por quê não havia feito vocês?

Heisenberg: As duas coisas. As duas! Otto Hahn queria se matar, porque ele descobriu a fissão, e vê sangue em suas mãos! Gerlach, nosso antigo coordenador nazista também quer morrer, porque suas mãos estão tão vergonhosamente limpas! Mas vocês a fizeram! Construíram a bomba (CARDOSO, 2015, p. 141).

1.4.2 Incertezas de Margrethe

Esta “categoria” da análise surgiu da necessidade de compreender o papel de cada personagem no enredo. Heisenberg e Bohr são

²⁵ *“Frayn’s riposte is to cite Hebbel’s dictum that ‘in a good play everyone is right’”* (BARNETT, 2005, p. 148).

protagonistas da história, têm suas vidas (e suas mortes) esmiuçadas e suas produções intelectuais “devidamente” apresentadas. Qual seria então a função de Margrethe na obra? A resposta para esta questão não é claramente determinada, configurando-se como mais uma incerteza a ser apontada. Ora ela aparece apenas observando e comentando os eventos, ora suas falas refletem pensamentos aleatórios ou falas provocativas, e às vezes ela é colocada no papel de “leiga”, fazendo com que os físicos utilizem “linguagem simples” para explicar conceitos científicos nas discussões, lembrando a estrutura de *Diálogos sobre os Dois Principais Sistemas do Mundo* de Galileo Galilei (1632), entre Sagredo, Simplicio e Salviati.

Bohr: Meu querido Heisenberg!

Heisenberg: Meu querido Bohr!

Bohr: Entre, entre...

Margrethe: E, claro, apenas se veem, se avivam as velhas chamuscas (CARDOSO, 2015, p. 118).

[...]

Bohr: Muito bem. Vamos começar do princípio. Não há homens da Gestapo nas sombras. Não há oficial da inteligência britânica. Ninguém nos observa.

Margrethe: Só eu!

Bohr: Só Margrethe. Vamos deixar tudo claro para ela! Você sabe que eu acredito fervorosamente que não fazemos ciência para nós, que a fazemos isso para poder explicá-la aos outros...

Heisenberg: Em linguagem simples (CARDOSO, 2015, p. 134).

A maneira como a conversa é conduzida, com certa ênfase em se utilizar linguagem simples pode ser vista como um artifício comumente utilizado na Divulgação Científica. É importante ressaltar que na perspectiva desta pesquisa, o texto teatral é visto como um meio propício à circulação do conhecimento científico, e é utilizado considerando sua função enquanto obra de arte. De qualquer maneira, explicar à Margrethe em linguagem simples é, indiretamente, explicar ao público/leitor e auxiliar na compreensão/entendimento de conceitos não conhecidos (ou desviados de seus sentidos físicos) fora da comunidade científica.

Em muitos trechos é possível identificar a posição dela enquanto observador (não neutro) que, analogamente ao contexto da FQ, interfere no “resultado do experimento”, escolhe o que quer ver, possibilitando uma analogia entre os observadores/observáveis, de forma a construir um

paralelo entre as medidas de um experimento e os eventos do drama. Suas perspectivas interferem o tempo todo no rumo do diálogo, sendo algumas vezes apaziguadora da tensão existente entre eles, como quando ela comenta a relação que tinham, e também, de forma provocativa com Heisenberg. Margrethe é, de certa forma, o público dentro da peça, público enquanto público de divulgação científica, público enquanto observadores dos dilemas e debates entre Heisenberg e Bohr.

Bohr: Funcionávamos como uma empresa!

Heisenberg: Presidente e gerente geral.

Margrethe: Pai e filho (CARDOSO, 2015, p. 113).

[...]

Heisenberg: Tudo o que posso dizer é que eu não fiz. Eu não fabriquei a bomba.

Margrethe: Não, e por quê? Então, eu também vou dizer. É a razão mais simples de todas. Por que não podia. Não entendias nada de física (CARDOSO, 2015, p. 162).

Pensando na estrutura da peça, Margrethe muitas vezes faz as vias do caminho oscilatório entre drama e épico, como indicado anteriormente, ela narra e comenta o diálogo entre Heisenberg e Bohr. Indica emoções quase como didascálias, informações que o autor quer transmitir, porém sem interferir nos diálogos.

Margrethe: Silêncio novamente. Agora eu começo a sentir pena! Sentado aqui, completamente sozinho, de frente para nós dois, em um país onde o odeia. Agora o vejo mais jovem, como o cara que veio aqui pela primeira vez em 1924. Tímido e arrogante e com necessidade de que o queiram. E, sim, é triste, porque Niels o amava! Foi um pai para ele (CARDOSO, 2015, p. 120).

[...]

Margrethe: E Niels decide, de repente amá-lo novamente, apesar de tudo. Por quê? O que aconteceu? Foi a lembrança daquele dia de verão em Göttingen? De qualquer forma, quando nos sentarmos para jantar, as cinzas foram acesas novamente (CARDOSO, 2015, p. 124).

1.4.3 Incertezas espaço-temporais

Conforme já foi comentado, a passagem temporal no texto é complexa e exige um olhar mais atento. A conversa se desenvolve em um tempo não preciso, num encontro pós-morte entre os protagonistas, em

local igualmente indeterminado. Apesar da descrição inicial do texto (na versão em português, utilizada nesta pesquisa), indicar como local a sala de estar dos Bohr, sabemos que as personagens são pessoas mortas, e que estas se deslocam deliberadamente entre o local do encontro real e o local da conversa após a morte, entre memórias, certezas e suposições.

O tempo em *Copenhagen* se fixa no tempo do aqui e agora, no tempo da encenação/leitura. O tempo do inevitável. Essas características indicam possibilidades de explorar relações entre a impossibilidade que a TQ coloca na determinação precisa dessas variáveis (tempo e espaço) nos fenômenos físicos. A noção realista de localidade é rompida no texto (bem como na TQ), muitas vezes não sendo possível determinar o lugar de fala das personagens, analogamente ao Princípio da Incerteza de Heisenberg, apresentado na seção anterior deste capítulo.

A passagem do tempo é incerta e não usual, em vários momentos há uma mudança temporal sem indicações, de forma que as personagens são capazes de refletir sobre seus atos antes, durante e após eles ocorrerem, como num tempo fora de uma realidade mensurável. O que era memória vira presente, e eles revivem o passado, sendo observadores de si mesmos. Essa mudança é explicitamente indicada na passagem:

Heisenberg: A memória é tão curiosa, na cabeça o passado se torna presente! Setembro de 1941, Copenhagen! E imediatamente aqui estou, descendo do trem noturno que vem de Berlim, com o meu colega Weizsäcker!... (CARDOSO, 2015, p. 114).

[...]

Heisenberg: Posso sugerir de irmos caminhar?

Bohr: Acho melhor nada de passeios. O que queira dizer que diga onde todos ouçam.

Margrethe: Talvez queira compartilhar uma ideia nova.

Heisenberg: Então agora me vejo caminhando no crepúsculo outonal para a casa dos Bohr! Seguido, suponho, pela minha sombra invisível (CARDOSO, 2015, p. 116).

É possível observar, conforme grifado no primeiro trecho destacado, que em uma mesma fala Heisenberg se desloca do tempo do encontro pós-morte, indicando que fala de uma lembrança/memória, para o tempo do encontro real em vida, de forma que a mudança ocorre na mesma frase, e sem nenhuma indicação externa. Em seguida, no segundo trecho, percebemos o caminho contrário, a primeira fala de Heisenberg está no presente do passado, e em seguida ele volta para o tempo pós-morte e

passa a descrever tudo como uma lembrança. Podemos observar este mesmo efeito a seguir:

Bohr: Mas, meu querido Heisenberg, eu não tenho nada para dizer. Eu não tenho ideia se há um programa nuclear aliado.

Heisenberg: Se está pondo em marcha contra nós, enquanto você e eu estávamos conversando nesta noite de 1941. E pode ser que estejam escolhendo algo pior do que a derrota. Porque a bomba que está sendo construída é para ser usada contra nós! A noite de Hiroshima de 06/08/1945, Oppenheimer disse que era seu único arrependimento. Que não haviam feito a bomba a tempo de ser utilizado na Alemanha! (CARDOSO, 2015, p. 138).

Em outro nível de incertezas espaço-temporais, há também aquelas relacionadas à memória dos sujeitos/personagens, visto que eles estão inseridos num presente pós-morte. No trecho a seguir eles conversam neste presente (enquanto memória), e falam sobre incertezas sobre o local e o período do próprio encontro. Enquanto Heisenberg descreve o que vê, Bohr se refere ao encontro em tempos verbais diferentes.

Heisenberg: Por onde caminhamos?

Bohr: Não caminhamos.

Heisenberg: Eu vejo as folhas de outono empilhadas sob as luzes da rua.

Bohr: Porque você acha que foi em outubro!

Margrethe: E foi em setembro!

Bohr: Não havia folhas caídas (CARDOSO, 2015, p. 132).

Em seguida, a situação da conversa é recriada e eles retornam ao passado, buscando alterar o rumo dos eventos. No tempo fictício de *Copenhagen* é possível explorar várias possibilidades para o encontro. Mudanças temporais na conjugação verbal ocorrem em toda extensão do texto. Conforme explicitado no trecho abaixo, onde Heisenberg busca reconstruir os rumos da conversa, pedindo que Bohr o escute atentamente.

Bohr: Então não quer que eu te diga que sim e não queres que te diga não.

Heisenberg: Eu quero que escute atentamente o que eu vou lhe dizer agora e não saia correndo como um louco nas ruas.

Bohr: Muito bem. Aqui eu estou andando muito devagar e papalmente. E eu escuto atentamente enquanto você me diz que... (CARDOSO, 2015, p. 136).

Estas características espaço-temporais aqui apresentadas foram um dos fatores que mais dificultaram a leitura do texto.

Potencialidades da utilização do texto teatral *Copenhagen* para a discussão sobre a Teoria Quântica na formação de professores de Física serão desenvolvidas no próximo capítulo, onde apresentamos uma proposta para tal. As escolhas dos recortes do texto foram feitas de acordo com o que acreditamos ser mais representativo nas relações de incertezas apresentadas. Porém, é importante indicar que existem inúmeras possibilidades para análise, relacionando e explorando relações entre textualidades e efeitos de sentido.

A partir da análise aqui apresentada, na qual identificamos no texto teatral *Copenhagen* alguns efeitos de sentido de incerteza, dos quais foram indicados alguns relacionados ao princípio Físico e possíveis sentidos deslocados do conceito científico (relacionados à linguagem teatral e ao senso comum), e pensando em sua utilização em atividades que envolvam mediação de leitura no Ensino de Física, exporemos, no capítulo seguinte, considerações sobre atividades de leitura no Ensino de Física, de forma a destacar a importância que questões relativas à textualização do conhecimento científico adquirem ao serem utilizados textos alternativos ao livro didático no ensino. Apresentamos, em seguida, uma breve descrição do ensaio de mediação de leitura com futuros professores de Física, e por fim, uma proposta de atividade baseada nesta análise que explorou a relação entre forma e conteúdo no texto teatral, ou seja, entre a materialidade textual e efeitos de sentido.

2 SEGUNDO ATO – TEXTUALIDADE E MEDIAÇÃO DE LEITURAS

Neste capítulo buscamos indicar como a análise apresentada anteriormente pode proporcionar subsídios para atividades de mediação de leitura no Ensino de Física. Para tal, realizamos breve discussão sobre como a leitura têm sido trabalhada entre os pesquisadores da área, apontando como pretendemos incluir nestas discussões questões relativas à textualização do conhecimento científico. Por fim, elaboramos uma proposta de mediação de leitura da peça teatral Copenhagen, para um contexto de formação de professores de Física.

2.1 LEITURA E ENSINO DE FÍSICA

Estudos sobre a utilização de leitura no ensino de Física vêm aumentando consideravelmente nos últimos anos. Lima e Ricardo, (2015) apresentaram extensa revisão bibliográfica sob o tema Física e Literatura, na qual buscaram identificar *“como as relações entre física e literatura, suas possibilidades de aprendizado e potenciais didáticos, aparecem nos estudos da área em ensino de física/ciências”* (p. 578). Os autores dividiram os trabalhos encontrados em três categorias: A leitura no ensino de ciências/física; O papel da divulgação científica no ensino de ciências/física; e A analogia e a metáfora no ensino de ciências/física. De maneira geral, os trabalhos defendem a utilização e as potencialidades dos textos alternativos ao livro didático como meio para despertar o interesse dos alunos em temas relacionados à ciência, possibilitando abordagens mais históricas e conceituais, menos matematizadas.

Quanto ao papel mediador do professor, os autores expõem preocupações sobre as interações discursivas entre estes e os textos, e alertam para a necessidade de se desenvolverem mais trabalhos que envolvam leitura em aulas de Física/Ciências, desde a formação inicial de professores, de forma a proporcionar ao futuro professor oportunidades de refletirem sobre o papel da leitura no ensino e aprendizado de Ciências.

É importante ressaltar que, na perspectiva assumida nesta pesquisa, entendemos por textos alternativos ao livro didático objetos simbólicos cujas textualidades não se materializam apenas na linguagem escrita (considerando também textualidades imagéticas e audiovisuais, por exemplo). De toda forma, a revisão supracitada se preocupa com a leitura de textos escritos, tais como: livros de divulgação científica, livros de literatura, textos originais de cientistas, entre outros. Ou seja, os autores

tratam de textos produzidos fora do contexto do ensino regular, que não foram pensados especificamente para situações didáticas na escola.

A realização de atividades de leitura em aulas de Física possui diversas justificativas quanto às suas motivações, referenciais teóricos adotados e questões analisadas. No entanto, na maioria das vezes, em tais atividades, os textos aparecem (apenas) enquanto ferramenta de ensino, instrumento didático facilitador da compreensão de conceitos científicos, ou apenas como pretexto para o ensino dos conceitos.

Nós, por outro lado, trabalhamos uma abordagem complementar ao reiterar a importância de serem consideradas a materialidade do texto e o papel do ensino na própria formação do sujeito-leitor. Dessa forma, dos trabalhos apresentados por Lima e Ricardo (2015), nos aproximamos daqueles que tratam de estratégias de mediação de leitura a partir de uma perspectiva discursiva, enquadrados na primeira categoria citada acima, que investigam questões relativas à produção de sentidos e ao funcionamento de leituras em aulas de Física (ALMEIDA; SILVA; MACHADO, 2001; ANDRADE; MARTINS, 2006; BARCELLOS, 2005; ZANOTELLO; ALMEIDA, 2007).

O respaldo teórico na Análise de Discurso (AD) em sua vertente difundida no Brasil por Eni Orlandi, considera, pensando no funcionamento de leituras em sala de aula, que o *“professor pode modificar as condições de produção da leitura do aluno”* (ORLANDI, 2008, p. 44), de modo que a mediação se estabeleça como constitutiva nos processos de atribuição de sentidos. Os pressupostos básicos dessas investigações surgem a partir da noção de leitura proposta por Orlandi (2008) e que tem os seguintes aspectos:

- a) Pensar a produção de leitura e, logo, a possibilidade de encará-la como possível de ser trabalhada (se não ensinada);
- b) A leitura, tanto quanto a escrita, faz parte do processo de instauração do(s) sentido(s);
- c) O sujeito leitor tem suas especificidades e sua história;
- d) Tanto o sujeito quanto os sentidos são determinados histórica e ideologicamente;
- e) Há múltiplos e variados modos de leitura;
- f) A noção de que a nossa vida intelectual está intimamente relacionada aos modos e efeitos de leitura de cada época e segmento social (p. 8).

Almeida, Silva e Machado (2001) analisaram situações de ensino (médio e universitário) na qual foram realizadas atividades de leitura em aulas de Física A partir da abordagem discursiva, os autores buscaram romper com a visão instrumentalista do texto, ressaltando a mediação dele como constitutiva no processo de aproximação e compreensão da cultura científica, e atentaram para a importância de questões relativas à linguagem no ensino de Física. Com o objetivo de analisar deslocamentos da linguagem e efeitos de sentido, os autores destacaram as condições de produção de leitura, que levam em consideração o contexto sócio-histórico e ideológico de seu funcionamento. Concluindo que o trabalho com leitura em aulas de física, amparado pela mediação do professor, possibilita a compreensão da própria ciência como produtora de sentidos.

Zanotello e Almeida (2007) desenvolveram a análise do funcionamento da leitura de um livro de divulgação científica sobre a vida de Isaac Newton, a partir de aspectos da produção de sentidos de alunos do primeiro ano do ensino médio. Após a realização da leitura proposta os alunos responderam (registro escrito) a um questionário aberto com sete questões nas quais foram investigadas as relações que eles estabeleceram com o texto (linguagem utilizada), considerações sobre o conhecimento físico presente, quais os maiores interesses nos assuntos tratados, bem como dúvidas históricas e conceituais. Em termos conclusivos, os autores apontaram para a importância do papel mediador do professor, que a partir das falas dos alunos pôde identificar obstáculos ao entendimento dos conceitos físicos e equívocos históricos, propondo estratégias alternativas para as suas abordagens. Destacaram, ainda, que a linguagem do livro se mostrou um atrativo ao interesse dos alunos, contribuindo para a formação de uma cultura científica geral.

Relacionados especificamente ao ensino de FQ, Pagliarini e Almeida (2016) realizaram uma experiência de leitura de trechos originais de cientistas e textos de divulgação com alunos do EM, num contexto de ensino não formal. Os autores defendem a inserção de aspectos introdutórios da quântica no EM amparados pela justificativa de que o conhecimento físico é parte da cultura humana, sendo que suas concepções, pesquisas e produtos recentes não estão inseridos no contexto escolar. Partindo dessa consideração, argumentaram que para pensar o ensino de qualquer conteúdo é fundamental pensar a maneira pela qual ele será trabalhado, defendendo as relações entre forma e conteúdo como indissociáveis no contexto de ensino. Em vista da complexidade matemática e reformulação conceitual presente na quântica, os autores

propuseram uma abordagem pautada em atividades de leitura e escrita, e buscaram identificar concepções dos alunos sobre o início da FQ e concepções sobre atividades de leitura no Ensino de Física.

A partir das respostas dos estudantes, os pesquisadores identificaram que a abordagem da FQ por meio da leitura possibilitou uma aproximação destes com assuntos científicos. E, mesmo não se tratando de uma situação de ensino formal, eles concluíram que amparada sempre pela mediação do professor,

A utilização de alguns destes textos no ensino de física é de grande valor para os sentidos produzidos pelos alunos em seus esforços de compreensão na linguagem comum, assim como na interpretação dos conteúdos físicos envolvidos (PAGLIARINI; ALMEIDA, 2016, p. 314).

Pensamos que essa mediação do professor, demasiadamente²⁶ (e não por menos) citada nas pesquisas, pode ser por si só trabalhada em diferentes instâncias, sejam elas relacionadas ao imaginário dos futuros professores quanto à leitura no Ensino de Física, como também associadas às próprias relações que estes estabelecem com diferentes textualidades. Dessa forma, surgem questionamentos e preocupações relacionadas à formação desse professor mediador. Percebe-se, porém, que ainda são poucas as propostas efetivas de ações a serem realizadas durante sua formação.

Sorpreso e Almeida (2007) buscaram compreender o imaginário de licenciandos em Física sobre linguagens e o Ensino de Física. Com foco nas diferentes linguagens na produção científica, as autoras concluem que inicialmente “*parece não fazer parte do imaginário de licenciandos em Física elementos relacionados à utilização da Linguagem no ensino*” (p. 10), e sugerem que ainda há muito trabalho a ser realizado no que tange à multiplicidade de linguagens no ensino.

Lima e Almeida (2012) selecionaram um conjunto de textos que abordassem aspectos de nanociência e nanotecnologia para serem trabalhados na formação inicial de professores de Física. As autoras concluem a pesquisa destacando o papel da leitura dos textos para os estudantes “*tendo em vista, inclusive, a facilitação de um imaginário com*

²⁶ Não se trata de reduzir os trabalhos a isso, apenas indicar que todos convergem a essa consideração final.

o qual se vejam com possibilidade de ensinar a ciência contemporânea no nível básico” (p.4401-9).

Neste contexto, em vista da escassez de trabalhos que tratem da formação do professor leitor/mediador de leituras, evidenciamos a necessidade de, ao se pensar o funcionamento de leituras em aulas de Física, pensar-se na formação desse professor, considerando que as concepções dos professores sobre leitura são importantes, já que influenciam na mediação dessa prática em sala de aula, concepções estas que seriam geradas a partir de pesquisas acadêmicas, do contexto escolar, do senso comum e da mídia (ANDRADE; MARTINS, 2006).

Acreditamos que a qualidade das estratégias de mediação de leitura do futuro professor depende das experiências de leitura vivenciadas por ele durante seu processo formativo. Dentre as diversas estratégias de mediação em sala de aula, nos preocupamos com as interações entre futuros professores e os textos propriamente ditos (e não apenas seus “conteúdos”), partindo do pressuposto de que estas interações terão repercussões em suas práticas docentes. Dessa forma, pensando a formação do professor-leitor como um dos papéis fundamentais dos cursos de licenciatura, visando seu trabalho enquanto futuro mediador de leitura dos alunos, procuramos identificar se e como as pesquisas incluem a textualidade em suas estratégias e propostas de ação.

Atentamos, assim, para a necessidade de proposições em que a linguagem, e mais especificamente, a textualidade seja objeto de estudo, estando presente na mediação instaurada, principalmente, na formação de professores. Buscamos contribuir para o futuro professor formas de estabelecer relações que levem em conta as leituras e as produções de sentidos pelos alunos, considerando o fato de que isso depende, entre outros fatores, das formas textuais em jogo nas leituras. Dito de outra maneira, acreditamos que preparar o futuro professor para lidar com questões de linguagem, consiste em proporcionar situações práticas nas quais ele se relacione com as diferentes textualizações do conhecimento científico, visando compreender os aspectos e especificidades destas textualizações.

Nesta perspectiva, Silva (2014) argumenta que

Trata-se de suspender, pelo menos temporariamente, aquela abordagem sobre textos, imagens e falas que apenas se pergunta pelo certo/errado do que está ali, para construir uma abordagem que busque dar visibilidade não ao sentido oculto, mas à própria produção dos sentidos, dos textos, imagens e falas, obviamente, sem esquecer seus “conteúdos”, como parte

dos processos de produção de algo que é constitutivo do tecido social, como são os discursos. Daí nosso objeto não ser os textos, mas a textualização, ou seja, o texto, com seu conteúdo e sua forma, suas condições de produção (p. 81).

De forma que elementos e aspectos do texto sejam explicitados na mediação.

Uma vez que a produção de sentidos se constitui na relação entre sujeito-leitor e texto, defendemos que a aproximação com a linguagem teatral seja o ponto de partida da sua utilização no ensino. Para tal, nos fundamentamos no proposto por Orlandi (1999), que *“O analista tem de compreender como ele (texto) produz sentidos, o que implica em saber tanto como ele pode ser lido, quanto como os sentidos estão nele”* (p. 70), e apresentamos, no capítulo anterior uma análise na qual a textualidade é colocada em evidência. Dada a análise da textualidade, coube-nos refletir como esta pode proporcionar subsídios para a mediação de leitura em sala de aula.

2.2 UM OLHAR SOBRE A TEXTUALIDADE

Pensar e trabalhar as relações entre sujeito-leitor e texto, deslocamentos e multiplicidades de sentidos, mediações de leitura e o imaginário do sujeito-leitor, ou seja, pensar e trabalhar o funcionamento de leituras, passa, implicitamente, pela compreensão da textualidade utilizada. Esta consideração, na maioria das vezes suprimida das pesquisas na área, é a premissa da qual partimos. Consideramos, dessa forma, que a relação entre o sujeito-leitor e o texto não é direta, ela passa por mediações que estão relacionadas à experiência da linguagem (ORLANDI, 1999).

Silva (2014) aponta para a importância que noções sobre textualização e circulação do conhecimento científico adquirem no contexto da educação científica e tecnológica ao pensarmos no papel da linguagem e do discurso no ensino. O autor defende que

Trabalhar com a textualização significa construir práticas e fazer opções pedagógicas que impliquem em considerar não apenas o conteúdo dos textos como também sua materialidade inscrita e funcionando num determinado contexto histórico-social, ou seja, o texto em sua materialidade como elemento

de um processo mais amplo, um processo de circulação social de uma temática (p. 87).

Com esse foco, buscamos contribuir para um olhar sobre o texto que desloque a posição de leitor puramente interpretante, para a de um leitor que compreenda o texto como produto de um processo que envolve a dinâmica da própria produção dos conhecimentos científicos em seus complexos processos de circulação histórico-cultural.

Pensamos que a visibilidade e o exercício deste deslocamento possam contribuir para formadores nos seus trabalhos com textos com licenciandos, e com professores em seus trabalhos de mediação de leitura dos estudantes da educação básica. De forma que, ao expor os futuros professores sob esta perspectiva, forneceremos subsídios que multipliquem possibilidades de novas formas de mediação escolar em relação à cultura científica (SILVA, 2014).

Na concepção de leitura da AD, a forma textual, sua materialidade, não é indiferente aos sentidos e, portanto, compreender um texto, para além de interpretá-lo, é compreender essa relação entre materialidade textual e efeito de sentidos possíveis, ou seja, sua textualidade. É no deslocamento da questão do texto como recurso didático para a questão do texto como parte da produção, formulação e circulação da ciência (SILVA, 2014), que olhamos o seu funcionamento em situações de ensino. De forma que

Multiplicando-se os textos, multiplicavam-se as possibilidades de entrada dos sujeitos numa relação mais pessoal, culturalmente significativa, com a ciência. Multiplicavam-se as possibilidades de leitura, produção de sentidos, interpretação, participação em aula, exposição de ideias, dúvidas. Ampliava-se a possibilidade de trabalhar também a concepção de ciência dos alunos, com aproximações de diversos aspectos da cultura científica (idem, p. 74).

Para Orlandi (1999), os textos significam de maneiras próprias de acordo com a sua materialidade. Sendo que a compreensão, nesta perspectiva, “*se instaura no reconhecimento de que o sentido é sócio-historicamente determinado*” (p. 116). A autora distingue assim, na discussão a respeito da leitura, o que seria o inteligível, o interpretável e o compreensível, nos níveis da codificação, da coesão e no dos processos de significação, respectivamente. Neste caminho, a análise apresentada

no capítulo anterior, na qual a textualidade é colocada em foco, serve como base para o reconhecimento de que o sentido é sócio-historicamente determinado e que depende da materialidade, ou seja, depende de uma compreensão do texto que vai além de sua legibilidade e interpretabilidade, para, a partir dela se derivarem práticas de ensino.

Conforme já exposto, são diversas as possibilidades de utilização do teatro no ensino de Física/Ciências, entre elas: a utilização de jogos teatrais na formação de professores e com alunos do ensino médio; escrita, montagem e dramatizações de textos teatrais de temáticas científicas/sobre vida e obra de cientistas/textos de ficção; e, a utilização de textualizações teatrais em atividades de leitura. Podendo, essas estratégias, serem utilizadas e discutidas dentro de um mesmo contexto (ARAUJO, 2014; BRAGA; MEDINA, 2010; KATAHIRA, 2013; MOREIRA, 2012; MOREIRA; MARANDINO, 2015; OLIVEIRA; ZANETIC, 2004; SILVEIRA, 2011). Além, é claro, de espetáculos produzidos no contexto da Divulgação Científica, para o ensino não formal, como no caso de espetáculos montados em museus e centros de ciência.

Numa perspectiva discursiva, cuja esfera esta pesquisa dialoga, destacamos dois trabalhos. Um deles, o de Araújo (2014), que à luz da AD, buscou compreender os aspectos do processo de produção de uma peça teatral com foco nos elementos de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), para identificar os possíveis sentidos produzidos pela estória contada. O autor analisou o texto da peça *O fim da picada*, e apontou o fato de, apesar de trabalhar um tema de considerável importância na saúde pública (leishmaniose visceral), o problema central da ficção se resolve como “passe de mágica”, e embora destaque a necessidade da mediação do professor após o espetáculo, trata-se da proposição de uma mediação restrita aos conteúdos sobre a natureza da Ciência e Tecnologia. Aspectos da estrutura do texto teatral não foram levados em consideração pelo autor, ou seja, ele não traz considerações sobre a textualidade analisada, apenas identifica possíveis sentidos no texto.

No segundo trabalho, pautado na análise discursiva foucaultiana, Moreira, (2012) desenvolveu a análise do texto *Oxigênio*, famosa peça de Djerassi e Hoffmann, cuja trama se constitui numa história fictícia, de um evento verídico, a respeito da descoberta do gás oxigênio. Em torno das temáticas poder e ambição, o autor analisa a construção do conceito cientista por uma abordagem filosófica, visando discussões no ensino. Aspectos da textualidade são explorados, como título, imagem da capa, divisão de atos, conflito e orientações sobre cenário e figurinos, embora

não amparados explicitamente por referenciais específicos do texto teatral.

A análise trouxe à tona problematizações relacionadas ao trabalho científico. O autor destacou que a partir do texto pode surgir uma visão de cientista que contempla o lado humano e, por isso, pode possibilitar a empatia do estudante, sendo favorável para o Ensino de Ciências. Por fim, o autor indicou algumas contribuições que a discussão da abordagem da História e Filosofia da Ciência pode oferecer ao Ensino de Ciências, bem como a necessidade de instrumentalizar o futuro professor para essa discussão, sem propor, no entanto, indicativos para uma ação efetiva.

Um olhar aos trabalhos supracitados aponta uma convergência entre eles da qual este trabalho se diferencia e o consideramos complementar, pois o foco neles trabalhos se estabelece em torno de discussões acerca da natureza da ciência e/ou concepções sobre cientista e suas atividades, ficando o conhecimento científico em segundo plano.

Num caminho diferente, partimos da generalidade das problemáticas pressupostas e expostas até aqui, passando pela inserção da FQ no ensino básico, por questões de leitura, textualizações do conhecimento científico e formação de professores, e buscando contribuir com subsídios para esta formação, apresentaremos mais adiante uma proposta de mediação de leitura do texto teatral *Copenhagen*, a ser realizada com futuros professores de Física (licenciandos), que leva em consideração as especificidades do texto teatral, a maneira pela qual o conhecimento científico se relaciona com essa textualidade específica, e possíveis sentidos produzidos, conforme análise apresentada no capítulo um. Em outras palavras, apresentamos uma possibilidade de mediação de leitura de um texto, na formação de professores de Física, pautada essencialmente na análise da textualidade na relação com um conhecimento específico, no caso, o da Física, e mais especificamente, a Teoria Quântica.

A proposição de mediação de leitura que será apresentada a seguir foi construída a partir da análise desenvolvida no capítulo anterior, e teve como subsídio complementar, apontamentos, questões e sugestões que surgiram em um ensaio de mediação realizado com licenciandos em Física da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Segue, na próxima sessão, sem análise rigorosa e detida, posto que não foi objetivo desta pesquisa, uma descrição sintética deste ensaio.

2.3 ENSAIO DE LEITURA DE UM TEXTO TEATRAL NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES – ALGUNS SUBSÍDIOS PARA A ELABORAÇÃO DE UMA PROPOSTA

A análise apresentada no capítulo anterior identificou, conforme já mencionado, possíveis sentidos de incerteza que surgiram a partir da leitura do texto *Copenhagen*, relacionados ao princípio Físico, parte fundamental da TQ, e sentidos deslocados do conceito científico. É importante ressaltar que a atribuição desses sentidos se deu em nossos processos de leitura, e que esta foi orientada por uma compreensão da natureza do texto em questão, e da relação entre especificidades da sua textualidade e possíveis efeitos de sentido.

Em paralelo ao desenvolvimento da análise, realizamos o ensaio de uma atividade de mediação de leitura com alunos do curso de Licenciatura em Física da UFSC, a partir de leituras preliminares do texto. A atividade, aplicada na disciplina de Metodologia de Ensino de Física, uma disciplina obrigatória do curso de licenciatura em Física da UFSC, consistiu numa sequência preliminar de ensino com quatro aulas sobre a temática “*Teatro, Linguagem e Ensino de Física*”.

Na ocasião, a análise do texto encontrava-se ainda em fase introdutória, não contendo o necessário aprofundamento teórico sobre textualizações teatrais. Mesmo assim, com um olhar já orientado pela concepção da relevância da materialidade textual, como colocada pela AD, essas leituras preliminares introduziram elementos da forma textual na mediação proposta. Assim, as considerações que surgiram durante a atividade²⁷ fomentaram reflexões de considerável importância para a elaboração da proposta de mediação apresentada adiante, como o segundo produto desta pesquisa, além da análise propriamente dita do texto. Aspectos positivos, negativos e sugestões (construtivas no que tange aos fins da pesquisa) que surgiram²⁸ por parte dos futuros professores, serão apresentados, conforme necessário, no desenvolvimento da sequência.

Indicamos, como leitura obrigatória para as aulas da sequência didática (via plataforma MOODLE), o texto de divulgação científica *Bombas atômicas e seres humanos*, capítulo cinco do livro *Rivalidades produtivas*, de Michael White (2003), e o texto da peça *Copenhagen*, em versão traduzida para o português pelo Núcleo de Estudos

²⁷ Todas as aulas da sequência desenvolvida tiveram registro audiovisual, com a aceitação do termo de consentimento livre e esclarecido dos participantes.

²⁸ As aulas foram transcritas e se constituem um rico material para análise, que, por questões temporais não serão desenvolvidas nesta pesquisa, não sendo considerada, dessa forma, objeto de pesquisa, apenas subsídio para esta.

Transdisciplinares em Ensino, Ciência, Cultura e Ambiente (NuTECCA), do Instituto Federal de São Paulo. Para fins de contextualização, sugerimos que leiam primeiro o texto de divulgação.

Antecedendo a discussão da proposição em si, cabe apresentarmos alguns aspectos que, além de se mostrarem necessários à elaboração da sequência preliminar de ensino, estão devidamente respaldados pelos referenciais adotados. O primeiro questionamento que nos colocamos foi “*Quem são os sujeitos envolvidos na mediação enquanto leitores?*”. Conhecer os sujeitos participantes da mediação de leitura implica em conhecer suas histórias de leitura, suas relações com o tipo de texto utilizado, com o campo do conhecimento a ser tratado, quais seus imaginários sobre atividades de leitura no ensino, entre outros. Ou seja, trabalhar a forma do texto e os processos de leitura, não somente o “conteúdo”, implica em inserir como tema e componente das aulas da sequência didática a discussão e explicitação, por parte dos alunos, de considerações sobre leitura e história de leituras.

Desta maneira, um questionário (Apêndice A) foi realizado com os alunos, em forma de diálogo, no primeiro momento de aplicação da sequência do ensaio. Dos questionamentos surgiram indicativos que foram identificados durante a discussão do texto, como por exemplo, a dificuldade na leitura do texto teatral por conta da estrutura dialógica. Os diferentes níveis de aprofundamento em Física também se destacaram, já que a disciplina em questão envolvia apenas pré-requisitos relacionados à licenciatura. A variação das disciplinas anteriormente cursadas exigiu, de nossa parte, uma abordagem introdutória de conceitos da TQ, e possibilitou por parte dos alunos, momentos de discussão e troca de conhecimento. Destacamos, assim, a importância desses pontos serem levados em consideração no planejamento de uma atividade de mediação de leitura com alunos, em qualquer nível de ensino.

A partir do exposto acima, considerando a importância de desenvolver atividades de leitura na formação de professores, e considerando, ainda, como peça chave para o estudo da produção de sentidos a partir da leitura, a compreensão da textualidade utilizada. Sendo o texto, o objeto empírico de análise desta pesquisa, apresentaremos a seguir uma proposição de mediação de leituras, na qual foram levados em consideração aspectos relacionados à textualidade e à multiplicidade de sentidos.

Dessa forma, apresentaremos uma proposta de mediação de leitura, com estratégias pensadas para sua utilização em um contexto de formação de professores de Física, elaborada a partir da análise apresentada no

primeiro capítulo. Ressaltamos que elementos do ensaio realizado, cujas aulas foram registradas em vídeo, serviram de subsídios adicionais à elaboração da proposta.

2.4 DA PROPOSTA DE MEDIAÇÃO DE LEITURAS

“a compreensão é a apreensão das várias possibilidades de um texto”
(ORLANDI, 2008, p. 101)

Em uma primeira leitura de *Copenhagen* identificamos a possibilidade de trilhar diversos caminhos para a utilização deste no Ensino de Física. Temas transversais foram percebidos no conflito teatral, tais como: de História e Filosofia da Ciência; concepções sobre a natureza da Ciência; relações éticas e morais no fazer científico; relações entre produção científica e questões políticas; conceitos da TQ e suas interpretações, analogias e metáforas; conceitos relacionados à produção de bombas nucleares, entre outros.

Devido a nossa preocupação com a textualidade do material utilizado, para iniciarmos a análise apresentada no *Primeiro Ato* (capítulo um), buscamos uma aproximação com estudos sobre o texto teatral. Conforme já exposto, entendemos que “*a construção, a estrutura, e os diferentes gestos de leitura constituem os sentidos do texto submetido à análise*” (ORLANDI, 1999, p. 65). Deste estudo foi possível identificar dúvidas, incertezas e indeterminações permeando toda materialidade textual. Ou seja, a compreensão da textualidade utilizada fez emergir a percepção de que a palavra incerteza e concepções acerca dela são bastante exploradas pelo autor, estando inseridas em variadas instâncias da peça. A percepção desta polissemia nos fez direcionar a leitura buscando compreender como e onde ela aparece.

Da incerteza das memórias (histórica e das personagens) ao princípio proposto por Heisenberg, categorizamos cinco inserções de incerteza no texto, que aparecem tanto explicitamente quanto implicitamente, são elas: da estrutura do texto teatral; dos deslocamentos e definições espaço-temporais; do posicionamento ético das personagens (cientistas) durante a Segunda Guerra Mundial; do papel de Margrethe, esposa de Niels Bohr, na peça (personagem) e na vida real (sujeito histórico); e, das analogias e metáforas relacionadas ao Princípio da Incerteza de Heisenberg.

É a partir dessas incertezas que propomos esta abordagem de mediação de leitura, buscando identificar como estas relações de incerteza

são percebidas, problematizando as associações do princípio científico com o texto teatral, e procurando, por fim, formas de trabalhar o conceito a partir dos deslocamentos identificados. Dessa forma, apresentaremos uma proposição de mediação de leitura do texto *Copenhagen*, pensada para um contexto de formação de professores de Física, que entendemos como futuros professores mediadores de leitura.

As discussões que seguem foram idealizadas para uma atividade que contemple como elementos preparatórios: leitura e escolha do material de apoio; breve aproximação com os alunos, de forma que possibilite conhecer seus históricos de leitura, relações com o teatro, com o texto teatral, e seus imaginários sobre atividades de leitura no Ensino de Física. Visto que, a partir deste momento será possível inserir na mediação proposta elementos que levem em consideração particularidades e especificidades dos sujeitos envolvidos.

No que diz respeito à mediação de leitura, dividimos a proposta em momentos a serem desenvolvidos de acordo com a seguinte estrutura: Apresentação geral da atividade de leitura, que coloque em foco textos e encenações teatrais com temáticas relacionadas à ciência e/ou à vida de cientistas, e a possibilidade de suas inserções em um contexto do ensino de Física/Ciências, para em seguida dar início à apresentação de elementos estruturantes do texto teatral, em âmbito geral; Discussão do texto *Copenhagen*, com indicação e problematização dos temas identificados; Caracterização estrutural do texto, baseada em referenciais teatrais, de maneira a conduzir o olhar à percepção de dúvidas, incertezas e indeterminações intrínsecas à materialidade textual (textualização); Introdução de noções básicas da Física Quântica, com foco no Princípio da Incerteza de Heisenberg; Retomada da discussão das incertezas do texto, confrontando estas com o princípio físico; Por fim, proporcionar um espaço de debate sobre as relações entre teatro, leitura e ensino.

O detalhamento desses momentos, bem como indicações, sugestões de leituras e competências recomendadas ao professor mediador e aos alunos, será desenvolvido nas sessões a seguir.

2.4.1 Elementos preparatórios

Como elementos preparatórios, trataremos àqueles inseridos no planejamento da sequência didática. Ressaltamos aqui a importância da escolha de materiais de apoio, visto a complexidade da temática que envolve elementos de Física Quântica, um episódio histórico controverso (o encontro real em 1941) e a produção de conhecimento científico em

um contexto de Guerra Mundial. Por isso, ao se tratar de uma atividade a ser realizada no nível superior, acreditamos que a indicação de outros textos possa enriquecer os debates e possibilite aprofundar o nível de entendimento dos conceitos científicos e questões histórico-filosóficas presentes em *Copenhagen*.

Como exemplo de possibilidade citamos o texto de divulgação científica de cunho histórico intitulado *Bombas atômicas e seres humanos*, capítulo cinco do livro *Rivalidades produtivas*, de Michael White (2003), a ser lido antes da leitura de *Copenhagen*, para a contextualização histórica do encontro tratado na peça. Após a leitura do texto teatral, o início da abordagem do Princípio da Incerteza pode se apoiar no texto *Vivendo com a incerteza: O Princípio da Incerteza de Heisenberg*. Este texto é um dos capítulos do livro, também de divulgação científica, *As grandes equações - A história das fórmulas matemáticas mais importantes e os cientistas que as criaram*, de Robert Crease (2011).

A escolha por materiais de divulgação científica se baseia no entendimento de que estes, na grande maioria das vezes, têm uma linguagem que se aproxima mais da história de leituras dos alunos. Outros textos e livros também podem ser fornecidos, como sugestões de leitura, dependendo do aprofundamento histórico, filosófico e conceitual desejado, como por exemplo, o livro, já com um caráter mais de manual, *Conceitos de Física Quântica*, de Osvaldo Pessoa Junior (2003) e o artigo do congresso de Solvay de 1927.

A partir desses textos sugeridos, objetiva-se aprimorar o aporte de leitura dos alunos, trazendo suas concepções, seja por meio de questionário estruturado, pré-estruturado ou de perguntas abertas, e colocando em destaque a questão da leitura desde o início da sequência didática. Trazer à tona os históricos de leitura, as relações com a materialidade textual utilizada e o imaginário sobre atividades de leitura no Ensino de Física pode proporcionar subsídios que interferirão no desenvolvimento das discussões subsequentes.

2.4.2 Textualidade teatral e o Ensino de Física

Enxergar potencialidades da utilização do texto teatral em um contexto de Ensino de Física/Ciências demanda, implicitamente, a percepção das relações entre teatro e Física/Ciência. Ou seja, demanda enxergar o meio artístico como um meio propício para a circulação de conhecimentos e ideias relativas à Ciência. Dessa forma acreditamos que, antecedendo a discussão do texto *Copenhagen*, seja importante trazer

considerações sobre teatro e Ciência, sobre a utilização do texto teatral e de encenações no ensino, bem como sobre generalidades e elementos estruturantes de um texto teatral.

Partindo do pressuposto de que “*o cerne da produção de sentidos está no modo de relação (leitura) entre o dito e o compreendido*” (ORLANDI, 2008, p. 102), consideramos nesta proposição a necessidade de aproximar os licenciandos da linguagem teatral, no caso, da linguagem dramatúrgica. Esta “aproximação” não demanda nenhum estudo teórico aprofundado, mas considera que a noção de alguns elementos do campo das teorias sobre dramaturgia seja necessária. Pois, caracterizações relativas ao gênero, indicações cênicas, passagem temporal e construção dos diálogos se mostraram itens de relevada importância na investigação dos sentidos de incerteza, como vimos no capítulo um.

Exemplos de diversas peças podem auxiliar nesta aproximação, podendo ser encontrados em websites de companhias independentes de teatro, como já citado, o *Núcleo Arte e Ciência no Palco*²⁹, e, em grupos vinculados a órgãos públicos de divulgação científica, como o grupo *Seara da Ciência*³⁰ da UFC, e o grupo *Ouroboros*³¹, Núcleo de divulgação científica da Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR.

A indicação de grupos teatrais e outros textos teatrais que envolvam conhecimentos científicos e/ou tratem da vida e produção de cientistas, de ficções a bibliografias dramatizadas, pode proporcionar aos alunos vislumbrarem inúmeras possibilidades de inserção da cultura científica nos meios artísticos, neste caso especificamente no teatro.

Esta apresentação introdutória não precisa estar atrelada às características de *Copenhagen* (ainda), indicamos inicialmente uma exposição que evidencie que o texto teatral não é engessado em apenas um estilo de escrita, sendo estas categorizações dependentes de alguns fatores, entre eles da estrutura dialógica, da passagem temporal, e da relação pretendida com o público/leitor, por exemplo. Neste sentido, a apresentação de trechos de outras peças pode ser uma ferramenta interessante, aproximando e problematizando aspectos da linguagem teatral.

O estilo de narrativa, a construção dos diálogos, os solilóquios. No texto teatral existem situações e posições de fala, enunciados ditos e não ditos que significam, que produzem sentidos, que indicam possibilidades

²⁹ <https://nucleoacp.com/> último acesso em 30/07/2018

³⁰ <http://www.searadaciencia.ufc.br/> último acesso em 03/07/2018.

³¹ <https://nucleoouroboros.wordpress.com/> último acesso em 03/07/2018.

de tratamento do texto. Entre diálogos e narrativas (entre o épico e o dramático), o que se diz? Para quem se diz? As falas podem ser direcionadas às personagens tanto quanto ao público/leitor. O que configuram essas possibilidades?

Existem, em alguns textos teatrais, as didascálias, os textos em segundo plano, que representam as intenções não pronunciáveis do autor. Essas indicações podem determinar ações, mudanças de entonação, mudanças de plano, entradas e saídas de atores, direcionamentos de falas, entre outros. A ausência delas, segundo Ryngaert (1996), indica uma abstenção, por parte do autor, de dizer além das falas das personagens, produzindo aberturas, ambiguidade ao texto, conforme apresentado no primeiro capítulo.

Após a apresentação de artifícios que o autor pode utilizar para desenvolver o conflito do enredo criado, é possível olhar para além do drama no teatro convencional, compreendendo potencialidades e diferenciações do tratamento pós-dramático do texto. A análise desenvolvida no capítulo anterior, no que diz respeito à passagem temporal da peça, indica outros caminhos exploráveis.

Durante o ensaio realizado, ao serem motivados a pensar sobre a possibilidade da existência de textos teatrais relacionados à ciência e/ou a vida de cientistas, apenas um aluno afirmou já ter visto uma apresentação sobre a corrida espacial. Destacamos duas respostas que enfatizam a importância de, na preparação da atividade de mediação de leitura, serem levadas em consideração a relação que cada sujeito estabelece com a textualidade utilizada: “*acho que o tema é mais explorado em filme né, do que em teatro*” e “*é que a gente vê bem menos também né*” (em relação ao teatro). As duas falas destacadas podem evidenciar o distanciamento entre os licenciandos e a linguagem teatral, que tenta ser “justificado” na fala seguinte “*mas até não tem disponível né*”, quando em seguida o sujeito afirma que não tem acesso por não ter divulgação das peças em cartaz.

Materiais sobre a linguagem teatral certamente foram importantes para a preparação da mediação, dos quais destacamos para uma aproximação preliminar, os textos de *Introdução à análise do teatro*, de Ryngaert (1996), *Introdução à dramaturgia*, de Pallottini (1988), e, *Entre fala e língua, drama e texto: reflexões acerca de uma discussão contemporânea*, de Birkenhauer (2012). Estes textos, bastante explorados na análise desenvolvida nesta pesquisa, possibilitaram compreender a estruturação de *Copenhagen*, e foram fundamentais na percepção de sutis relações de incerteza estabelecidas no texto.

2.4.3 Copenhagen – impressões gerais

Antecedendo a explicitação e discussão das relações de incerteza apontadas no capítulo anterior, e corroborando com o processo de construção da análise desenvolvida nesta pesquisa, inserimos como segundo momento de mediação um espaço de identificação coletiva dos elementos textuais. Tratar da generalidade ao específico, olhar para o texto como um todo, identificando nele temas e particularidades, para, a partir do todo, contextualizar o recorte no Princípio da Incerteza.

Este momento pode ser dedicado exclusivamente à discussão do texto, de forma que a mediação se estabeleça na articulação entre a construção de conhecimento, leitura, e a natureza do texto dramaturgico. A partir desse diálogo, é possível indicar outros temas identificados, tais como os acima descritos (História e Filosofia da ciência, concepções sobre a natureza da ciência, relações éticas e morais no fazer científico, relações entre produção científica e política, conceitos quânticos e suas interpretações, e conceitos relacionados à produção de bombas nucleares).

É possível fazer emergir, no contexto das discussões, concepções sobre leitura, teatro e ensino, bem como concepções de Ciência e História da Ciência. Dúvidas relacionadas especificamente aos conhecimentos científicos podem ser anotadas e discutidas posteriormente em um momento dedicado ao aprofundamento teórico.

Mais que facilitar a assimilação do recorte escolhido nesta mediação, tratar de questões gerais do texto e da identificação de temas diversos pode oportunizar aos alunos/futuros professores indicações de possibilidades outras para a utilização do texto teatral no ensino, objetivando suas atuações como futuros mediadores de leitura. Dessa forma, amplia-se a compreensão e apropriação da circulação do conhecimento científico no e pelo campo artístico.

2.4.4 Copenhagen – a textualização do conhecimento científico

Do tratamento das impressões gerais sobre a peça, é possível conduzir o olhar a percepção de dúvidas, incertezas e indeterminações contidas nesta, indicando como o autor insere várias relações na construção do texto, conforme exposto na análise desenvolvida. Conduzir esse encaminhamento a partir de aspectos estruturantes do texto teatral, tais como a classificação do gênero, a construção e reconstrução do encontro nos dois atos, e da tentativa de identificação das funções das personagens

na ficção, traz à tona mais uma vez questões sobre a textualização do conhecimento científico, ponto de partida desta proposição.

É possível que os próprios alunos/leitores identifiquem essas incertezas, porém relacionando de diversas maneiras, com abordagens diferenciadas. A mediação do professor, neste momento, pode ser direcionada à interlocução destas abordagens com o foco da atividade de leitura, neste caso o Princípio da Incerteza. Durante o ensaio de mediação de leitura, incertezas sobre a passagem temporal (mudanças nos tempos verbais) e localidade, o posicionamento ético e moral dos cientistas durante a Segunda Guerra Mundial, bem como relativas ao papel de Margrethe no texto foram colocadas e discutidas, embora não explícita e diretamente relacionadas à polissemia do termo incerteza, mas sim como apontamentos gerais.

Depois de identificadas essas incertezas, é possível suscitar, a partir delas, quais relações e deslocamentos existem com o princípio de Heisenberg. Um caminho para construir essas ligações é fazer o resgate de tudo que foi exposto do texto, indicando o caminho pelo qual se viabiliza trabalhar noções sobre Física Quântica na sala de aula. Por exemplo, explicitar que *Copenhagen* consiste em uma conversa pós-morte, em um espaço não conhecido e num tempo não determinado, entre Heisenberg, Bohr e Margrethe. Tem como tema central um encontro entre os cientistas que ocorreu em 1941, durante a Segunda Guerra Mundial. Na conversa fictícia os princípios da Complementaridade e da Incerteza, respectivamente estabelecidos por Bohr e Heisenberg, aparecem como um dos temas centrais, de forma a destacar o tema explorado.

Além do que é colocado explicitamente sobre os conceitos físicos, existem várias outras incertezas no texto, e se elas existem, justamente em um texto que fala sobre um episódio das vidas de Bohr e Heisenberg, dois dos principais físicos do século XX, e de suas produções enquanto cientistas, o que representam? Existem relações entre as incertezas de *Copenhagen* e as de Heisenberg? Quais são essas relações? Quais sentidos emergem delas?

Questionamentos relacionados às incertezas do texto e suas relações com o conceito físico podem proporcionar uma discussão ampla sobre os conceitos científicos e a maneira pela qual eles estão inseridos neste texto teatral. Neste momento, buscando explorar as potencialidades do texto, cabe estimular a percepção de quais conhecimentos científicos podem ser identificados pelos alunos/leitores no texto. No ensaio, ao questionarmos os alunos sobre o que eles identificaram de científico na peça, foram

citados principalmente o Princípio da Incerteza, o Princípio da Complementaridade e a Fissão Nuclear.

Ao serem identificadas as incertezas do texto, da estrutura textual às citações explícitas do princípio físico, convém trabalhar noções de FQ. É importante ressaltar que esta proposta não tem o intuito de aprofundar o estudo da TQ, visto que os currículos dos cursos de Licenciatura em Física possuem disciplinas específicas para tal. Esta proposta é guiada pelo objetivo/intenção de proporcionar aos futuros professores vivências de mediações de leitura que levem em consideração a textualização utilizada, e propicie maneiras de abordar o conteúdo científico através desta.

De toda forma, trabalhar com os futuros professores noções da FQ em um momento específico para isso, pode viabilizar melhor embasamento teórico e preparo na identificação e discussão das relações de incerteza trazidas na análise do primeiro capítulo.

2.4.5 Noções de Física Quântica

Apresentados alguns aspectos estruturantes de um texto teatral, iniciada a análise de *Copenhagen* e da leitura deste com os alunos, identificando características, particularidades e conhecimentos científicos, acreditamos que este seja um momento propício para a apresentação de noções da FQ. Como a presente proposta foi elaborada pensando na sua realização com futuros professores de Física, ou seja, em um contexto de formação, considerações sobre as diferentes disciplinas já cursadas pelos alunos podem ser exploradas. Neste sentido, consideramos importante que os alunos/leitores relembrem o que já foi estudado, proporcionando um momento de troca de conhecimento e debate.

O ensaio que realizamos, por exemplo, foi aplicado na disciplina de Metodologia de Ensino de Física, que possui como pré-requisitos uma disciplina de Física Geral e duas voltadas especificamente ao ensino. Com isso foi possível perceber grande variação de disciplinas já cursadas relacionadas à Física Moderna e/ou à Física Quântica. Um sujeito havia cursado apenas Introdução à Física Moderna, quando os estudantes começam a entrar em contato mais formalmente aprofundado com a TQ na graduação, enquanto outro já havia cursado a disciplina de Física Quântica, de maior aprofundamento, oferecida na grade no Bacharelado em Física. Esta variação disciplinar exigiu, de nossa parte, uma abordagem introdutória dos conceitos quânticos, e possibilitou, por parte dos alunos, momentos de discussão e troca de conhecimentos.

Como esta proposta se baseia numa inserção da Física Quântica através de atividades de mediação de leitura, é sugerível que se trabalhe primeiro com textos de divulgação científica, já indicando aos futuros professores/mediadores de leitura possibilidades para desenvolverem em suas futuras aulas. Conforme citado anteriormente, uma possibilidade é o texto *Vivendo com a incerteza: O princípio da incerteza de Heisenberg*, de Robert Crease (2011). Questões envolvendo interpretações da Teoria Quântica e debates em torno delas podem ser trabalhadas a partir de textos como *Schroedinger & Heisenberg – A física além do senso comum*, de Antônio F. R. de Toledo Piza (2007), e do artigo do congresso de Solvay de 1927, onde estavam presentes os principais cientistas da época, entre eles Heisenberg e Bohr.

Da abordagem conceitual, o direcionamento de olhar para o texto pode proporcionar uma compreensão aprofundada das relações de incerteza em *Copenhagen*, e, a partir dessas relações, identificar aproximações e deslocamentos do sentido físico. Não se trata de ponderar julgamentos no quesito certo/errado ou verdadeiro/falso do conhecimento científico que circula no (e pelo) texto teatral, e sim de perceber como a própria ciência produz sentidos em linguagens outras, como no campo artístico por exemplo.

Dessa forma, o momento proposto e apresentado a seguir utiliza a textualização teatral do Princípio da Incerteza como suporte para uma abordagem da Física Quântica por meio de uma atividade de mediação de leitura.

2.4.6 Relações de incerteza

Propomos agora, após o estudo do texto e a exposição sobre a FQ, uma discussão mais detida das relações de incerteza, retomando a análise da textualidade teatral desenvolvida no primeiro capítulo desta pesquisa, apontando os deslocamentos produzidos do sentido físico do termo. É importante ressaltar que estas incertezas não condizem com o princípio físico de Incerteza, o qual é aplicável somente a fenômenos tipicamente quânticos.

Conforme mencionado anteriormente, categorizamos cinco inserções de incerteza no texto, que podem aparecer tanto explicitamente quanto implicitamente, são elas: da estrutura do texto teatral; dos deslocamentos e definições espaço-temporais; do posicionamento ético dos personagens (cientistas) durante a Segunda Guerra Mundial; do papel de Margrethe, esposa de Niels Bohr, na peça (personagem) e na vida real (sujeito

histórico); e, das analogias e metáforas relacionadas ao Princípio da Incerteza de Heisenberg.

A começar pela textualidade teatral, propomos:

i) A estrutura textual – Existe uma sutil relação de incerteza, intrínseca ao texto, de forma que dentre as categorizações possíveis de um texto teatral (épico, lírico e dramático), a busca pelo enquadramento dele se torna incerta. Além de oscilar entre narrativas épicas e dramáticas, *Copenhagen* também abre possibilidade para um tratamento pós-dramático, como indicamos na análise pelo trabalho de Barnett (2005).

Retornando ao tópico 1.2.1 apontamos que em toda extensão do texto há oscilações entre narrativas se configurando como pensamentos, lembranças e opiniões faladas, como num monólogo, e diálogos que reconstróem o encontro das três personagens. É interessante destacar que, dois dos sete alunos que participaram do ensaio expuseram a percepção da utilização do conceito de incerteza para além das falas explícitas e de analogias diretas do texto, ou seja, eles perceberam a utilização metafórica da incerteza na própria estruturação da peça. Ao trazer essa observação, surgiram comentários como *“a peça gira em torno disso né (da incerteza), porque inclusive eles refazem esse encontro com outras possibilidades né, “e se eu te falasse isso lá fora, e se aquilo”, então não é definido, eles exploram o que eles poderiam ter conversado e quais seriam os motivos”* e *“na peça algumas coisas ficam nas entrelinhas assim, você não consegue entender o contexto todo às vezes”*.

Outros alunos, apesar de não terem percebido diretamente esta relação apontaram outras características interessantes, como a ausência de indicações cênicas (didascálias), que pode causar, entre outras impressões, certa indefinição quanto aos deslocamentos espaciais e temporais. Em *Copenhagen* o autor se abstém de indicações de cenários e disposições, entradas e saídas de plano. Dessa forma, Bohr, Heisenberg e Margrethe conversam ora no presente pós-morte, revivendo lembranças, ora no passado vivido, como se fosse possível alterar os fatos e sem nenhuma indicação explícita de mudança. É a partir dessa ausência de indicações que considerações sobre as incertezas espaço-temporais podem ser trabalhadas.

ii) Deslocamentos espaço-temporais – Conforme indicado no tópico 1.4.3, o tempo em *Copenhagen* é indeterminado. A passagem temporal se mostra incerta e não usual, o lugar de fala (espaço físico e temporal) não é indicado. Essa característica indica a possibilidade de explorar relações

entre a dificuldade que a TQ tem na determinação das variáveis tempo e espaço nos fenômenos físicos.

Em vários momentos há uma mudança temporal sem indicações, de forma que as personagens são capazes de refletir sobre seus atos antes, durante e após eles ocorrerem, como num tempo fora de uma realidade mensurável. O que era memória vira presente, e eles revivem o passado, sendo observadores de si mesmos, criando e recriando possibilidades de eventos. Nesse sentido, impasses e debates de natureza epistemológica que surgiram no início da Física Quântica entram em evidência.

No tocante das possibilidades que o texto possibilita, o caráter probabilístico da TQ também pode ser colocado em discussão. Pois

Na física clássica a certeza da localização dos objetos fornece conhecimentos positivistas, porém, se nos determinarmos a analisar o fenômeno em dimensões quânticas, perceberemos que as certezas determinadas se tornam apenas probabilidades do real. A partir daí, uma nova filosofia probabilística se introduz na ciência contemporânea, tornando as determinações e previsões de fenômenos apenas eventos prováveis (BARROS; NETO, 2017, p. 3).

Barros e Neto (2017), baseados em Bachelard (2010), também trazem contribuições quanto às tensões existentes entre os efeitos de sentidos quânticos e os efeitos de sentidos clássicos, sugerindo que se discutam com os alunos as diferenciações dos sentidos sobre localidade. Em *Copenhagen* a noção realista de localidade é rompida (bem como na TQ), muitas vezes não sendo possível determinar o lugar de fala das personagens, analogamente ao Princípio da Incerteza de Heisenberg.

Essas características espaço-temporais aqui apresentadas foram/são um dos fatores que mais dificultam a leitura do texto, e foram também indicadas pelos sujeitos que participaram do ensaio de mediação de leitura realizado, conforme as seguintes colocações “*eu não sei se eles estão os três sentadinhos, vamos supor, na sala do Bohr, ai estão os três mortos então vamos conversar sobre o passado... Ou, se de certa forma eles voltaram, tão contando mas vivendo o passado*” e “*eu li muito bem, mas só que ficava vago essa situação, quando eles estavam em um momento e quando eles estavam em outro momento*”.

Com isso, a mediação pode se apropriar desses aspectos, buscando indicar aos alunos que essas características da textualidade teatral foram

intencionalmente utilizadas pelo autor. Toda dúvida no texto, está de alguma forma relacionada à incerteza, seja ela fictícia ou histórica, como no caso do posicionamento ético dos cientistas durante a Segunda Guerra Mundial.

iii) Ética científica – Ao inserir dúvidas quanto ao posicionamento de dois dos principais físicos do século XX, o texto traz mais um elemento de incerteza que pode ser aprofundado no debate com os alunos. Polêmico e controverso, o encontro tratado na peça é um episódio real. Sem muitos registros históricos e com algumas versões contadas pelos sujeitos envolvidos, esse acontecimento tem implicações que podem ser utilizadas num Ensino de Física que busque trabalhar concepções sobre Ciência e sobre a ética científica durante a Segunda Guerra Mundial (e por que não nos dias de hoje também?).

Extrapolando a incerteza do papel de Heisenberg no programa nuclear alemão, o autor constrói em seu texto uma dualidade entorno da personalidade do cientista alemão. Amigo ou inimigo? Cientista ou responsável pelo programa nuclear de Hitler? Física ou política? Ambos. É provável que estes aspectos sejam apontados pelos alunos nas discussões iniciais do texto, no primeiro momento da mediação, e é importante que se indiquem críticas direcionadas à Frayn por construir um enredo que favorecesse a imagem de Heisenberg.

Até mesmo Bohr tem sua inocência colocada em *check* no texto quando questionado qual foi sua contribuição no projeto Manhattan. Neste sentido, a explicitação dessas indeterminações aos alunos pode contribuir com discussões sobre a produção científica durante a Segunda Guerra Mundial, promovendo dessa forma um debate sobre a humanização da ciência e o contexto social da guerra, que proporciona uma reflexão crítica sobre a Ciência.

iv) Margrethe – Quem foi Margrethe Norlungue? Em toda descrição de *Copenhagen* seu nome aparece acompanhado do “adjetivo” esposa de Niels Bohr. Porém, não é preciso um olhar demasiado atento para perceber que sua personagem oferece muito a ser explorado. Esta explanação pode ser iniciada com questionamentos direcionados as funcionalidades e importâncias das personagens na obra. Sobre Bohr e Heisenberg, sujeitos historicamente conhecidos e protagonistas do encontro, não há muito a ser questionado, porém ao tentar identificar a função de Margrethe surgem consideráveis incertezas.

“*Isso que eu ficava confusa, porque às vezes eu não entendia exatamente o papel dela*” foi uma das respostas oferecidas no ensaio, a

partir dessa resposta os outros sujeitos participantes trouxeram apontamentos que já haviam sido identificados na análise, como por exemplo, o fato da presença dela exigir a utilização de linguagem simples para explicar conceitos científicos nas discussões.

Outro apontamento que nos chamou atenção durante a realização do ensaio, foi um comentário que surgiu por parte de um aluno, do sexo masculino, onde ele considera que “*eles podem estar na sala e ela na cozinha, ela só tá escutando e comentando pra plateia*”. Este comentário trouxe implicitamente questões de gênero, e deu espaço para um debate sobre a função social dela, e sobre o nível do conhecimento que ela tinha do trabalho de Bohr, visto que ela acompanhava todo trabalho dele. Questões estas que extrapolam a compreensão de seu papel enquanto personagem fictícia.

Ainda sobre seu papel na peça, ora ela aparece apenas observando e comentando os eventos, ora suas falas refletem apenas pensamentos aleatórios ou falas provocativas. De forma que, em muitos trechos é possível identificar a posição dela enquanto observador (não neutro) que, analogamente ao contexto da Física Quântica, interfere no “resultado do experimento”. Essa analogia entre os observadores e os observáveis pode ser explorada de forma a construir um paralelo entre as medidas de um experimento e os eventos do drama.

Pensando na estrutura da peça, associando este item com o já exposto, Margrethe muitas vezes faz as vias do caminho oscilatório entre dramático e épico, como indicado anteriormente, ela narra e comenta o diálogo entre Heisenberg e Bohr. Se configurando como mais um elemento que oferece uma sensação de incerteza.

v) Analogias e metáforas para explicar o Princípio da Incerteza – A peça apresenta muitas analogias, algumas delas para explicar conceitos físicos, direta e facilmente identificáveis. Por exemplo, quando eles vão explicar algo e fazem uma analogia explícita para Margrethe. Além disso, o uso da palavra incerteza também se desloca do conceito físico, via metáforas, que ainda assim fazem sentido para a estruturação da peça e das personagens. A palavra incerteza, como outras palavras utilizadas na física, é uma palavra do nosso cotidiano, de forma que ela está sempre presente em nossas falas.

Difícilmente esses sentidos do cotidiano não estarão presentes na convenção dos alunos. Dessa forma, apontamos a importância de trazer esses sentidos do cotidiano para serem trabalhados, para serem explicitadas as diferenças. *Copenhagen* também utiliza a palavra

incerteza em uma situação não física. O texto utiliza a Física como uma metáfora, ele transporta a ideia Física para uma situação não científica. Ele utiliza uma palavra com seu sentido da Física para significar uma situação no cotidiano.

Ao entender como o conhecimento científico ou remissões a ele aparecem tanto no texto quanto no formato deste (explicitando as relações entre forma e conteúdo), a maneira como o texto joga com os sentidos de Dualidade onda-partícula, Complementaridade e Incerteza, e a forma que as três coisas estão relacionadas, a mediação se estabelece em confrontar as múltiplas interpretações possíveis (de um dado texto, e no caso da TQ), evitando interpretações convencionais da Ciência.

Indicamos que as analogias e metáforas utilizadas em *Copenhagen* configuram-se num rico material de análise para ser discutido no Ensino de Física. Por exemplo, em demasiadas simplificações como “*Agora, Bohr é um elétron. Ele está passeando pela cidade em algum lugar da escuridão, ninguém sabe aonde. Ele está aqui, ele está lá, ele está em todo lugar e em lugar algum...*” (CARDOSO, 2015, p. 154), pode-se problematizar o tratamento corpuscular do elétron.

Problematizações dessa alçada não foram nosso foco, mas podem ser discutidas e consideradas na finalização da sequência didática, momento propício para discussões sobre potencialidades e dificuldades inerentes à sua unidade de ensino.

2.4.7 Considerações para o ensino

Por fim, lembramos que nosso objetivo é contribuir para que o futuro professor participe de vivências e práticas de mediação de leitura durante sua formação, pensando na qualidade de suas mediações em sua atuação escolar. Dessa forma, a finalização da sequência de aulas de leitura e análise de *Copenhagen* pode se estabelecer num momento de debate sobre as possibilidades de aplicação de atividades como esta para o ensino de FQ em nível Médio, explorando o texto de maneira questionadora e problematizadora em relação à apropriação cultural do conhecimento científico.

Este momento pode ser iniciado com questionamentos norteadores da discussão, tais como: *Trabalhar ou não a Física Quântica no Ensino Médio? Se sim, como trabalhar? Quais problemas? Seria interessante utilizar uma peça como essa ou não? Como?*

Destes questionamentos é possível suscitar considerações sobre a multiplicidade de linguagem no Ensino de Física, sobre os processos

formativos que o futuro professor passa (ou não) para se instruir a desenvolver atividades que contemplem esta multiplicidade, entre elas, atividades de mediação de leitura com foco na produção de sentidos por parte dos estudantes.

Acreditamos que questões referentes ao ensino de FQ no nível Médio, devem passar, em primeira instância, por considerações acerca do ensino de FQ em nível Universitário, e que este, por sua vez, ao relacionar aspectos de formalismos matemáticos, conceituais e filosóficos, possa fornecer o aporte necessário para a atuação profissional dos futuros professores.

Compreendendo que a materialidade do texto possibilita aprofundar o entendimento das relações entre forma e conteúdo, percebe-se que as incertezas que o texto coloca estão além daquelas relativas ao entendimento comum da palavra. A análise de *Copenhagen* viabiliza desenvolver estas noções, a partir de questões de linguagem, corroborados pela seguinte fala que surgiu no ensaio de mediação, “*aí no texto, por exemplo, às vezes a palavra incerteza é trazida com senso comum, e aí o aluno pode levar essa ideia de senso comum pro conceito físico do Princípio da Incerteza, daí seria problema*”. A diferenciação do sentido comum do sentido físico de incerteza pode ser trabalhada, portanto, a partir do texto da peça.

Discutir essas questões e tantas outras relativas à realização de atividades de leitura no ensino de física, nos níveis básicos e no contexto de formação de professores, pode proporcionar maior compreensão dos modos pelos quais a ciência circula em nossa sociedade, aproximando os estudantes da cultura científica, para além dos conteúdos programáticos de materiais didáticos. Para tal, conhecer a materialidade textual utilizada torna-se fundamental, visto que essa materialidade não é indiferente aos sentidos, sendo indissociável deste.

Para encerrar a proposta, destacamos a seguinte colocação trazida por um dos alunos participantes do ensaio, na qual ele ressalta a importância que confere às atividades de leitura no ensino de Física ao defender que ela pode “*desenvolver uma competência além do conteúdo de física*”, reforçando a perspectiva defendida pelos referenciais teóricos adotados nesta pesquisa.

DESFECHO

Partindo de questões relativas à inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, grande parte das vezes justificadas pelo distanciamento entre a Física ensinada nas escolas, quase exclusivamente produzida até o final século XIX, e pesquisas produzidas em nosso tempo, baseadas na Física/Ciência desenvolvida a partir do início do século XX. Colocando em voga concepções sobre a natureza da Ciência e implicações da produção científica na sociedade, problematizam-se as maneiras pelas quais tal inserção pode ocorrer e/ou tem ocorrido.

Neste contexto, textos alternativos ao livro didático ganham destaque. Esses textos, produzidos fora do contexto do ensino formal e estruturados em diferentes linguagens, constituem-se em materialidades diversas nas quais o conhecimento científico e remissões a ele circulam em nossa sociedade, tais como a divulgação científica, matérias de jornalismo científico, livros de ficção, literatura, obras de arte, filmes, seriados televisivos, peças teatrais, letras de música, *podcasts*, entres outros.

Essas diferentes textualidades aparecem, de acordo com as pesquisas, como potenciais meios de se trabalhar a FMC nas escolas, demandando, dessa forma, que questões relativas à leitura, e mais especificamente, relativas à pluralidade de linguagens e multiplicidade de sentidos, sejam discutidas durante a formação de professores de Física. Dentre as possibilidades de abordagem da FMC, optamos pela FQ, devido, entre outros fatores, à sua ampla circulação e apropriação cultural.

Enquadrada neste recorte, esta pesquisa indica potencialidades de mediação de leituras em aulas de Física, que sejam estruturadas a partir de uma análise da textualidade pela qual o conhecimento circula. Em outras palavras, apresentamos uma possibilidade de mediação de leitura de um texto na formação de professores de Física pautada essencialmente na análise da textualidade na relação com um conhecimento específico, no caso, o da Física, e mais especificamente, da Teoria Quântica. Conforme já mencionado, a escolha pelo texto teatral se baseou, em princípio, por interesse pessoal, sendo reafirmada sua relevância após revisão bibliográfica.

A partir de uma leitura preliminar, o texto *Copenhagen* se mostrou oportuno para o desenvolvimento de uma abordagem conceitual introdutória à Teoria Quântica, com o objetivo de aproximar o aluno de

questões relacionadas à produção científica numa perspectiva histórico-cultural. De maneira geral, o texto fala de experimentos importantes, traz aspectos de História e Filosofia da Ciência e permite trabalhar com deslocamentos de sentido, do senso comum ao conceitual, além de possibilitar a discussão de interpretações que a TQ engloba.

Para além das generalidades “conteudistas” do texto, o respaldo na perspectiva discursiva de leitura da Análise de Discurso, que pressupõe a importância da materialidade textual, nos direcionou a olhar alguns aspectos estruturantes do texto. Este olhar, amparado em referenciais teóricos sobre a textualidade teatral apresentados no capítulo um, proporcionou um deslocamento da interpretabilidade para a compreensibilidade do texto, pautados na ideia de que a materialidade não é indiferente aos sentidos.

Assim, esta pesquisa se propôs a desenvolver uma análise do texto teatral *Copenhagen*, apresentada no primeiro capítulo, na qual foram identificados efeitos de sentidos de incerteza, alguns relacionados ao princípio Físico e possíveis sentidos deslocados do conceito científico (relacionados à linguagem teatral e ao senso comum, por exemplo). Desta análise da textualidade da peça teatral em relação ao conhecimento físico, foi possível identificar como saberes pertencentes à Física, e mais especificamente, à Física Quântica, foram inseridos/utilizados em uma produção artística, ou seja, num modo de circulação cultural fora do contexto científico, produzindo e deslocando sentidos deste contexto.

Como segundo produto da pesquisa, elaboramos a partir da análise realizada, uma proposta de mediação de leituras, objetivando sua utilização num contexto de formação de professores de Física, propondo estratégias que contemplem a textualização do conhecimento científico. Não tratamos, portanto, de aprofundar/esmiuçar apontamentos sobre veracidade histórica, ou de nos determos a uma análise conceitual mais aprofundada, que tenha como foco a exatidão de conceitos físicos, e sim de propormos formas de trabalhar com os efeitos de sentidos produzidos a partir do texto. Neste caminho, a discussão das apropriações do conhecimento científico ganha considerável importância.

Ressaltamos que elementos suscitados durante a realização de um ensaio de leitura realizado com futuros professores de Física, cujas aulas foram registradas em vídeo, serviram de subsídios adicionais à elaboração da proposta. Ressaltamos ainda que, apesar dos registros do ensaio se configurarem como potencial material de análise, não foram considerados objetos de pesquisa deste trabalho.

Indicamos, conforme defendido por Orlandi (1999), que

Uma vez analisado, o objeto permanece para novas e novas abordagens. Ele não se esgota em uma descrição. E isto não tem a ver com a objetividade da análise, mas com o fato de que todo discurso é parte de um processo discursivo mais amplo que recortamos e a forma do recorte determina o modo da análise e o dispositivo teórico da interpretação que construímos (p. 62).

Neste sentido, ressaltamos que o estudo da textualidade da peça teatral *Copenhagen* em relação ao conhecimento físico, além de todo exposto até aqui, possibilita muitas outras perspectivas e enfoques. Aprofundar a análise e discussão de analogias e metáforas é, por exemplo, um caminho promissor para este e outros textos teatrais.

Em relação à aplicação da proposta de mediação de leitura, defendemos o exercício de uma dinâmica reflexiva, participativa, em que as ideias do texto, as interpretações de cada um, e as ideias próprias de cada um, possam produzir um aprofundamento não unidirecional, mas coletivo, com a mediação do professor. Mediação esta, que pode confrontar/apresentar as múltiplas interpretações possíveis (de um dado texto, e no caso da TQ), evitando interpretações convencionais da ciência. A proposta estruturada em momentos, e não em aulas pré-determinadas, visa propiciar a instauração de diferentes espaços de formação, de modo a possibilitar reflexões e problematizações relativas aos modelos prontos de práticas docentes e formativas que não levam em consideração as especificidades dos sujeitos.

A leitura do texto teatral se mostrou um desafio na realização do ensaio de mediação de leitura supracitado. A estrutura textual, construída dialogicamente, causou certo desconforto inicial. Um aluno chegou a defender que o texto teatral não deveria ser lido, apenas encenado. Neste sentido, a mediação do professor se centralizou na construção de um imaginário que contemplasse a leitura do texto, bem como em vislumbrar suas potencialidades para o ensino. Ao final, alguns alunos, ainda que declarando se sentirem inseguros para trabalhar com o texto teatral, consideraram a atividade proveitosa, no sentido de idealizarem novas formas de inserção da FQ no nível médio.

Esta investigação, em linhas gerais, ao identificar efeitos de sentido emergentes da leitura do texto teatral *Copenhagen*, coloca em evidência questões relativas à multiplicidade de linguagens no Ensino de Física.

Possibilita, assim, pensar a leitura como não instrumental, sendo constitutiva nos processos de ensino e aprendizagem. A análise apresentada no Primeiro Ato oportuniza a compreensão de práticas culturais que se relacionam com o conhecimento científico, possibilitando a aproximação e apropriação da cultura científica para além da escola.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. J. P. M. DE; SILVA, H. C. DA; MACHADO, J. L. M. Condições de produção no funcionamento da leitura na educação em física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 1, n. 1, 2001.

ANDRADE, I. B. DE; MARTINS, I. Discursos de professores de ciências sobre leitura. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 11, n. 2, p. 121–151, 2006.

ARAUJO, G. A. D. D. **O teatro na educação científica e tecnológica : sentidos, interpretação e produção em uma peça teatral que conta uma história de/sobre ciência**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Florianópolis, 2014.

ASSIS, A. et al. Metamorfose na sala de aula: desfazendo estigmas na disciplina de Física a partir do teatro. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 33, 25 abr. 2016.

BACHELARD, G. **A Experiência do Espaço na Física Contemporânea**. Tradução E. S. Abreu. Rio de Janeiro, Contraponto, 2010.

BALL, D. **Para trás e para frente: um guia para leitura de peças teatrais**. Tradução L. Coury. São Paulo: Perspectiva, 2005.

BARAD, K. **Meeting the Universe Halfway. Quantum physics and the entanglement of matter and meaning**. London. Duke University Press, 2007.

BARCELLOS, M. E. Inserindo a física moderna no ensino médio através da leitura: uma abordagem quântica da condução elétrica em cristais de cobre. **XVI SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA**. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBF, 2005.

BARNETT, D. Reading and Performing Uncertainty: Michael Frayn's Copenhagen and the Postdramatic Theatre. **Theatre Research International**, v. 30, n. 02, p. 139–149, 27 jul. 2005.

BARROS, M. A. DE; NETO, J. T. DE J. Diferentes Efeitos de Sentidos Enquanto Obstáculos Epistemológicos: Contribuições da Epistemologia de Bachelard para o Ensino de Física Quântica. **XXII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA**. São Carlos. Anais... São Carlos: SBF, 2017.

BAYM, G. **The Uncertainty Principals: Bohr and Heisenberg from Copenhagen (the city) to Copenhagen (the play)**. Disponível em: <<https://physics.illinois.edu/people/baym/copenhagen.pdf>>. Acesso em: 2 ago. 2018.

BIRKENHAUER, T. Entre fala e língua, drama e texto: reflexões acerca de uma discussão contemporânea. **Urdimento-Revista de Estudos em Artes Cênicas**, v. 18, n. Tradução S. Baumgartel, p. 181–188, 2012.

BRAGA, M. A. B.; MEDINA, M. N. O teatro como ferramenta de aprendizagem da física e de problematização da natureza da ciência. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 2, 8 set. 2010.

CARDOSO, F. L. M. Versão brasileira da peça de teatro Copenhagen (de Michael Frayn) para fins didáticos. **Revista Hipótese, Itapetininga**, v. 1, n. 1, p. 109–174, 2015.

CARUSO, F.; OGURI, V. **Física Moderna: Origens clássicas e fundamentos quânticos**. Rio de Janeiro (RJ): Elsevier, 2006.

CHIBENI, S. S. Certezas e incertezas sobre as relações de Heisenberg. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 2, p. 181–192, jun. 2005.

CREASE, R. P. **As grandes equações: A história das fórmulas matemáticas mais importantes e os cientistas que as criaram**. Rio de Janeiro, RJ: Zahar, 2011.

DE TOLEDO PIZA, A. F. R. **Mecânica quântica**. São Paulo, SP: Edusp, 2003.

DE TOLEDO PIZA, A. F. R. **Schroedinger & Heisenberg: a Física além do senso comum**. 2. ed. São Paulo, SP: ODYSSEUS, 2007.

DOMINGUINI, L. Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, jun. 2012.

EISBERG, R. M.; RESNICK, R. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. 23. Reimpressão. Rio de Janeiro, RJ: Campus, 1994.

FRAYN, M. **POSTSCRIPT TO COPENHAGEN**. Disponível em: <<http://www-personal.umich.edu/~sanders/214/other/news/CopenhagenPostscript.html>>. Acesso em: 2 ago. 2018.

GIMENEZ, H. **TEATRO CIENTÍFICO: Uma Ferramenta Didática para o Ensino de Física**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências – Cuiabá, MT, 2013.

GRIBBIN, J. **À Procura do Gato de Schrodinger**. Queluz de Baixo, Portugal: Editorial Presença, 1984.

KARAM, R. A. S. **Relatividade restrita no início do ensino médio: elaboração e análise de uma proposta**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica, Florianópolis, SC, 2005.

KATAHIRA, B. Y. Improvisação teatral e ensino de ciências no PIBID: o discurso na interface entre linguagens. **Atas do IX ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Águas de Lindóia, SP, 2013.

KIKUCHI, L. A.; ORTIZ, A. J.; BATISTA, I. DE L. Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: uma análise do que se tem discutido a respeito do assunto. **Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)**. Águas de Lindóia, SP, 2013.

LIMA, L. G. DE; RICARDO, E. C. Física e Literatura: uma revisão bibliográfica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 577, 12 maio 2015.

LIMA, M. C. A.; ALMEIDA, M. J. P. M. DE. Articulação de textos sobre nanociência e nanotecnologia para a formação inicial de professores de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 4, dez. 2012.

MELO, F. H. DA S.; FORTUNATO, I. Ensino de Física e teatro: mapeamento bibliográfico dos periódicos brasileiros. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, v. 2, n. 3, 10 dez. 2015.

MOREIRA, L. M. Oxigênio: uma abordagem filosófica visando discussões acerca da educação em ciências - parte 1: poder e ambição. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 18, n. 4, p. 803–818, 2012.

MOREIRA, L. M.; MARANDINO, M. O teatro em museus e centros de ciências no Brasil. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 22, n. suppl, p. 1735–1748, dez. 2015.

OLIVEIRA, D. M. **Teatro Científico: a arte como divulgação da ciência Coreia, Coreia: um exercício de teatro científico**. Monografia/Especialização (Especialista em Divulgação da Ciência, da Tecnologia e da Saúde) Museu da Vida/Casa de Oswaldo Cruz/Fundação Oswaldo Cruz – FIOCRUZ, RJ, 2010.

OLIVEIRA, L. M.; GOMES, M. L. Einstein e a Relatividade entram em cena: diálogos sobre o teatro na escola e um ensino de física criativo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 943, 15 dez. 2016.

OLIVEIRA, N. R.; ZANETIC, J. A presença do teatro no ensino de física. **IX. Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física**, Jaboticatubas, MG, 2004.

ORLANDI, E. P. **Análise de discurso: princípios & procedimentos**. Campinas, SP: Pontes, 1999.

ORLANDI, E. P. **Discurso e leitura**. 8. ed. São Paulo, SP: Cortez, 2008.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, p. 23–48, 21 nov. 2000.

PAGLIARINI, C. R.; ALMEIDA, M. J. P. M. DE. Leituras por alunos do ensino médio de textos de cientistas sobre o início da física quântica. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 22, n. 2, p. 299–317, jun. 2016.

PALLOTTINI, R. **Introdução à Dramaturgia**. São Paulo, SP: Editora Ática, 1988.

PESSOA JUNIOR, O. **Conceitos de Física Quântica**. 1. ed. São Paulo (SP): Livraria da Física, 2003.

PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É possível levar a física quântica para o ensino médio? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 16, n. 1, p. 7–34, 1999.

PINTO NETO, N. **Teorias e interpretações da mecânica quântica**. São Paulo, SP: Editora Livraria da Física, 2010.

RYNGAERT, J.-P.; NEVES, P. **Introdução à análise do teatro**. São Paulo, SP: Martins Fontes, 1996.

SALOMÃO, S. R. Linguagem científica e linguagem poética: práticas culturais na escola. In: **ALMEIDA, M. J. P. M. SILVA, H. C. (orgs). Textos de palestras e sessões temáticas III Encontro Linguagens, Leituras e Ensino de Ciência**. Campinas, SP: Graf FE/UNICAMP, 2000. p. 83–89.

SILVA, D. E. **Divulgação científica no ensino médio = a equação relativística entre massa e energia**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, Campinas, 2012.

SILVA, A. C. DA; ALMEIDA, M. J. P. M. DE. Física quântica no ensino médio: o que dizem as pesquisas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, 15 dez. 2011.

SILVA, H. C. DA. Ciência, política, discurso e texto: circulação e textualização: possibilidades no campo da educação científica e tecnológica. **Ciência & Ensino**, v. 3, n. 1, p. 72–94, 2014.

SILVEIRA, A. F. DA. **O teatro como instrumento de humanização e divulgação da ciência: um estudo do texto ao ato da obra Copenhague de Michael Frayn**. Tese (Doutorado) Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-graduação Em Ensino, Filosofia E História Das Ciências, Salvador, 2011.

SILVEIRA, A. F. DA; FILHO, A. R.; SILVA, A. P. B. DA. Os princípios de complementaridade e de incerteza na obra Copenhague de Michael Frayn: a arte e a teoria quântica. In: **Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais**. Campina Grande - São Paulo: EDUEPB, 2011. p. 321–337.

SORPRESO, T. P.; ALMEIDA, M. J. P. M. **Linguagens na física e no seu ensino: compreendendo o imaginário de licenciandos em física**. VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. **Anais...Florianópolis: Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa Em Educação Em Ciências**. Belo Horizonte: ABRAPEC, 2007.

SOUZA-JÚNIOR, F. S. et al. O papel do teatro científico na formação

inicial de professores de química no sertão nordestino. **IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Águas de Lindóia, SP, 2013.

STEWART, V. A Theatre of Uncertainties: Science and History in Michael Frayn's 'Copenhagen'. **New Theatre Quarterly**, v. 15, n. 04, p. 301, 15 nov. 1999.

TERRAZZAN, E. A. **Perspectivas para a inserção da física moderna na escola média**. [s.l.] Tese (Doutorado em Educação)–Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP: 1994.

TORT, A. C.; STACHEL, J. J. **O ano miraculoso de Einstein: cinco artigos que mudaram a face da Física**. Rio de Janeiro, RJ: Editora UFRJ, 2005.

WHITE, M. Bombas atômicas e seres humanos, os Aliados e as potências do Eixo. In: **Rivalidades produtivas: disputas e brigas que impulsionaram a ciência e a tecnologia**. Rio de Janeiro: Record, 2003.

ZANOTELLO, M.; ALMEIDA, M. J. P. M. DE. Produção de sentidos e possibilidades de mediação na física do ensino médio: leitura de um livro sobre Isaac Newton. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 437–446, 2007.

APÊNDICE

Perguntas feitas aos alunos na primeira aula do ensaio de mediação de leitura

- *Quais disciplinas relacionadas com a Física Moderna vocês já cursaram?*
- *Vocês costumam frequentar teatros?*
- *Vocês já leram alguma peça? Já tinham lido alguma peça antes de termos encaminhado essa?*
- *Vocês conhecem, sabem dizer, de algum espetáculo com tema de/sobre ciência e/ou cientistas?*
- *Vocês já ouviram falar então em algo do gênero, que existem teatros (peças teatrais) que trazem a temática científica, vocês sabiam que existia essa possibilidade?*

ANEXO

.....NuTECCA IFSP Itapetininga.....

**Versão brasileira da peça de
teatro Copenhagen (de Michael
Frayn) para fins didáticos**
Brazilian version of the Copenhagen theater
piece (by Michael Frayn) for teaching
purposes

Luis Felipe Massarico Cardoso¹

¹Núcleo de Estudos Transdisciplinares em Ensino, Ciência, Cultura e Ambiente
(NuTECCA), Instituto Federal de São Paulo, Itapetininga, fe.philos@hotmail.com.

Submetido em 31/01/2015
Revisado em 24/04/2015
Aprovado em 04/05/2015

Resumo: Michael Frayn, após pesquisar em inúmeras fontes, escreveu esta história na forma de teatro, onde tentou retratar o que teria se passado naquela conversa sombria, ocorrida na noite de 1941 em Copenhagen, entre Bohr, Margrethe e Heisenberg. A tradução desta peça, do espanhol para o português, foi pensada e realizada com o intuito da disseminação da ciência através da cultura para o povo de língua portuguesa, visto que muitos alunos relatam durante as aulas e conversas informais, a dificuldade de se entender o conteúdo da física com palavras rebuscadas e com a formalidade mostrada em livros.

Palavras chave: Teatro. Ensino de física. Física moderna.

Abstract: Michael Frayn, after researching from numerous sources, wrote this story in the form of theater, in which he tried to portray what would have passed in that gloomy conversation between Bohr, Margrethe and Heisenberg, which took place on the night of 1941 in Copenhagen. The translation of this piece, from Spanish to Portuguese, was conceived and carried out with the intention of dissemination of science through culture to the people of Portuguese language, since many students report, during classes and informal conversations, the difficulty of understanding the physical content with flowery words and formality shown in books.

Keywords: Theater. Physics teaching. Modern physics.

Apresentação

Bohr e Heisenberg, amigos de longa data se encontram depois de mortos. Heisenberg: era considerado um membro da família Bohr desde sua chegada em 1921; “juntos” criaram a interpretação de Copenhagen, de onde surgiram contribuições esplêndidas para a mecânica quântica. A fundação dessa nova área dá reviravolta no mundo da física. Bohr e Margrethe, judeus. Heisenberg, alemão. 1939 explode a Segunda Grande Guerra. Alemães perseguem judeus, físicos judeus fogem para outros países. Físicos alemães, liderados por Heisenberg iniciam o projeto de um programa nuclear alemão. Ele em 1941 procura Bohr em Copenhagen. O que aconteceu de tão drástico que pôs fim a uma amizade de anos, que rompeu os laços familiares desses personagens? Qual o conteúdo que teve a conversa? Só a incerteza pode ser complementada. Michael Frayn, após pesquisar em inúmeras fontes, escreveu esta história na forma de teatro, onde tentou retratar o que teria se passado naquela conversa sombria na noite de 1941 em Copenhagen.

Apresentada na Broadway (Nova Iorque), teatro General San Martín (Buenos Ayres) e também pela equipe Arte e Ciência no Palco (São Paulo), a peça foi um sucesso em quase todas as pesquisas, referências e resenhas achadas na rede. Além do inglês, versões do livro também estão disponíveis na internet (entre venda e versões em arquivo .pdf) em francês, alemão, italiano, russo e espanhol. Um filme foi realizado com base no livro, o nome é “Copenhagen”, sob direção de Howards Davies, estrelado por Stephan Rea (Niels Bohr), Daniel Craig (Werner Heisenberg) e Francesca Annis (Margreth Bohr), a adaptação televisiva tem 90 minutos.

A tradução desta peça, do espanhol (apresentado no teatro San Martín, em 2002 e disponível na internet em .pdf) para o português, foi pensada e realizada com o intuito da disseminação da ciência através da cultura para o povo de língua portuguesa, visto que muitos alunos relatam durante as aulas e conversas informais, a dificuldade de se entender o conteúdo da física com palavras rebuscadas e com a formalidade mostrada em livros. O teatro, desde a Grécia Antiga é utilizado como uma ferramenta de comunicação sobre diversos temas, sendo utilizada

primeiramente para transmitir a religião e a cultura e com essa peça, busca-se mostrar a ciência rebuscada para um público que está iniciando a busca do conhecimento, para aqueles que já tiveram contato com as teorias mais profundas do tema e para aqueles que simplesmente se simpatizam com a história da Segunda Guerra Mundial, suas relações políticas e sociais.

"COPENHAGEN"

Drama. Dois atos. 94 páginas.

PERSONAGENS

NIELS BOHR - 55 anos. Físico teórico judeu nascido na Dinamarca. Esposo de Margrethe. Um dos autores da Interpretação de Copenhagen que mudou o rumo da física teórica. Emocionalmente estável, forte sentimento paterno.

MARGRETHE NØRLUND BOHR - Entre 50 e 51 anos. Dinamarquesa, de origem judaica. Esposa de Niels Bohr, responsável pela datilografia dos trabalhos que resultaram na Interpretação de Copenhagen. Com gênio forte mas com espírito materno.

WERNER KARL HEISENBERG - 39 anos. Alemão. Conquistou a cátedra de Leipzig após publicar o Princípio da Incerteza. Juntamente com Bohr criou a Interpretação de Copenhagen. Afinidade emocional com a incerteza, filho de consideração de Niels e Margrethe.

LOCAL: Sala de estar da casa de Niels Bohr e Margrethe.

DURAÇÃO: 150 minutos (dois atos).

TEXTO ORIGINAL EM ESPANHOL: <http://goo.gl/SZSmJS>, primeiro acesso em 31 ago. 2014; último acesso em 30 jan. 2015.

<INÍCIO DO PRIMEIRO ATO>

Margrethe: Mas por que ele veio para Copenhague?

Bohr: Meu amor, isso importa? Quanto tempo faz que nós três já estamos mortos?

Margrethe: Algumas perguntas duram por muito tempo após a morte de seus donos. Como fantasmas a buscar as respostas que nunca encontrou em vida.

Bohr: Algumas perguntas não encontram suas respostas.

Margreth: Mas porque ele veio? O que está tentando dizer?

Bohr: No fundo creio que é muito simples: queira conversar.

Margreth: Conversar? Com o inimigo? No meio da guerra?

Bohr: Margreth, meu amor, não éramos inimigos.

Margreth: Estamos falando de 1941!

Bohr: Heisenberg: era nosso amigo!

Margreth: Heisenberg: era alemão! Nós éramos dinamarqueses! Os alemães tinham ocupado o nosso país. Eu nunca vi você tão irritado com alguém como naquela noite com Heisenberg!

Bohr: Não quero contradizer, mas acho que eu fiquei incrivelmente tranquilo! Para ele era tão difícil quanto para nós.

Margreth: Por isso mesmo, por que fazer isso? Agora, não faz mal a ninguém, não trairemos a ninguém.

Heisenberg: Estamos todos mortos, é certo. E o mundo se lembra de mim só por duas coisas: o princípio da incerteza e por minha misteriosa visita a Niels Bohr em Copenhague em 1941. Todos entendem do se trata a incerteza! Ou assim eles pensam. Mas ninguém entende por que eu fui para Copenhagen! Eu expliquei uma e outra vez. A Bohr mesmo, e a Margreth. Aos interrogadores, oficiais de inteligência, jornalistas, historiadores! Quanto mais eu explicava mais incerto ficava. Bem, com muito gosto vou tentar de novo. Agora que estamos mortos e não faremos mal a ninguém, e não trairemos ninguém.

Margreth: Agora eu posso dizer. Nunca gostei dele!

Bohr: Não é verdade. Eu gostava muito dele quando ele veio pela primeira vez na década de vinte! E quando ele veio para a praia com a gente e as crianças? Era mais um da família!

Margreth: Tinha algo "estranho", já desde essa época!

Bohr: Mas era um físico excepcional. E quanto mais eu penso, mais me convenço de que Heisenberg: foi o melhor.

Heisenberg: Quem foi Bohr? Ele foi o primeiro, o pai de todos nós! Tudo o que fizemos foi baseado em sua grande intuição!

Bohr: Pensar que veio trabalhar comigo em 1924...

Heisenberg: Acabava de terminar meu doutorado, e Bohr era o físico atômico mais famoso do mundo!

Bohr: ...e em menos de um ano a mecânica quântica te era devedora de umas quantas coisas.

Margreth: Surgiu do trabalho que fizeram juntos.

Bohr: E um ano depois obtive o Princípio da Incerteza!

Margreth: E foi tua a complementaridade!

Bohr: A discutimos juntos!

Heisenberg: Juntos fizemos nossos melhores trabalhos.

Bohr: Funcionávamos como uma empresa!

Heisenberg: Presidente e gerente geral.

Margreth: Pai e filho.

Heisenberg: Um negócio de família!

Margreth: Ainda que tivéssemos nossos próprios filhos!

BOHR: E seguimos trabalhando juntos muito tempo depois quando já havia deixado de ser meu assistente!

Heisenberg: Depois de ter voltado para a Alemanha em 1927, para assumir o cargo de minha cátedra em Leipzig, e muito depois de ter a minha própria família.

Margreth: Então, os nazistas chegaram ao poder!

Bohr: E a vida tornou-se cada vez mais difícil! Quando explodiu a guerra, impossível. Até esse dia em 1941!

Margreth: Quando se terminou para sempre.

Bohr: Sim, por que fazer isso?

Heisenberg: Setembro de 1941. Durante anos eu tinha na memória como outubro.

Margreth: Setembro. Final de setembro.

Heisenberg: A memória é tão curiosa, na cabeça o passado se torna presente! Setembro de 1941, Copenhagen! E imediatamente aqui estou, descendo do trem noturno que vem de Berlim, com o meu colega Weizsäcker! Dois trajes civis entre todos os uniformes cinzas do exército alemão e os elegantes uniformes pretos da SS vieram com a gente. Na minha pasta estão os papéis da conferência que eu vou dar. Na minha cabeça há outra mensagem que eu devo comunicar. A conferência é de astrofísica. O assunto na minha cabeça é mais difícil. O meu colega Weizsäcker foi meu João Batista, escreveu para Bohr para avisar da minha chegada.

Margreth: Quer te ver?

Bohr: Creio que veio para isso.

Margreth: Deve ser muito importante o que quer te dizer!

Heisenberg: O encontro tem que parecer natural. Tem que ser privado.

Margreth: Espero que não esteja pensando em convidá-lo para nossa casa.

Bohr: Obviamente é o que está esperando!

Margreth: Niels! Eles ocuparam nosso país!

Bohr: Ele não é um deles.

Margreth: É um deles!

Heisenberg: A primeira coisa que fizemos foi visitar oficialmente o Instituto de Bohr de Física Teórica, e almoçamos na antiga e familiar sala de jantar do instituto. É claro que não tive a oportunidade de falar com Bohr! Onde estava? É como num sonho. Não posso pôr em foco os detalhes precisos da cena que me rodeia! Na

cabecira da mesa é Bohr? É Rozental, é Moller, que decido que seja... O que me lembro foi uma ocasião muito desconfortável.

Bohr: Foi um desastre. Causou uma impressão muito ruim! Ele disse que era lamentável a ocupação da Dinamarca! Mas, no entanto, era perfeitamente aceitável a ocupação da Polônia. E agora tinha certeza de que a Alemanha iria ganhar a guerra.

Heisenberg: Nossos tanques estão às portas de Moscou. O que nos pode deter? Há uma só coisa que talvez. Uma só!

Bohr: É certo que ele sabe que o estão vigiando. Tem que ter cuidado com o que diz. Mas bem se poderia se cuidar com o que diz.

Margreth: Tem que se cuidar ou não o vão deixar sair do país de novo.

Heisenberg: Me pergunto se imaginam o quão difícil foi conseguir permissão para vir. Os humilhantes pedidos ao partido, os poucos recursos para “a festa”, os esforços desgastantes para que nossos amigos na chancelaria usassem suas influencias.

Margreth: Como ele parece? Será que ele mudou muito?

Bohr: Um pouco mais velho.

Margreth: Eu ainda me lembro dele como um menino.

Bohr: Tem quase quarenta anos. Um professor maduro.

Margreth: Tem certeza de que quer convidá-lo para vir aqui?

Bohr: Vamos por os argumentos a favor e contra, de uma forma razoável e científica! Primeiro, Heisenberg: é um amigo.

Margreth: Primeiro, Heisenberg: é alemão!

Bohr: Um judeu branco. Assim o chamaram os nazistas! Ensinava relatividade, e diziam que era física judaica! Não podia falar de Einstein, a relatividade, mas continuou apesar de o atacarem terrivelmente.

Margreth: Todos os judeus de verdade perderam seus empregos. Ele ainda ensina!

Bohr: Ainda ensina relatividade.

Margreth: Ainda é professor em Leipzig. Não queria deixar a Alemanha.

Bohr: Ele queria estar lá para reconstruir a ciência alemã quando Hitler não estivesse mais.

Margreth: E se o estão vigiando, vão informar tudo! A quem viu. Que lhes disse. O que disseram a ele.

Heisenberg: Levo minha vigilância como uma doença infecciosa. Eu sei que também vigiam Bohr!

Margreth: E sabe que também te vigiam.

Bohr: Quem? A Gestapo?

Heisenberg: Se dará conta?

Bohr: Não tenho nada a esconder.

Margreth: Nossos compatriotas! Seria terrível para eles, se só pensassem que você está colaborando!

Bohr: Convidar um velho amigo para o jantar não é colaborar!

Margreth: Poderia parecer, não vão falar de política?

Bohr: Apenas de física. Suponho que queira falar de física.

Margreth: Creio que você também tem que supor que não somos os únicos que escutamos o que se diz nesta casa. Se querem privacidade é melhor que falem ao ar livre.

Heisenberg: Posso sugerir de irmos caminhar?

Bohr: Acho melhor nada de passeios. O que queira dizer que diga onde todos ouçam.

Margreth: Talvez queira compartilhar uma ideia nova.

Heisenberg: Então agora me vejo caminhando no crepúsculo outonal para casa dos Bohr! Seguido, suponho, pela minha sombra invisível. O que eu sinto? Medo, segurança. O medo de que um sempre produz um professor, um chefe, um pai! Muito mais medo do que eu tenho a dizer. E mais medo ainda do que poderia acontecer se eu falhar!

Margreth: Terá algo a ver com a guerra?

Bohr: Heisenberg: é um físico teórico! Não creio que alguém tenha descoberto uma maneira usar a física teórica para matar pessoas.

Margreth: Terá algo a ver com a fissão?

Bohr: Por que falar sobre fissão comigo?

Margreth: Porque está trabalhando nisso. E você é a autoridade máxima sobre este tema!

Bohr: Não há nada publicado sobre fissão!

Margreth: Mas e se os alemães estiveram desenvolvendo algum tipo de arma que se baseia na fissão nuclear?

Bohr: Meu amor, ninguém vai desenvolver uma arma baseada na fissão nuclear.

Margreth: Mas se os alemães tentassem, Heisenberg: estaria envolvido.

Bohr: Mas por quê? Na Alemanha sempre teve muitos físicos bons.

Margreth: Não mais. Quase todos eram judeus! E todos eles tiveram de fugir para os Estados Unidos e Inglaterra.

Heisenberg: Einstein, Pauli, Born... e tantos outros.

Margreth: E se Heisenberg: fora o responsável pelo trabalho?

Bohr: Margreth, não existe este trabalho! John Wheeler e eu fizemos tudo em 1939! Uma das coisas que emerge do nosso trabalho é que não há maneira de usar a fissão para produzir armas, pelo menos num futuro próximo.

Margreth: Então, por que todos seguem trabalhando no tema?

Bohr: Porque tem algo de mágico! Se dispara um nêutron no núcleo de um átomo de urânio e se divide em dois elementos distintos! Foi o que tentaram fazer os alquimistas, que um elemento se converta em outro!

Margreth: Então a que veio?

Heisenberg: Esmago as pedrinhas do caminho familiar para a porta de entrada da casa dos Bohr, e toco a campainha! Sinto medo, sim. É uma mistura tola de vaidade e algo que me faz sentir totalmente indefeso, porque dos dois bilhões de habitantes desta terra me deram esta responsabilidade impossível... A pesada porta se abre.

Bohr: Meu querido Heisenberg!

Heisenberg: Meu querido Bohr!

Bohr: Entre, entre...

Margreth: E, claro, apenas se veem, se avivam as velhas chamadas.

Heisenberg: Me sinto tão emocionado que possa me receber.

Bohr: Devemos tentar seguir nos comportando como seres humanos!

Heisenberg: Eu me dou conta o quão difícil é!

Bohr: Só pudemos apertar as mãos outro dia na hora do almoço!

Heisenberg: E Margreth, não a vejo desde...

Bohr: Desde os últimos quatro anos.

Margreth: Niels tem razão. Você parece mais velho.

Heisenberg: Teríamos nos visto em Zurique...

Bohr: Em setembro de 1939!

Heisenberg: E, lamentavelmente...

Bohr: Lamentavelmente para nós também.

Margreth: E muito mais lamentável para tantas outras pessoas.

Heisenberg: Sim, com certeza.

Bohr: Assim estão as coisas!

Heisenberg: O que eu posso dizer a vocês?

Margreth: Se é que se pode dizer algo nestas circunstâncias?

Heisenberg: Não. E seus filhos?

Margreth: Estão bem, obrigado. E Isabel? Os meninos?

Heisenberg: Muito bem! Mandam abraços!

Margreth: Apesar de tudo, tínhamos muita vontade de nos ver! Mas agora que chegou o momento estão tão ocupados evitando se olhar nos olhos que apenas se veem de canto de olho.

Heisenberg: Não sei se vocês se dão conta o quanto isso significa para mim, estar aqui de volta nesta casa. Estive muito só nos últimos anos.

Bohr: Eu posso imaginar!

Margreth: A mim quase não me vê. O observo discretamente detrás da minha cortesia enquanto segue tentando.

Heisenberg: A situação aqui tem sido difícil?

Bohr: Dificil?

Margreth: É claro! Tem que perguntar. Tem que libertar-se disso.

Bohr: Dificil... que posso dizer? No momento não se impuseram leis raciais.

Margreth: Ainda...

Bohr: Há alguns meses começaram a deportar os comunistas e outros “elementos” antialemães.

Heisenberg: Mas a vocês...?

Bohr: Não, não nos incomodaram.

Heisenberg: Estive muito preocupado.

Bohr: Muito amigável. Por enquanto nada que deva nos tirar o sono.

Margreth: Silêncio. Cumpriu o seu dever. Agora você pode levar a conversa para temas mais agradáveis.

Heisenberg: Ainda navega?

Bohr: Navegar?

Margreth: Mal começou...

Bohr: Não, não navego...

Heisenberg: O mar está...?

Bohr: Minado!

Heisenberg: Claro!

Margreth: Suponho que ele não perguntará se você continua a esquiar.

Heisenberg: E esqui?

Bohr: Esquiar? Na Dinamarca?

Heisenberg: Na Noruega. Costumava ir para a Noruega.

Bohr: Costumava, sim.

Heisenberg: Digo, como a Noruega também está...

Bohr: Ocupada? Sim. Na verdade eu acho que poderíamos tirar férias em quase qualquer lugar na Europa.

Heisenberg: Desculpe não quis dizer dessa maneira.

Bohr: É que estou um pouco suscetível...

Heisenberg: Talvez você pudesse considerar a possibilidade de ir alguma vez a Alemanha ...

Margreth: Esse menino é um idiota.

Bohr: Meu querido Heisenberg, seria facilmente ser confundido e pensar que os cidadãos de uma pequena nação, uma pequena nação invadida, invadida caprichosa e cruelmente, por seu vizinho mais poderoso, que não tem os mesmos sentimentos de orgulho nacional, e o mesmo amor por seu país que seus conquistadores!

Margreth: Niels, o que dissemos?!

Bohr: Só falar de física, sim.

Margreth: Nada de política!

Bohr: Desculpe.

Heisenberg: Não, não, eu só queria dizer que eu ainda tenho a minha cabana de esqui. Então, se por acaso... alguma vez... por qualquer motivo...

Bohr: Talvez Margreth seja tão gentil para bordar uma estrela amarela na minha jaqueta de esqui!

Heisenberg: Sim, sim! Que estupidez!

Margreth: Silêncio novamente. Agora eu começo a sentir pena! Sentado aqui, completamente sozinho, de frente para nós dois, em um país onde o odeia. Agora o vejo mais jovem, como o cara que veio aqui pela primeira vez em 1924. Tímido e arrogante e com necessidade de que o queiram. E, sim, é triste, porque Niels o amava! Foi um pai para ele.

Heisenberg: Em que está trabalhando?

Bohr: Na fissão, quase que exclusivamente. E você?

Heisenberg: Várias coisas...

Margreth: Fissão?

Heisenberg: Às vezes, eu me sinto muito inveja de seu ciclotron.

Margreth: Por quê? Também está trabalhando sobre a fissão?

Heisenberg: Há mais de trinta nos Estados Unidos! Enquanto na Alemanha... bom... pelo menos você ainda pode ir para sua casa na praia?

Bohr: Às vezes vamos sim.

Margreth: Perdão, estava para dizer que na Alemanha...

Bohr: ... não há um só ciclotron!

Heisenberg: É tão bonita a praia de nesta época do ano.

Bohr: Será que veio para levar o ciclotron? Não é por isso que você veio a Copenhague?

Heisenberg: Não vim a Copenhague para isso.

Bohr: Desculpe! Eu não deveria tirar conclusões precipitadas.

Heisenberg: Não, nenhum de nós deve tirar conclusões precipitadas de nenhum tipo.

Bohr: Mas a falta de ciclotron na Alemanha não é seguramente um segredo militar.

Heisenberg: Não tenho ideia o que é secreto e o que não é!

Bohr: Também não é um segredo que eles não os têm. Você não pode dizer, mas eu sim. É porque os alemães se opuseram sistematicamente a física teórica. Por quê? Porque a maioria das pessoas que trabalharam nesta área eram judeus! E por que muitos eram judeus? Porque a física teórica, a física que interessava a Einstein, Schrödinger, Pauli e a nós dois, sempre foi considerado na Alemanha inferior à física experimental, e as cátedras teóricas eram as únicas que os judeus teriam acesso!

Margreth: Física! Sim?

Bohr: Isto é física!

Margreth: Também é política!

Heisenberg: Às vezes é muito difícil de separá-las! Você está em contato com os nossos amigos na Inglaterra? Com Born? Com Chadwick?

Bohr: Heisenberg, estamos sob ocupação alemã! Alemanha está em guerra com Inglaterra.

Heisenberg: Pensei que talvez mantivesse algum contato. E com as pessoas Estados Unidos? Com eles nós não estamos em guerra.

Bohr: Que quer saber?

Heisenberg: Curiosidade...

Margreth: A única visita de fora veio da Alemanha. Seu amigo Weizsäcker nos visitou em março. Não sei por que trouxe o diretor do Instituto Alemão...

Heisenberg: O fiz com a melhor das intenções! Talvez ele não explicou que o Instituto está sob o controle da Chancelaria. Nós temos bons amigos na embaixada aqui!

Bohr: É um departamento do governo nazista

Heisenberg: Seguramente estavam tentando que os cidadãos ilustres deste país pudessem trabalhar tranquilos.

Bohr: Você está me dizendo que seus amigos na embaixada estão me protegendo?

Heisenberg: Eu que o digo, por si Weizsäcker não me assegurou, é que se sentiriam muito honrados se você pudesse aceitar um convite de vez em quando.

Bohr: Ir para coquetéis na Embaixada alemã? Para tomar café com bolos com o embaixador nazista?

Heisenberg: Talvez a alguma conferência! Aos grupos de discussão! Qualquer tipo de contato social pode ser de grande ajuda!

Bohr: Com certeza sim!

Heisenberg: E em algumas circunstâncias pode ser essencial!

Bohr: Em que circunstâncias?

Heisenberg: Eu acho que nós dois sabemos disso!

Bohr: Porque eu sou meio judeu?

Heisenberg: Todos em algum momento pode precisar de ajuda dos nossos amigos.

Bohr: Por isso veio a Copenhague? Para me convidar para assistir a deportação de meus compatriotas das janelas da embaixada alemã?

Heisenberg: Bohr, por favor! Por favor! Que outra coisa eu posso fazer? Como posso ajudar? Eu sei que é uma situação extremamente difícil para você. Eu entendo! Mas também é uma situação extremamente difícil para mim.

Bohr: Sim. Desculpa. Estou seguro de que também tem as melhores intenções.

Heisenberg: De todo modo não vim para isso.

Margreth: Talvez você devesse dizer simplesmente o quer dizer.

Heisenberg: Não gostaria de sair para caminhar como nos velhos tempos?

Bohr: Faz frio esta noite, me parece, para caminhar.

Heisenberg: Isto é tão difícil. Te lembras onde nos conhecemos?

Bohr: Claro, em Göttingen em 1922!

Heisenberg: Em uma conferência em sua honra!

Bohr: Foi uma grande honra! Eu estava ciente disso.

Heisenberg: Você foi homenageado por dois motivos! Primeiro, por ser um grande físico...

Bohr: Sim, sim.

Heisenberg: ... e em segundo lugar, porque era uma das poucas pessoas na Europa que estava disposto a lidar com a Alemanha. A primeira guerra havia terminado há quatro anos e ainda éramos tratados como leprosos. Mas nos deu a mão. Sempre inspirastes amor, você sabe disso. Aonde seja que você tenha passado, que tenha trabalhado, Aqui na Dinamarca. Na Inglaterra, nos Estados Unidos. Mas na Alemanha te adorávamos. Porque nos deu a mão.

Bohr: A Alemanha mudou!

Heisenberg: Sim! Entretanto estávamos derrotados e foi generoso.

Margreth: E agora vocês dominam!

Heisenberg: E é mais difícil de ser generoso! Mas nos destes a mão e apertamos!

Bohr: Sim... Não! Você na realidade a mordeu.

Heisenberg: Eu a mordi?

Bohr: Me mordeu a mão, sim! Eu dei-lhe a mão cerimoniosamente e amigavelmente e você a mordeu.

Heisenberg: Do que está falando?

Bohr: Se levantou e me atacou.

Heisenberg: Ah... Fiz alguns comentários.

Bohr: Era um belo dia de verão! Fileiras de físicos e matemáticos eminentes, todos dando aprovação para a minha sabedoria. De repente, salta um cachorro atrevido e me diz que meus cálculos matemáticos estavam equivocados.

Heisenberg: Estavam equivocados.

Bohr: Que idade tinha?

Heisenberg: Vinte.

Bohr: Um ano depois da mudança do século.

Heisenberg: Não exatamente.

Bohr: Em 05 de dezembro, sim?

Heisenberg: 0,93 anos a mais do século.

Bohr: Para ser exato!

Heisenberg: Não, para ser exato, 0,928... 7... 6... 7... 1...

Margreth: E Niels decide, de repente amá-lo novamente, apesar de tudo. Por quê? O que aconteceu? Foi a lembrança daquele dia de verão em Göttingen? De qualquer forma, quando nos sentamos para jantar, as cinzas foram acesas novamente.

Bohr: Sempre tão competitivo! Até quando jogávamos tênis de mesa. Parecia que queria me matar.

Heisenberg: Queria ganhar! Vos também queria ganhar.

Bohr: Eu queria uma partida amigável de ping-pong.

Heisenberg: Você diz isso porque você não podia ver a expressão do seu rosto.

Bohr: Podia ver a sua.

Heisenberg: E quando jogou poker na cabana de esqui? Uma vez que fez uma limpa! Você se lembra disso? Com um royal flush que não tinha! Todos

matemáticos, todos contando as cartas, estávamos 90% seguros que não tinha nada! Mas continuou a nos fazer subir e subir a aposta! Essa confiança idiota. Até que nossa fê na probabilidade matemática começou a enfraquecer e um por um fomos para o maço.

Bohr: Eu estava certo de que eu tinha um royal flush. Não vi bem as letras! Me enganei a mim mesmo.

Margreth: Pobres Niels!

Heisenberg: Pobre Niels? Ele ganhou! Nós que falimos. Era insanamente competitivo!

Bohr: Você era competitivo. Uma vez que descíamos da cabana para buscar abastecimento até nisso o convertia em uma carreira. Você se lembra? Estávamos com Weizsäcker mais alguém. Pegou um cronômetro.

Heisenberg: Pobre Weizsäcker, levou dezoito minutos!

Bohr: Você baixou em dez.

Heisenberg: Oito!

Bohr: Não me lembro o quanto fiz.

Heisenberg: Quarenta e cinco minutos.

Bohr: Obrigado!

Heisenberg: Você esquiava como fazia ciência! O que estava esperando? Provavelmente estavas realizando os cálculos das dezessete rotas possíveis diferentes!

Margreth: E eu estava lá para podê-las digitar.

Bohr: Pelo menos eu sabia onde eu estava. Na velocidade que iam estavam enfrentando a relação de incerteza! Se eles sabiam onde estavam, não sabiam o que a velocidade tinha baixado! Se sabiam a que velocidade havia baixado, não saberiam onde estavam.

Heisenberg: Eu não preciso parar para pensar.

Bohr: Justamente isso é o que poderia ser criticado em parte de seu trabalho.

Heisenberg: De qualquer forma, geralmente chegava.

Bohr: Sim, mas não te importava que destruisse no caminho. Enquanto funcionava a matemática estavas satisfeito.

Heisenberg: Se algo funciona, funciona.

Bohr: Mas a pergunta sempre é: o que significa a matemática? Em uma linguagem simples. Quais são as implicações filosóficas?

Heisenberg: Quando se desce a 70 quilômetros por hora as decisões se tomam sozinhas. De repente, em frente a um abismo, viro à esquerda ou à direita? Se eu penso, me mato! Na cabeça se dobra para os dois lados.

Bohr: Porque você insiste que é sempre mais fácil agir do que reagir. Tomar uma decisão de fazer algo que responder a ação do outro!

Heisenberg: Sim, claro! Assim como a música, essa é outra coisa que nos faz decidir. Eu toco o piano e é como abrir o caminho diante de mim, só tenho que seguir. Assim tive o meu único sucesso com as mulheres! Uma noite musical com amigos em Leipzig, um trio de piano. 1937 Estamos tocando Beethoven em Sol maior. Terminamos o concerto, e olho para cima para ver se os outros dois estão prontos para começar o final rápido! E nesse instante eu vejo uma jovem sentada a um canto da sala. Só um instante, mas com certeza já a havia levada à Cabana, nos havíamos comprometidos, nos havíamos casados, etcetera – fantasias românticas tão inúteis – e começamos com um final rápido, que foi extremamente rápido e eu não tive tempo de assustar-me! E tudo foi fácil para mim. Terminou como se tivesse esquiado. Me submeti à jovem, a acompanhei a sua casa e, sim, uma semana mais tarde a levo para minha cabana, outra semana nos comprometemos, e três meses mais tarde nos casamos. E tudo pela velocidade desse final rápido!

Bohr: Você disse que se sente sozinho! Mas você tem companhia.

Heisenberg: A música?

Bohr: Isabel!

Heisenberg: Ah, sim. Embora com os meninos e essas coisas... Eu sempre invejei como vocês dois falam sobre tudo. De seu trabalho. Seus problemas. De mim, com certeza.

Bohr: A natureza me formou como uma entidade matemática curiosa: não uma unidade e sim a metade dos dois.

Heisenberg: A matemática é muito estranha quando se aplica a pessoas. Um mais um pode ser tantas coisas...

Margreth: Silêncio. Em que pensará? Em sua vida? Na nossa?

Heisenberg: Silêncio. E é claro que eles estão pensando novamente em seus filhos.

Margreth: As mesmas memórias brilhantes. A mesma escuridão! Voltam e voltam.

Heisenberg: Seus quatro filhos vivos e dois mortos!

Margreth: Harald! Só nesse hospital.

Bohr: Está Pensando em Cristian e Harald!

Heisenberg: Os dois meninos perdidos! Harald...

Bohr: Todos esses anos sozinho, nesse hospital horrível.

Heisenberg: E Cristian! O primogênito. O filho mais velho.

Bohr: Novamente esses segundos que eu vejo todos os dias.

Heisenberg: Esses breves segundos no barco, quando o leme se trava no mar enfurecido e Cristian está caindo.

Bohr: Se eu não tivesse deixado travar o leme...

Heisenberg: Esses segundos tão longos no mar!

Bohr: Aqueles segundos intermináveis no mar.

Heisenberg: Quando você tenta alcançar a boia!

Bohr: Caso o alcançasse!

Margreth: Eu estou em nossa casa de praia! Eu olho por cima do meu trabalho! Niels está na porta me olhando em silêncio. De repente, desvia o olhar para longe e eu sei o que aconteceu.

Bohr: Tão perto, tão perto! Uma distância tão pequena!

Heisenberg: O leme se trava uma vez... e de novo ...

Margreth: Niels desvia o olhar!

Bohr: Cristian estende a mão para alcançar a boia...

Heisenberg: Mas há coisas que nem eles falam.

Bohr: Algumas coisas apenas pensamos.

Margreth: Porque não há nada a dizer.

Bohr: Bem... talvez não esteja tanto frio! Você sugeriu uma caminhada.

Heisenberg: Na realidade está muito calor.

Bohr: Não vamos demorar!

Heisenberg: No máximo uma semana.

Bohr: Quê? Como a nossa famosa primeira caminhada?

Heisenberg: Fomos para Elsinore! Me lembro muitas vezes o que você me disse estando lá.

Bohr: Você se importa meu amor? Meia hora?

Heisenberg: Talvez uma hora. Disse que não poderia ter uma impressão intocada de Elsinore, que foi afetada por saber que Hamlet tinha vivido lá. Cada canto escuro nos recordava a obscuridade dentro da alma humana...

Margreth: Assim que estão andando novamente. Bem sucedido! E se estão caminhando, estão falando! Falando de outra forma, sem dúvida. Tantas vezes eu digitei sobre o quão diferente é o comportamento das partículas quando não são observadas... Agora que começaram, uma hora que se tornará duas ou três... A primeira coisa que fizeram juntos foi irem caminhar. Depois dessa conferência em Göttingen. Niels imediatamente foi procurar o jovem atrevido que havia questionado sua matemática e levou-o para caminhar no campo. Andar, falar, conhecê-lo. E quando Heisenberg chegou aqui para trabalhar para ele, de novo saíram dar sua volta histórica pelo campo. Muito da física do século XX fez-se ao ar livre. Caminhando pelos bosques de nossa casa de campo. Descendo para a praia com os meninos. Cristian de mão a Heisenberg. E cada noite depois de jantar em Copenhague, caminhavam pelo parque atrás do Instituto, ou perto do porto. Caminhar e falar. Muito, muito antes das paredes terem ouvidos... Mas desta vez, em 1941, a caminhada tomou um rumo diferente. Dez minutos depois de sair...

voltam. Eu mal levantei da mesa vi Niels na porta. Me dei conta imediatamente da raiva que está. Não pude olhar nos seus olhos!

Bohr: Heisenberg quer dizer adeus. Ele se vai.

Margreth: Ele tão pouco me olha.

Heisenberg: Obrigado. Foi uma noite linda. Quase como nos velhos tempos. Muito amável.

Margreth: Quer uma bebida? Café?

Heisenberg: Tenho que preparar minha conferência.

Margreth: Mas, vamos nos ver antes de você ir?

Bohr: Ele tem muito a fazer.

Heisenberg: Perdoe-me se eu disse ou fez algo que...

Bohr: Sim, sim!

Heisenberg: Significou muito para mim, estar com os dois novamente. Mais do que vocês imaginam.

Margreth: Foi um prazer para nós! Abraços para Isabel e as crianças!

Bohr: Claro!

Heisenberg: Talvez quando a guerra acabar... se estivermos vivos... adeus.

Margreth: Política?

Bohr: Física! Não tem razão! Como ele pode estar certo? Se John Wheeler e eu...

Margreth: Um pouco de ar fresco, enquanto falamos, não?

Bohr: Ar fresco?

Margreth: Uma volta pelo jardim. Mais saudável do que ficar dentro de casa, eu acho.

Bohr: Oh sim!

Margreth: Para todos.

Bohr: Sim. Obrigado... Como poderá ter razão? Wheeler e eu discutimos o assunto exaustivamente em 1939!

Margreth: O que ele disse?

Bohr: Nada! Eu não sei! Eu estava bravo demais para entender.

Margreth: Tinha a ver com a fissão?

Bohr: O que acontece durante a fissão? Se dispara um nêutron a um núcleo de um átomo de urânio, se divide e libera energia!

Margreth: Uma grande quantidade de energia, não é?

Bohr: Suficiente para mover um pouco de poeira. Mas também libera dois ou mais três nêutrons cada um dos quais pode chegar a dividir outro núcleo.

Margreth: E esses núcleos divididos liberam energia por sua vez?

Bohr: E mais dois ou três nêutrons.

Heisenberg: Enquanto um esquia se desloca um pouco de neve. Esse pouco de neve moverá mais neve e se forma uma bola de neve...

Bohr: Uma cadeia de núcleos divididos, que se multiplica, através do urânio, dobrando e quadruplicando em um milionésimo de segundo de uma geração para a outra! Duas divisões para começar, em seguida, dois ao quadrado, dois ao cubo, para a quarta, a quinto, a sexta...

Heisenberg: O trovão da avalanche nas montanhas ao redor ecoa nas montanhas ao redor...

Bohr: Até mais tarde ou mais cedo, dizer após oito gerações, 280 montes de poeira haverão sido deslocadas! 280 é um número com 24 dígitos! Suficientes montes de poeira para criar uma cidade, e todos os que vivem nele.

Heisenberg: Mas há uma dificuldade.

Bohr: Felizmente há uma dificuldade! O urânio natural é composto por dois diferentes isótopos, Urânio-238 e Urânio-235. Menos de um por cento é Urânio-235 e esta pequena fração é a única parte que é fissionada por nêutrons rápidos!

Heisenberg: Esta foi a grande intuição de Bohr... Foi o que aconteceu quando estava na Princeton em 1939, andando pelo campus com Wheeler.

Bohr: Aqui estão duas dificuldades! O 238 não só não pode ser dividido por qualquer maneira por nêutrons rápidos, mas absorve-os. Assim, que ao pouco tempo que começa a reação em cadeia, não há número suficiente de nêutrons rápidos para fissionar o 235!

Heisenberg: E a cadeia para.

Bohr: Também se pode fissionar o 235 com nêutrons lentos! Mas, então, a reação em cadeia ocorre muito mais lentamente do que o urânio precisa para explodir.

Heisenberg: E mais uma vez a cadeia para.

Bohr: O que tudo isto significa é que uma reação em cadeia explosiva não ocorrerá jamais em urânio natural. Para produzir uma explosão terá que se separar 235 puro. E para que a cadeia seja longa o suficiente para produzir uma explosão importante precisaria de muitas toneladas. E é extremamente difícil poder separá-lo.

Heisenberg: Tentadoramente difícil.

Bohr: Felizmente difícil. Os cálculos mais otimistas quando estive nos Estados Unidos, em 1939, eram que para produzir um grama de Urânio-235 levaria 26.000 anos. E eu acho que até lá a guerra vai acabar. Assim, ele está errado, está errado! Ou eu estou errado? Eu terei calculado mal? Vamos ver... Qual é a taxa de absorção de nêutrons rápidos de 238? Qual é o caminho livre médio dos nêutrons lentos no 235...?

Margreth: Mas. O que Heisenberg tinha dito exatamente? Isso é o que todos querem saber, então e depois...

Bohr: É o que quiseram saber os ingleses o quanto Chadwick pode se comunicar comigo! Que disse exatamente Heisenberg?

Heisenberg: E o que, exatamente, Bohr respondeu? Essa foi a primeira coisa que perguntaram meus colegas quando voltei para a Alemanha.

Margreth: O que Neils disse a Heisenberg? O que Neils respondeu? A pessoa que mais queria saber era o próprio Heisenberg!

Bohr: Por isso voltou a Copenhague, dois anos depois de terminada a guerra em 1947.

Margreth: Desta vez escoltado por um acompanhante visível da inteligência Britânica e não por agentes invisíveis da Gestapo.

Bohr: Creio que queria várias coisas.

Margreth: Duas coisas. Pacotes de comida...

Bohr: Para sua família na Alemanha. Não tinham nada para comer.

Margreth: E para chegar a um acordo sobre o que haviam dito em 1941.

Bohr: A conversa acabou quase tão rápido quanto da vez anterior.

Margreth: Não puderam sequer chegar a um acordo sobre onde eles tinham caminhado naquela noite.

Heisenberg: Por onde caminhamos?

Bohr: Não caminhamos.

Heisenberg: Eu vejo as folhas de outono empilhadas sob as luzes da rua.

Bohr: Porque você acha que foi em outubro!

Margreth: E foi em setembro!

Bohr: Não havia folhas caídas.

Margreth: E era 1941. Não se podiam acender as lâmpadas na rua! Estávamos em guerra.

Bohr: Nós não saímos do meu escritório. Eu vejo os papéis embaixo da luminária.

Heisenberg: Estávamos lá fora! O que iria dizer era traição. Se me escutassem, seria executado.

Margreth: O que foi essa coisa misteriosa que você disse?

Heisenberg: Não tem mistério. Nunca houve mistério. Me lembro perfeitamente porque minha vida estava em jogo, e escolhi minhas palavras com muito cuidado. Simplesmente te perguntei se, como um físico, eu teria o direito moral de trabalhar na exploração da energia atômica. Sim?

Bohr: Não me lembro.

Heisenberg: Não se lembra, não, porque quase que imediatamente se irritou! Você parou secamente.

Bohr: Porque eu estava horrorizado.

HEISENBERG: Horrorizado. Bem, você se lembra disso. Você ficou parado, me olhando, horrorizado.

Bohr: Porque a dedução era óbvia. Você estava trabalhando nisso.

Heisenberg: E você se apressou a concluir que eu estava tentando dar armas nucleares a Hitler!

Bohr: E era o que você estava fazendo!

Heisenberg: Não! Um reator! Era isso o que estávamos tentando construir! Uma máquina para produzir energia! Para gerar eletricidade, para impulsionar barcos!

Bohr: Não disse nada sobre um reator!

Heisenberg: Não disse nada sobre nada! Não claramente! Não podia. Não sabia quanto eles podiam nos ouvir. O que contariam aos outros.

Bohr: Mas te perguntei se realmente estava pensando que a fissão do urânio poderia ser usado para a construção de armas!

Heisenberg: Ah! Agora se lembra!

Bohr: Sim! E claramente o que me respondestes!

Heisenberg: Disse que você sabia que sim.

Bohr: E isso é o que realmente me assustou!

Heisenberg: Porque você confiava que para produzir armas precisaria do 235 e que nunca íamos poder produzir o suficiente.

Bohr: Um reator! Sim, por ali não iria acontecer uma explosão. Se pode manter em funcionamento uma reação em cadeia em cadeia com nêutrons lentos em urânio natural.

Heisenberg: O que nós havíamos dado conta, sem, no entanto, era que, era que se alguma vez poderíamos pôr em funcionamento o reator, o 238 absorveria os nêutrons rápidos. Como você intuiu brilhantemente em 1939. E, por sua vez seria transformado por eles e se converteria em um elemento totalmente novo.

Bohr: Netúnio! Que por sua vez, se transformaria em outro elemento...

Heisenberg: Pelo menos tão possível de ser fissionado como o 235!

Margreth: Plutônio!

Heisenberg: Plutônio.

Bohr: Como não me dei conta!

Heisenberg: Se pudéssemos construir um reator seríamos capazes de construir bombas! Isso é o que me levou a Copenhague. Mas eu não poderia dizer. E, neste ponto você parou de me ouvir. A bomba já havia explodido dentro de sua cabeça. A conversa estava terminada. Nossa única chance de falar se havia ido para sempre.

Bohr: Porque já tinha entendido o ponto central. Que por um caminho ou outro viria a possibilidade de fornecer armas nucleares a Hitler.

Heisenberg: Compreendestes, pelo menos, quatro pontos centrais, todos equivocados. Você disse a Rozental. Que eu tinha tentado tirar de você o que sabia da fissão! Disse a Weisskopf que eu havia te perguntado o que você sabia do programa nuclear aliado. Chadwick entendeu que eu estava tentando te persuadir de que não havia nenhum programa alemão. Mas também parece que contactastes a algumas pessoas que eu queria te recrutar para trabalhar para nós!

Bohr: Muito bem. Vamos começar do princípio. Não há homens da Gestapo nas sombras. Não há oficial da inteligência britânica. Ninguém nos observa.

Margreth: Só eu!

Bohr: Só Margreth. Vamos deixar tudo claro para ela! Você sabe que eu acredito fervorosamente que não fazemos ciência para nós, que a fazemos isso para poder explicá-la aos outros...

Heisenberg: Em linguagem simples.

Bohr: Em linguagem simples. Não é a sua posição, eu sei; você poderia facilmente descrever o que você está investigando, equações diferenciais se é possível, mas para Margreth...

Heisenberg: Em linguagem simples!

Bohr: Uma linguagem simples, está bem, então aqui estamos nós, andando pela rua mais uma vez. E desta vez eu estou totalmente calmo. Te escuto com atenção. O que quer me dizer?

Heisenberg: Não é apenas o que eu quero dizer! É toda a equipe nuclear alemã em Berlim! Não Diebner, é claro, não os nazistas; Weizsäcker, Hahn, todos eles

queriam que eu viesse aqui e discutisse com você. Todos nós o vemos como uma espécie de pai espiritual.

Margreth: O Papa. Assim o chamavam pelas costas! E agora querem que lhes dê a absolvição.

Heisenberg: Absolvição? Não!

Margreth: É o que dizem os teus colegas alemães.

Heisenberg: A absolvição é a última coisa que eu quero.

Margreth: Você disse a um historiador que haviam se expressado perfeitamente.

Heisenberg: Sim? Absolvição... É por isso que eu vim? É como tentar acordar-me de todas as diferentes explicações que disse e de tudo o que eu fiz... Mas agora a palavra absolvição aparece entre elas...

Margreth: Eu pensava que a absolvição se é concedida pelos pecados já cometidos e por seu arrependimento, não pelos pecados que querem cometer e ainda não haviam se realizado.

Heisenberg: Exatamente! Por isso eu fiquei chocado!

Bohr: Você ficou chocado?

Heisenberg: Porque me disse a absolvição! Isso é exatamente o que fizeste! Então rapidamente voltamos para a casa. Disseste algo em voz baixa sobre que todos durante uma guerra estavam obrigados a fazer o melhor possível pelo seu país. Sim?

Bohr: Deus sabe que disse! Mas agora estou aqui, muito calmo e consciente, medindo minhas palavras. Você não quer a absolvição. Entendo. Você gostaria que eu a dissesse para não fazer? Está tudo bem! Eu coloco minha mão no seu ombro. Te olho nos olhos de modo paternal e te digo: Retorna para a Alemanha, Heisenberg! Reúne seus colegas no laboratório. Suba em uma mesa e diga-lhes: "diz Niels Bohr que desde seu estudado ponto de vista, fornecer a um maníaco homicida um instrumento sofisticado de assassinato em massa é..." O que eu posso dizer? "... uma ideia interessante!" Não, nem mesmo uma ideia interessante. "... Na verdade, melhor: "uma ideia seriamente pouco interessante!" Que aconteceu? Todos

abandonam instantaneamente seus contadores Geiger, fecham tudo com chave e vão para casa?

Heisenberg: Não, obviamente não.

Bohr: Porque seriam presos.

Heisenberg: Se eles nos prendem ou não, não muda nada. Em vez disso, pioraria as coisas! Eu dirijo o programa de pesquisa nuclear do Instituto de Ciência. Mas há outro programa do exército, liderado por Kurt Diebner e ele é do partido nazista. Se eu não estou, simplesmente Diebner fará cuidar de meu cargo também. Minha única esperança é continuar eu, a executar o programa.

Bohr: Então não quer que eu te diga que sim e não quer que te diga não.

Heisenberg: Eu quero que escute atentamente o que eu vou lhe dizer agora e não saia correndo como um louco nas ruas.

Bohr: Muito bem. Aqui eu estou andando muito devagar e papalmente. E eu escuto atentamente enquanto você me diz que...

Heisenberg: Que as armas nucleares exigem um enorme esforço técnico.

Bohr: Certo.

Heisenberg: Isso vai exigir enormes recursos!

Bohr: Enormes recursos! Certo.

Heisenberg: Que, antes ou depois, os governos terão de perguntar aos cientistas se vale a pena comprometer esses recursos; se existe esperança de produzir estas armas a tempo para que eles usem.

Bohr: Claro, mas...

Heisenberg: Espera! Eles virão para você e para mim! Nós somos os únicos que vão aconselhar se vale a pena ir em frente ou não. Afinal de contas a decisão estará em nossas mãos, a gente goste ou não.

Bohr: E é isso que você quer me dizer?

Heisenberg: É isso o que eu quero dizer.

Bohr: É por isso que você demorou tanto para chegar até aqui? É por isso que jogou fora quase vinte anos de amizade? Simplesmente para dizer-me isso?

Heisenberg: Só para te dizer isso.

Bohr: Mas Heisenberg, isso é ainda mais misterioso! Para que me contas? O que você quer que eu faça? O governo de ocupação da Dinamarca vai vir me perguntar se deveríamos produzir armas nucleares!

Heisenberg: Não, mas mais cedo ou mais tarde, se eu puder permanecer no comando do programa, o governo alemão vai me perguntar para mim... perguntarão a mim se continuamos ou não. E eu terei que decidir o que dizer a eles!

Bohr: Então você tem uma saída mais fácil para o seu problema! Simplesmente diga a verdade que você acabou de me dizer! Que é muito difícil! E talvez desanimem! Talvez percam o interesse.

Heisenberg: Mas Bohr, aonde levará isso? Quais serão as consequências se fazer fracassar o programa alemão?

Bohr: O que posso te dizer que não possa dizer você mesmo?

Heisenberg: Eu li em um jornal de Estocolmo que os americanos estão trabalhando em uma bomba atômica.

Bohr: Ah, era isso! Era isso! Agora entendo tudo. Você acredita que eu estou em contato com os americanos?

Heisenberg: Pode ser. É possível! Se há alguém na Europa ocupada, que está em contato com eles, tem que ser você.

Bohr: Então, você só quer saber sobre o programa nuclear dos aliados...

Heisenberg: Simplesmente quero saber se existe um. Uma pista! Um indício! Acabo de trair o meu país e arriscar minha vida para alertar sobre a existência de um programa alemão.

Bohr: E agora eu que tenho que devolver o favor?

Heisenberg: Bohr, eu tenho que saber! Eu sou o único que tem que decidir! Se os aliados estão fabricando uma bomba, o que estou fazendo para o meu país? Seria fácil se equivocar e pensar que, porque o país de um é culpado, um o ama menos. Nasci na Alemanha! É onde eu me tornei quem eu sou. A Alemanha é todos os

rostos de minha infância, todas as mãos que me levantaram quando eu caí, todas as vozes que me deram incentivo e apontaram o caminho, todos os corações que falaram ao meu coração! A Alemanha é a minha mãe viúva, e meu irmão impossível. É a minha mulher! Alemanha é nossos filhos! Tenho que saber o que eu estou decidindo por eles! Mais uma derrota? Outro pesadelo como no pesadelo que fui criado? Bohr, minha infância em Munique terminou em meio à anarquia e a guerra civil. Vão passar fome mais crianças como nós passamos? Será que eles vão ter que passar as noites de inverno, como eu quando ia para a escola, rastejando atrás das linhas inimigas, no escuro, para buscar entre a neve comida para a minha família? Vão passar toda uma noite inteira, como eu fiz aos dezessete anos, com um rifle na mão, falando e falando com um prisioneiro aterrorizado que eles iam executar pela manhã?

Bohr: Mas, meu querido Heisenberg, eu não tenho nada para dizer. Eu não tenho ideia se há um programa nuclear aliado.

Heisenberg: Se está pondo em marcha contra nós, enquanto você e eu estávamos conversando nesta noite de 1941. E pode ser que estejam escolhendo algo pior do que a derrota. Porque a bomba que está sendo construída é para ser usada contra nós! A noite de Hiroshima de 06/08/1945, Oppenheimer disse que era seu único arrependimento. Que não haviam feito a bomba a tempo de ser utilizado na Alemanha!

Bohr: Se atormentou muito depois.

Heisenberg: Depois, sim. Pelo menos nós nos atormentamos antes. Talvez um deles parou para pensar por um momento que eles estavam fazendo? Fez isso Oppenheimer ou qualquer um dos seus colegas? O fez Einstein quando escreveu a Roosevelt em 1939, instigando-o a financiar pesquisas sobre a bomba? O fez você quando escapou de Copenhague dois anos mais tarde e te unistes a equipe dos aliados?

Bohr: Meu querido Heisenberg, não estávamos fornecendo bomba a Hitler!

Heisenberg: Tão pouco estavam deixando de cair sobre a cabeça de Hitler. A estavam jogando sobre os velhos na rua, sobre suas mães e seus filhos. E se tivessem feito a tempo teria sido em meus compatriotas. Minha esposa! Meus filhos! Essa era a intenção, sim?

Bohr: Essa era a intenção.

Heisenberg: Não tinham a menor ideia do que é o que acontece quando uma bomba é lançada sobre uma cidade! Nem sequer uma bomba convencional. Nenhum de vocês tinha sofrido. Nem um só. Uma noite eu fui andando do centro de Berlim aos subúrbios depois de um grande bombardeio. A cidade inteira em chamas. Até os poços nas ruas estão queimando! São poças de fósforo fundido. Ela adere aos sapatos como uma merda de cachorro fumegante. Tenho que me desviar constantemente, como se as ruas tivessem sido contaminados por uma matilha do inferno. Você teria rido, meus sapatos estavam pegando fogo o tempo todo. Em torno de mim, eu suponho há milhares de pessoas morrendo queimadas. E tudo que eu consigo pensar é: "Como é que eu vou conseguir outro par de sapatos em um momento como este?"

Bohr: Você sabe por que os cientistas aliados trabalharam na bomba.

Heisenberg: Claro! Por medo.

Bohr: O mesmo medo que consumiu você! Porque eles tinham medo de que você estava trabalhando nela.

Heisenberg: Mas, Bohr, você poderia ter dito a eles!

Bohr: Dizer-lhes o quê?

Heisenberg: O que eu te disse em 1941! Que essa escolha estava em nossas mãos! Nas minhas e na de Oppenheimer! Que se eu posso dizer às autoridades alemãs a verdade assustadora, quando me perguntarem, ele também pode!

Bohr: É isto que você quer de mim? Não que te conte o que os americanos estão fazendo, mas que os detenha?

Heisenberg: Que você diga para pararmos juntos.

Bohr: Eu não tinha comunicação com os americanos.

Heisenberg: Mas, com os britânicos sim.

Bohr: Só mais tarde!

Heisenberg: A Gestapo interceptou a mensagem que mandastes a eles sobre nosso encontro!

Margreth: E a colocaram em suas mãos?

Heisenberg: E por que não? Eles haviam começado a confiar em mim. É o que me deu a deus a capacidade de manter a situação sob controle.

Bohr: Não é por criticar, Heisenberg, mas se este é o plano porque veio a Copenhague é... como direi? Muito... interessante.

Heisenberg: Não é um plano. É uma esperança! Nem sequer isso. Um fio microscópico de possibilidade. Totalmente improvável. Mas vale a pena tentar, Bohr! Vale a pena tentar! Mas você já está muito zangado para entender o que eu digo.

Margreth: Não. Está com raiva porque está começando a entender! Os alemães se desfizeram da maioria de seus melhores físicos porque eram judeus. Os Estados Unidos e a Grã-Bretanha deram-lhes asilo. E isso é para os aliados uma esperança de salvação. E vocês vem uivando a Niels, implorando para convencê-los a parar. Mas como se atreve! Como se atreve!

Bohr: Margreth, meu amor, tente se expressar um pouco mais civilizadamente.

Heisenberg: Civilizadamente! Isso que teríamos que ter feito, discutir civilizadamente! Quando eu ouvi sobre Hiroshima a primeira vez, me recusei a acreditar. Desde os últimos meses da guerra, estávamos vivendo em uma mansão no meio de um campo Inglês. Sequestraram-nos os britânicos, a toda a equipe alemã que trabalhavam na pesquisa atômica. Na Alemanha, as nossas famílias estão morrendo de fome, sem saber nada sobre nós. E lá estamos nós, sentados à mesa cada noite para assistir a um excelente jantar formal, com o nosso encantador anfitrião, o oficial britânico encarregado de nós. Mas a guerra acabou e nós continuamos lá e tudo é deliciosamente civilizado. Eu toco sonatas de piano de Beethoven! O major Rittner nos lê sobre Dickens. Realmente me tem passado estas

coisas... Esperamos que nos revele qual é o sentido de tudo isso. E uma noite se passa. O ouvimos pelo rádio: vocês acabam de cometer o final pelo qual temíamos! Pelo que nós estávamos lá. Nos trancaram para que não falássemos sobre o tema até que fosse tarde demais. Quando o Major Rittner nos disse, eu me recusei a acreditar até que ouvi com meus próprios ouvidos sobre a notícia. Não tínhamos ideia de quão avançado que estavam. Ficamos acordados naquela noite, conversando, tentando entender. Estávamos todos, literalmente atordoados.

Margreth: Por que o fizeram eles? Ou por que não havia feito vocês?

Heisenberg: As duas coisas. As duas! Otto Hahn queria se matar, porque ele descobriu a fissão, e vê sangue em suas mãos! Gerlach, nosso antigo coordenador nazista também quer morrer, porque suas mãos estão tão vergonhosamente limpas! Mas vocês a fizeram! Construíram a bomba.

Bohr: Sim.

Heisenberg: E a usaram em um alvo humano!

Bohr: Em um alvo humano.

Margreth: Não está sugerindo que Niels fez algo errado por ter trabalhado em Los Alamos?

Heisenberg: Claro que não. Bohr nunca fez nada de mal em sua vida.

Margreth: A decisão havia sido tomada muito antes de Niels chegar. A bomba iam construir, estando ele ou não.

Bohr: De qualquer forma a minha contribuição foi muito pequena.

Heisenberg: Oppenheimer disse que você era o padre confessor da equipe.

Bohr: Parece ser meu papel na vida.

Heisenberg: Disse que a sua foi uma contribuição importante!

Bohr: Espiritualmente talvez, não na prática.

Heisenberg: Fermi disse que foi você quem decidiu detonar a bomba de Nagasaki.

Bohr: Propus uma ideia.

Margreth: Não quer insinuar que há algo que Niels deva explicar ou defender?

Heisenberg: Nunca ninguém lhe pediu que explicasse ou defendesse algo. Ele é um homem profundamente bom!

Bohr: Não se trata de minha bondade! Me pouparam de ter que tomar a decisão!

Heisenberg: Sim, e a mim não. Com o qual eu passei os últimos 30 anos da minha vida dando explicações e me defendendo. Quando fui para os Estados Unidos em 1949, muitos físicos nem sequer queriam me dar a mão. As mesmas mãos que haviam construída a bomba não queriam tocar a minha.

Margreth: Se achas que está clareando a história agora, você está errado!

Bohr: Margreth, eu entendo seus sentimentos...

Margreth: Não! Agora quem está irritada sou eu! É muito fácil para ele te fazer sentir culpado! Que fez ele, depois de consultá-lo? Voltar a Berlim e dizer aos nazistas que ele pode produzir bombas atômicas!

Heisenberg: Sim! Mas enfatizo a dificuldade de separar 235!

Margreth: Lhes diz do plutônio.

Heisenberg: Se o conto é para alguns soldados de baixo escalão. Eu tenho que manter viva a esperança deles!

Margreth: Porque se não eles vão buscar o outro!

Heisenberg: A Diebner! Muito provavelmente!

Margreth: Sempre há um Diebner disposto a fazer cargo de nossos crimes!

Heisenberg: É possível que Diebner tenha conseguido mais progressos do que eu.

Bohr: Diebner?

Heisenberg: É possível. Só possível.

Bohr: Não tem sequer um quarto da sua capacidade!

Heisenberg: Nem um décimo! Mas tem dez vezes mais vontade. Daria uma versão muito diferente se fora ele e não eu que se reunisse com Albert Speer, ministro de armamentos de Hitler.

Margreth: A famosa reunião com Speer!

Heisenberg: Este é um momento importante. O decisivo junho de 1942. Nove meses depois da minha viagem a Copenhagen. Hitler cancelou todas as pesquisas

não produziam resultados imediatos, e Speer é o único árbitro que decide quais programas continuam. E justo agora acabamos de obter o primeiro sinal de que a nosso reator vai funcionar. Nosso primeiro incremento de nêutrons. Não muito, de 13%, mas é um começo.

Bohr: Junho de 1942? Estão um pouco mais avançado do que Fermi, em Chicago.

Heisenberg: Mas não sabíamos. Aliás, a força aérea inglesa começou seus bombardeios de alvos civis. Arrasaram metade de Lübeck e todo o centro de Rostock e Colônia. A Alemanha precisa desesperadamente de novas armas para contra-atacar! É hora de apresentar o nosso projeto!

Margreth: Não pediram fundos para continuar?

Heisenberg: Para continuar com o reator? Claro que sim! Mas eu pedi tão pouco que não levaram o programa a sério.

Margreth: Contou que o reator vai produzir plutônio?

Heisenberg: Claro que não! Não para Speer. Eu não lhe contei que o reator vai produzir plutônio.

Bohr: Uma impressionante omissão! É certo!

Heisenberg: E o que aconteceu? Nos deu apenas o suficiente para o programa sobreviver. E esse é o fim da bomba atômica alemã. É o fim!

Margreth: No entanto continuam com o reator.

Heisenberg: Continuamos com o reator! Porque agora não corremos o risco de produzir o plutônio a tempo suficiente para fabricar uma bomba. Trabalhamos como loucos. Temos de arrastar de uma ponta a outra na Alemanha, para mantê-lo longe do bombardeio e para evitar que ele caia em mãos russas. E o instalamos em uma vila no oeste.

Bohr: Em Haigerloch?

Heisenberg: Sim. Na pousada da vila tinha uma adega no sótão. Fizemos um buraco no chão para o reator e me asseguro que esse programa continua a operar sob a meu controle até o amargo fim.

Bohr: Mas Heisenberg, com respeito, com o todo respeito, você não poderia controlar do reator. O reator iria matá-lo!

Heisenberg: Nunca chegou a uma fase crítica.

Bohr: Graças a Deus. Quando os Aliados tomaram ele, descobriram que ele não tinha hastes de controle cádmio. Não estava previsto qualquer mecanismo para absorver o excesso de nêutrons, em caso de que a reação se supraqueça. Se chegasse a fase crítica, teria derretido e desaparecido no centro da Terra!

Heisenberg: Não, para nenhum lugar. Tivemos uma casca de cádmio.

Bohr: Casca de cádmio? O que pensaram em fazer com uma casca de cádmio?

Heisenberg: Tirar a água pesada. O moderador no que estava imerso o urânio.

Bohr: Meu querido Heisenberg, não para criticar, mas haviam enlouquecido!

Heisenberg: Quase chegamos! Tínhamos um crescimento de nêutrons espetacular! Chegamos a um crescimento de 670%. Só mais uma semana... Quinze dias a mais. Isso é tudo precisávamos!

Bohr: Só os salvou a chegada dos aliados!

Heisenberg: Quase chegou a etapa crítica! Um pouquinho mais e a reação em cadeia teria se sustentado indefinidamente. Só precisávamos de um pouco mais de urânio.

Bohr: E tinham tudo sob controle?

Heisenberg: Sob meu controle! Sim! Isso é o que importa! Sob meu controle!

Bohr: Você já não controlava o programa, Heisenberg, o programa controlava você!

Heisenberg: Duas semanas a mais, duas barras a mais de urânio e teriam sido os físicos alemães que conseguiriam a primeira reação em cadeia autossustentável!

Bohr: Exceto que Fermi, já tinha feito em Chicago dois anos antes.

Heisenberg: Não sabíamos.

Bohr: Não estavam cientes de nada naquela caverna. Especialistas aliados disseram que não tinham algo sequer para se proteger da radiação.

Heisenberg: Não tínhamos tempo para pensar nisso! Só podíamos pensar em fazer funcionar o reator!

Bohr: Eu deveria ter estado lá para cuidar de você. Sempre precisou de mim ao seu lado para te frear! Sua própria casca de cádmio.

Heisenberg: Se eu tivesse morrido pela radiação, o que eu teria perdido? Trinta anos de explicações. Trinta anos de culpa e hostilidade. Para mim você virou as costas. Às vezes eu penso que essas semanas em Haigerloch foram a última época feliz da minha vida. Estávamos livres das políticas de Berlim. Fora dos alcances das bombas. A guerra terminava. Não tínhamos nada no que pensar, exceto o reator.

Margreth: Olhe para ele! Ele está perdido como um menino! Estava jogando no bosque todo o dia, correndo de um lado para o outro. Teve coragem, teve medo. E agora chegou a noite e a única coisa que quer é ir para casa.

Heisenberg: Silêncio.

Bohr: Silêncio.

Margreth: Silêncio.

Heisenberg: É mais uma vez o leme travou e Cristian está caindo.

Bohr: Mais uma vez ele tenta alcançar a boia!

Margreth: Mais uma vez levanto meus olhos do meu trabalho e Niels está à porta, me olhando silenciosamente...

Bohr: Então Heisenberg. A que veio para Copenhague em 1941? Foi bom que nos contasse todos os medos que você tinha. Mas realmente não acreditava que eu ia contar se os norte-americanos estavam trabalhando em uma bomba.

Heisenberg: Não.

Bohr: Não esperava que eu os detivesse.

Heisenberg: Não.

Bohr: Ia voltar a trabalhar no reator mais além do que eu te dissesse.

Heisenberg: Sim.

Bohr: Então, por que você veio?

Heisenberg: O que vim?

Bohr: Conte-nos novamente. Outro rascunho. E esta vez nós ficaremos bem. Desta vez entenderemos.

Margreth: Até pode ser que você mesmo entenda.

Bohr: Depois de tudo, o funcionamento do átomo era difícil de explicar! Fizemos muitas tentativas! A cada tentativa ele se tornava mais obscuro. Mas ao final chegamos. Vamos, outro projeto, outro projeto!

Heisenberg: A que vim? E uma vez mais recorrerá essa noite de 1941. Esmago as pedrinhas do caminho familiar para a porta de entrada da casa dos Bohr, e toco a campainha! O que eu sinto? O medo, segurança, e a importância absurda e horrível de alguém que traz más notícias. Mas... sim... há algo mais. Aqui venho de novo. Quase posso ver seu rosto. Algo bom. Algo luminoso e esperançoso.

Bohr: Abro a porta...

Heisenberg: E lá está ele. Eu vejo seus olhos que se iluminam quando me veem!

Bohr: Sorrio com seu sorriso cauteloso de aluno.

Heisenberg: E sinto um momento de muito consolo.

Bohr: Um segundo de alegria tão doce.

Heisenberg: Como se voltasse para casa depois de uma longa viagem!

Bohr: Como se um filho perdido tivesse aparecido na porta.

Heisenberg: Repentinamente me livro de todos os medos, de toda obscuridade.

Bohr: Cristian está vivo! Harald ainda não nasceu.

Heisenberg: O mundo está em paz de novo.

Margreth: Olhem para eles! Todavia, pai e filho! Por um momento. Mesmo agora que estamos todos mortos.

Bohr: Por um segundo voltamos para os anos vinte!

Heisenberg: E nos falaremos e nos entenderemos como então!

Margreth: E dessas duas cabeças surgirá o futuro. Quais cidades serão destruídas e quais sobreviverão. Quem morrerá e quem viverá. Qual mundo desaparecerá e qual triunfará.

Bohr: Meu querido Heisenberg!

HEISENBERG: Meu querido Bohr!

BOHR: Acontece, acontece...

<FIM DO PRIMEIRO ATO>

<INÍCIO DO SEGUNDO ATO>

Heisenberg: A primeira vez que vim a Copenhague foi bem ao começo da primavera de 1924. Março!

Bohr: Você tinha vinte e dois. Então eu deveria ter...

Heisenberg: Trinta e oito.

Bohr: Quase a mesma idade que você tinha quando você veio em 1941.

Heisenberg: O que fizemos?

Bohr: Nós colocamos as botas e a mochila.

Heisenberg: Nós tomamos a trilha até o final da conversa...

Bohr: E caminhamos!

Heisenberg: Sentido norte, a Elsinore.

Bohr: Se um caminha, fala.

Heisenberg: Caminhamos e falamos por quase 200 quilômetros.

Bohr: E depois não paramos de falar durante três anos.

Heisenberg: Compartilhamos uma garrafa de vinho no seu departamento do Instituto.

Bohr: Mas nós temos que seguir os fios até o início do labirinto. A você não importava? Espero que não.

Margreth: Que?

Bohr: Que te deixássemos em casa.

Margreth: Enquanto vocês estavam caminhando? Claro que não. Por ia me importaria? Você tinha que sair de casa. Dois filhos novos ao mesmo tempo era muito para qualquer homem tolerar.

Bohr: Dois novos filhos?

Margreth: Heisenberg.

Bohr: Sim, sim.

Margreth: E o nosso próprio filho.

Bohr: Aage?

Margreth: Ernesto!

Bohr: 1924, é claro, Ernesto.

Margreth: O quinto. Sim?

Bohr: Sim. Era março, tem razão. Não tinha mais de...

Margreth: Uma semana.

Bohr: Uma semana? Uma semana, sim. E de verdade não se importava?

Margreth: Que nada. Me contentava que você tivesse uma desculpa para sair. Você sempre saía para um passeio com seus novos assistentes.

Heisenberg: Ah, aqueles anos! Esses anos assombrosos! Esses três curtos anos!

Bohr: De 1924 a 1927.

Heisenberg: Desde que cheguei a Copenhague para trabalhar com vocês...

Bohr: Até que partisse, para se encarregar da sua cátedra em Leipzig.

Heisenberg: Três anos de uma primavera áspera, revigorante típica do norte da Europa.

Bohr: Ao final da qual tínhamos a mecânica quântica, tínhamos o princípio da incerteza...

Heisenberg: Tínhamos a teoria da complementaridade.

Bohr: Tínhamos a totalidade das interpretações do grupo de Copenhague.

Heisenberg: Novamente Europa em toda a sua glória. Um novo renascimento, com a Alemanha outra vez em seu devido lugar, no centro de tudo. E quem abriu o caminho para todos os demais?

Margreth: Vocês dois.

Heisenberg: O fizemos sim.

Bohr: O fizemos.

Margreth: E para isso que tentou voltar em 1941?

Heisenberg: Para algo que fizemos naqueles três anos... Algo que dissemos, algo que pensamos... algo referido a forma em que trabalhamos.

Bohr: Juntos.

Heisenberg: Juntos. Sim, juntos.

Margreth: Não.

Bohr: Não? O que quer dizer, não?

Margreth: Juntos não. Não fizeram nenhuma dessas coisas juntos.

Bohr: Sim, as fizemos. Claro que fizemos.

Margreth: Cada um fez seu trabalho quando estiveram separados. Primeiro terminastes de resolver a mecânica quântica em Heligoland.

Heisenberg: Bom, havia chegado o verão e eu tive a minha alergia.

Margreth: Não. Você foi sozinho a esta ilha dizendo que lá não havia nada que te distraísse.

Heisenberg: Sim. Minha cabeça começou a clarear, e eu tive uma imagem muito clara de como deveria ser física atômica. De repente, me dei conta que tínhamos de limita-la as medições que poderíamos fazer, ao que poderíamos observar. Não podemos ver os elétrons dentro do átomo...

Margreth: Como tão pouco Niels pode ver os pensamentos na sua cabeça ou você os pensamentos na de Niels.

Heisenberg: Tudo o que podemos ver são os efeitos que produzem os elétrons na luz que eles refletem...

Bohr: Mas as dificuldades que você estava tentando resolver eram aquelas que havíamos explorado juntos, comendo no departamento do Instituto ou na casa de praia.

Heisenberg: Claro. Mas eu me lembro da noite quando as matemáticas começaram pela primeira vez a se harmonizar com o Princípio da Incerteza.

Margreth: Em Heligoland.

Heisenberg: Em Heligoland.

Margreth: Sozinho.

Heisenberg: Sim. Foi terrivelmente desgastante. Mas perto das três horas da manhã consegui resolvê-lo. Parece como se estivesse olhando através da superfície dos fenômenos atômicos e eu vejo um estranho e belo mundo interior. Um mundo de estruturas puramente matemáticas. E sim, estava feliz!

Margreth: Mais feliz do quando estava conosco no inverno seguinte.

Heisenberg: Claro! Com todos os absurdos de Schrödinger?

Bohr: Absurdos? Vamos... A formulação da mecânica ondulatória de Schrödinger?

Margreth: ... disse que era nojenta!

Heisenberg: Disse que as consequências para a física eram repulsivas. Schrödinger disse que a minha matemática era repulsiva.

Bohr: Para mim, parece-me que você usou outra palavra.

Heisenberg: Você convidou Schrödinger para vir aqui...

Bohr: Para manter um debate pacífico sobre nossas diferenças.

Heisenberg: E você caiu sobre ele como um louco. O vai buscar na estação e arremete contra ele antes que pudesse baixar suas bagagens do trem. E logo seguiu contra ele desde as primeiras horas da manhã até meia noite!

Bohr: Eu a segui? Ele a seguia

Heisenberg: Por que no queria fazer a menor concessão!

Bohr: E ele muito menos!

Heisenberg: O fez ficar doente! Teve que se meter na cama para ficar longe de você!

Bohr: Teve um resfriado leve, com um pouco de febre.

Heisenberg: Margreth o teve que cuidar!

Margreth: Dei bastante de chá e bolo para não enfraquecer.

Heisenberg: Sim, enquanto que você não o deixava em paz nem mesmo na cama! Você sentou lá e o martelava com palavras!

Bohr: Muito educadamente.

Heisenberg: Você era o Papa, o Santo Ofício e a Inquisição em uma só pessoa! E então, depois de que Schrödinger se foi, fugindo de sua casa – e isso não me vou

esquecer, Bohr, eu não vou deixar você esquecer – me pus do seu lado. E você me atacou!

Bohr: Porque a essa altura você tinha enlouquecido. Você tinha-se tornado um fanático. De nenhuma maneira queria permitir a ele um lugar na mecânica quântica e na teoria ondulatória.

Heisenberg: Me traístes!

Bohr: Disse que a mecânica ondulatória de Schrödinger e sua mecânica das matrizes eram simplesmente ferramentas alternativas.

Heisenberg: Você estava aceitando algo do que sempre me acusou: “Se funcionar, funciona”. Não importa o significado.

Bohr: É claro que me importa o significado. Teremos que explicá-lo a Margreth.

Margreth: A mim? Se não se podiam explicar entre vocês! Seguiam discutindo pela madrugada todas as noites! Os dois se irritavam tanto!

Bohr: Ficávamos exaustos.

Margreth: O experimento da câmara de nuvem terminou com essas discussões.

Bohr: Sim, porque um elétron se desprende do seu átomo e passa então, através de uma câmara de nuvem, sendo assim possível observar o trajeto deixado.

Heisenberg: E é um escândalo. Porque não deveria haver um rastro!

Margreth: De acordo com sua maneira de olhar a mecânica quântica.

Heisenberg: Não há um rastro! Não há órbitas! Nem rastros nem trajetórias! Só efeitos externos!

Margreth: Mas lá está o rastro. Eu mesmo o vi tão claro como o rastro que deixa um barco ao passar.

Bohr: Era um paradoxo fascinante.

Heisenberg: E a você te encantavam os paradoxos, esse é o seu problema. Você jubilava nas contradições.

Bohr: Sim, e você nunca pôde entender o encanto que há no paradoxo e a contradição. Esse é seu problema. Você vive e respira paradoxos e contradições,

mas não é capaz de ver a beleza delas, como o peixe não podem ver a beleza da água.

Heisenberg: Às vezes me sentia preso em uma espécie de inferno sem janelas. Você não se dá conta o quão agressivo você é. Dando voltas ao redor da sala, como se estivesse para devorar alguém – e eu posso adivinhar quem vai ser.

Bohr: Mas assim fazíamos a física.

Margreth: Não! Ao final você fez em por sua conta, sozinho! Você foi esqui na Noruega.

Bohr: Tinha que me afastar de tudo isso!

Margreth: E resolvestes a complementaridade na Noruega, por sua conta! Vocês dois funcionavam bem melhor separados!

Heisenberg: Mandá-lo para longe, foi um grande alívio, como poder escapar da minha alergia em Heligoland.

Margreth: Se eu fosse a professora não deixaria vocês sentarem juntos.

Heisenberg: E foi lá quando desenvolvi o Princípio da Incerteza. Andando sozinho no escuro. Eu começo a pensar que veria você, se pudesse focar um telescópio sobre mim, lá nas montanhas da Noruega. Iria me ver junto com as luzes dos postes da rua, e logo nada, enquanto eu desaparecia na escuridão, logo me veria enquanto passo pela luz de outro poste. E é isso o que vemos na câmara de nuvem. Não um rastro contínuo e sim uma série de visões breves – uma série de colisões entre o elétron que passa e várias de moléculas de vapor de água. Ou penso em sua viagem a Leiden em 1925. Que veria Margreth dessa viagem, estando em sua casa, aqui em Copenhague? A carta de Hamburgo, talvez. Então, uma de Leiden. Uma de Göttingen. Uma de Berlim. Porque o que vemos na câmara de nuvem nem sequer são as colisões em si mesmas, senão as gotas de água que se condensam ao redor delas. Não há rastros, não há direções precisas; só uma linha embaçada das cidades que você visitou. Não sei por que não nos ocorreu antes, estávamos muito ocupados discutindo para sequer pensar.

Bohr: Em troca parecia que você havia abandonado todo tipo de discussão. Quando voltei da Noruega me encontrei com o que você tinha feito, um rascunho do seu trabalho sobre o princípio da incerteza e que já havia mandado publicar!

Margreth: E então começa o combate.

Bohr: Meu querido Heisenberg, não é um comportamento muito franco se pôr a imprimir um primeiro rascunho antes de havê-lo discutido juntos! Essa não é a nossa maneira de trabalhar!

Heisenberg: Não! A forma que trabalhamos é que me persegue desde a primeira hora da manhã até a última hora da noite! A maneira que trabalhamos é que me deixa louco!

Bohr: Sim, porque seu relatório tem um erro fundamental.

Margreth: Aí estão em pleno combate.

Heisenberg: Eu lhe mostro a verdade estranha sobre o universo, com a que jamais havíamos deparado desde a teoria da relatividade: que nunca se pode saber tudo sobre o paradeiro de uma partícula, ou qualquer outra coisa – nem sequer de Bohr agora, enquanto dá voltas de um lado para outro da sala desse seu modo seu, tão irritante. – Eu faço em pedaços o universo objetivo que o rodeia, e tudo o que me pode dizer é que eu tenho um erro na formulação!

Bohr: E tem!

Margreth: Querem chá? Torta?

Heisenberg: Escuta-me, em meu trabalho o que estamos tentando localizar não é um elétron livre, de viagem através de uma câmara de nuvem, e sim a um elétron quando está no seu lugar, dando voltas dentro de um átomo...

Bohr: E a incerteza não surge, como você sustenta – através de seu impreciso retrocesso quando é golpeado por um fóton que avança...

Heisenberg: Linguagem simples, a linguagem simples!

Bohr: Estou falando em linguagem simples.

Heisenberg: Escuta-me...

Bohr: A linguagem da mecânica clássica.

Heisenberg: Escuta-me! Copenhague é um átomo. Margreth é o seu núcleo. Está bem a escala? Dez mil a um?

Bohr: Sim, sim.

Heisenberg: E Bohr é um elétron. Ele está vagando em algum lugar da cidade na escuridão, ninguém sabe onde. Está aqui, está lá, está em toda parte e em lugar nenhum. Eu sou um fóton. Um quantum de luz. Sou enviado dentro da escuridão para encontrar Bohr. E tenho sucesso, porque vou me chocar com ele... Mas o que aconteceu? Olha, você está desacelerando! Você desviou! Já não está fazendo exatamente o mesmo que tão irritantemente estava fazendo quando me choquei!

Bohr: Mas Heisenberg, Heisenberg! Também você se desviou! Se puder ver o que aconteceu com você e com sua partícula de luz, então pode calcular o que aconteceu comigo! O problema é saber o que aconteceu com você! Porque para entender como você se vê, nós temos que tratá-lo não apenas como uma partícula, e sim como uma onda. Tenho que usar não só a tua mecânica sobre as partículas, também tenho que usar a mecânica ondulatória de Schrödinger.

Heisenberg: Já sei, o adicionei em um anexo no meu artigo.

Bohr: Todos se lembram do seu relatório, mas ninguém se lembra de seu anexo. Mas o assunto é fundamental. Partículas são coisas, completas em si mesmas. As ondas são alterações que se produzem em outras coisas.

Heisenberg: Já sei. Complementaridade. Está nos anexos.

Bohr: Você nunca aceitou absoluta e totalmente a teoria da complementaridade, verdade?

Heisenberg: Sim! Absoluta e totalmente! A defendi na Conferência de Como de 1927! Sou um defensor fiel desde então. Você me convenceu. Eu aceitei a sua crítica humildemente.

Bohr: Não antes de dizer algumas coisas profundamente ofensivas.

Heisenberg: Em um momento literalmente me fizeste chorar!

Bohr: Eu as diagnostiquei como lágrimas de frustração e raiva.

Heisenberg: Uma birra infantil?

Bohr: Eu criei meus filhos.

Heisenberg: E o que aconteceu com Margreth? Ela também teve um acesso de raiva? Descobri que a fiz chorar depois que sai, fazendo-a digitar suas intermináveis correções de sua tese sobre a complementaridade.

Bohr: Disso não me lembro.

Margreth: Eu sim.

Heisenberg: Tivemos que arrancá-lo de sua cama para Pauli em Hamburgo para que viesse de uma vez para Copenhague para negociar a paz.

Bohr: O consegui. Nós terminamos com um tratado. A incerteza e a complementaridade se ergueram como os dois pilares centrais das interpretações da Mecânica Quântica de Copenhague.

Heisenberg: Um compromisso político, naturalmente, como a maioria dos tratados.

Bohr: Vês? Em algum lugar dentro de você ainda existem reparações secretas.

Heisenberg: Que nada, funciona. Isso é o que importa. Funciona, funciona!

Bohr: Sim, funciona. Mas mais importante que isso. Porque, se dá conta do que fizemos nesses três anos, Heisenberg? Eu não quero exagerar, mas nós demos uma reviravolta no mundo! Sim, escutem, prestem atenção, todos: voltamos a colocar o homem no centro do universo. Através da história fomos continuamente deslocados. Primeiro nos convertemos em meros acessórios dos insondáveis propósitos de Deus, pequenas figuras ajoelhadas na grande catedral da criação. E assim que nos recuperamos no Renascimento, apenas o homem se tem restabelecido como a medida de todas as coisas – como dizia Protágoras – então somos deslocados outra vez pelos produtos do nosso próprio raciocínio! Somos diminuídos novamente enquanto os físicos constroem as novas catedrais grandiosas da mecânica clássica para que nós a admiraremos. Até que chegamos ao início do século XX, e de repente nos vemos forçados a nos levantar novamente de nossa prostração.

Heisenberg: Começa com Einstein.

Bohr: Começa com Einstein. Ele mostra que a medida – ou seja, a medida da qual dependem toda a possibilidade da existência da ciência – a medida, não é um evento impessoal que ocorre com a imparcialidade do universo. É um ato humano, levado a cabo desde um ponto específico no tempo e no espaço, desde o ponto de vista particular de um possível observador. E aqui, em Copenhague, naqueles três anos em meados dos anos vinte, descobrimos que não há universo objetivo determinável com precisão. Que o universo existe só como uma série de aproximações. Só dentro dos limites determinados pela nossa relação com ele. Somente através do entendimento hospedado na cabeça humana.

Margreth: Então, este homem que você colocou no centro do universo é Bohr ou Heisenberg?

Bohr: Bem, meu amor, vamos lá.

Margreth: É que não é o mesmo.

Bohr: Qualquer um dos dois. Qualquer um de nós.

Margreth: Se Heisenberg é o que está no centro do universo, então essa partícula do universo que ele não pode ver é ele mesmo. Então não tem sentido perguntar por que veio a Copenhague em 1941, ele não sabe! Não consiste nisso a teoria complementaridade. Eu digitei muito sobre isso. Se alguém está fazendo algo no qual tem que se concentrar não pode ao mesmo tempo estar pensando em fazê-lo, e se pensa em fazê-lo então na realidade não pode estar fazendo. Agora me perdoe, mas vocês nem sequer sabem por que desenvolveram o princípio da incerteza.

Bohr: Enquanto que se sois a que está no centro do universo...

Margreth: Então posso te dizer que foi porque ele queria destruir Schrödinger.

Heisenberg: Eu queria demonstrar que ele estava equivocado, claro.

Margreth: Ele estava ganhando. Quando a cátedra de Leipzig ficou vaga, ele era um dos candidatos e não você. Então, aí você publicou o seu maravilhoso princípio.

Bohr: Não é por criticar Margreth, mas tens uma tendência a reduzir tudo ao plano pessoal.

Margreth: Porque tudo é pessoal! Você acabou de nos dar uma palestra sobre isso! Quando contas a história tudo está em ordem, tudo tem um começo, um meio e fim. Mas eu estava lá! E quando lembro como era tudo e eu olho a meu redor, o que eu vejo não é um conto! É confusão e raiva, ciúmes e lágrimas e ninguém sabe o que significam as coisas e nem que caminho elas vão continuar.

Heisenberg: De todo modo, funciona, funciona.

Margreth: Sim, funciona maravilhosamente bem. Depois três meses de ter publicado seu trabalho sobre o princípio da incerteza te ofereceram a cadeira de Leipzig.

Heisenberg: Não me referia a isso.

Margreth: Sem mencionar as outras que te ofereceram.

Heisenberg: Sim, muitas.

Bohr: E várias universidades americanas.

Heisenberg: Mas não me referia a isso.

Margreth: E que idade tinha quando você assumiu a cátedra em Leipzig?

Heisenberg: Vinte e seis.

Bohr: O professor titular mais jovem da Alemanha.

Heisenberg: Quando eu digo que funciona, me refiro a Interpretação de Copenhagen. A interpretação de Copenhagen funciona. E continua funcionando.

Margreth: Sim. E porque ao final os dois aceitaram a interpretação? Crê que de verdade que foi porque queriam reestabelecer o humanismo?

Bohr: É claro que não. Foi porque era a única maneira de explicar os experimentos.

Margreth: Ou foi porque agora que você tinha se tornado um professor necessitavas criar uma doutrina solidamente estabelecida para ensinar? Ou porque você queria que tuas novas ideias fossem publicamente respaldadas pelo Papa de Copenhagen? E talvez Niels decidiu apoiá-las em troca de que você aceitasse as doutrinas que ele tinha criado e o reconhecesse como a cabeça da igreja. E quer

saber a que veio para Copenhague em 1941, também vou te dizer. Tem razão, não é tão misterioso: você veio para ostentar.

Bohr: Margreth!

Margreth: Não! Quando chegou aqui em 1924, era um humilde assistente de uma nação humilhada, agradecido por ter trabalho. E agora retorna triunfante, o cientista mais importante da nação que tem conquistado grande parte da Europa. Ele veio para mostrar que estava se dando bem na vida.

Bohr: Você não pode continuar a dizer isso!

Margreth: Desculpe, mas não é por isso que você está aqui? Porque queima de desejo de que saibamos que ele é responsável por uma parte vital de qualquer investigação secreta. E que, no entanto, ele manteve uma elevada independência moral. A preserva tão claramente que até deve ser vigiado pela Gestapo. A preserva com tanto sucesso que agora também sofre um importante e maravilhoso dilema moral que deve enfrentar.

Bohr: Sim, bem, agora você está apenas dando corda para continuar atacando.

Margreth: Uma reação em cadeia. Um conta uma verdade dolorosa e isso leva a dois mais. E como francamente o admities, vai voltar para continuar fazendo exatamente o que eu fazia antes, diga o que disser Niels.

Heisenberg: É assim.

Margreth: Mas nem sonhando renunciarias a uma oportunidade tão magnífica para investigar.

Heisenberg: Não, se o posso evitar não.

Margreth: Também queres demonstrar aos nazistas o quão útil é a física teórica. Queres salvar a honra da ciência alemã. Queres estar lá para restabelecê-la com toda a sua glória quando terminar a guerra.

Heisenberg: De qualquer maneira não a conto Speer que o reator vai produzir plutônio.

Margreth: Não, porque temes o que aconteceria se os nazistas investissem grandes recursos e fracassasse em sua tentativa de dar-lhes a bomba. Por favor, não tente nos dizer que você é um herói da resistência.

Heisenberg: Nunca pretendi ser um herói.

Margreth: Seu talento reside em esquiár tão rápido que ninguém pode ver onde você está. Sempre em mais de uma posição de cada vez, como uma das suas partículas.

Heisenberg: Só posso dizer que funcionou. A diferença do que aconteceu com a maioria dos heróis da resistência. Funcionou! Eu sei o que pensam. Pensam que eu deveria ter me unido à conspiração contra Hitler, para me enforcarem como o resto.

Bohr: É claro que não!

Heisenberg: Não o dizem, porque tem algumas coisas que é melhor não falar. Mas o pensam.

Bohr: Não.

Heisenberg: O que teria alcançado? O que haveria conseguido se tivesse se jogado para salvar Cristian e tivesse se afogado também? Mas também não posso dizer.

Bohr: Só pensar.

Heisenberg: Sim. Desculpe.

Bohr: E voltar a pensar e pensar. Todos os dias.

Heisenberg: E tive que te segurar para que não te puxasse, eu sei.

Margreth: Enquanto que você se segurava a ti mesmo.

Heisenberg: Enfim, é melhor ficar no barco. É melhor manter-se vivo e jogar a boia. Sem nenhuma dúvida!

Bohr: Talvez sim. Talvez não.

Heisenberg: É melhor. É melhor.

Margreth: Realmente é incrível. Os dois racionaram o caminho para o pequeno mundo do átomo com uma precisão e delicadeza espantosa. Agora resulta que tudo

depende destes objetos imensos que carregamos sobre os ombros. E o que está acontecendo aí é...

Heisenberg: Elsinore. A escuridão dentro da alma humana.

Margreth: Elsinore, sim.

Heisenberg: Sim, talvez tenha razão Margreth. Tinha medo das consequências. Eu estava consciente que estava do lado dos vencedores ... Tantas explicações para tudo o que eu fiz! Não contei a Speer simplesmente porque não me ocorreu. E vim para Copenhague porque sim, apenas por que me ocorreu. Um milhão de coisas que poderíamos fazer ou não todos os dias. Um milhão de decisões que são tomadas sozinhas. Por que não me matou?

Bohr: Por que não te o que...?

Heisenberg: Me matar. Assassinar-me. Aquela noite de 1941. Lá estamos, caminhando, voltando para casa, e você acaba de chegar à conclusão de que eu vou fornecer armas nucleares a Hitler. Certamente você irá tomar os cuidados necessários para que isso não aconteça.

Bohr: Assassinando-te?

Heisenberg: Estamos no meio de uma guerra. Sou um inimigo. Não há nada de estranho ou imoral matar um inimigo. Podes fazê-lo sem barulho, sem sangue, sem sofrimento. Tão limpamente quanto a um piloto que aperta um botão a três mil pés, deixando cair uma bomba sobre a terra. Simplesmente esperas que eu tenha ido embora. Sentas calmamente em sua cadeira favorita e repete em voz alta para Margreth, frente ao nosso público invisível, o que acabo de contar-te, e eu vou estar morto em muito pouco tempo.

Bohr: Meu querido Heisenberg, a ideia é certamente...

Heisenberg: Muito interessante. Tão interessante que nem sequer te ocorreu. Uma vez mais, a complementaridade. Eu sou teu inimigo; também sou seu amigo. Sou um perigo para a humanidade; também sou seu convidado. Sou uma partícula; Também sou uma onda. Temos um conjunto de obrigações para com o mundo em geral, e outro conjunto de obrigações irreconciliáveis para os nossos compatriotas,

com nossos vizinhos, nossos amigos, família, filhos. Tudo o que podemos fazer é agir e logo olhar para trás e ver o que aconteceu.

Margreth: Vou te contar outro motivo pelo que fizestes o princípio da incerteza; tens uma afinidade natural com ela.

Heisenberg: Então, deve ter sido gratificante para vocês me ver voltar derrotado em 1947. Rastejando pelo chão novamente. Com minha nação em ruínas outra vez.

Margreth: Na verdade não. Você está mostrando que no pessoal, tem saído vitorioso mais uma vez.

Heisenberg: Mendigando pacotes de comida?

Margreth: Não. Quando ficou em Göttingen sob proteção britânica, a cargo da ciência alemã do pós-guerra.

Heisenberg: No primeiro ano em Göttingen, eu dormia sobre a palha.

Margreth: Isabel me contou que depois tiveram uma casa encantadora.

Heisenberg: Os britânicos me deram.

Margreth: Seus novos pais adotivos. Que haviam confiscado de outros.

Bohr: Chega meu amor, basta.

Margreth: Não, eu engoli o meu pensamento todos esses anos. Mas é enlouquecedor que este nosso filho, tão inteligente, está constantemente implorando que lhe digamos quais são os limites de sua liberdade, para depois ir e transgredi-los! Rastejando pelo chão? O que está rastejando é meu querido e bom marido! Literalmente. Rastejando pela praia na escuridão, em 1943, fugindo de sua pátria como um ladrão na noite, para que não o assassinem. A proteção da embaixada alemã que você tanto se gaba não ia durar muito. Nos incorporaram aos inimigos do Reich.

Heisenberg: Eu os adverti em 1941. Não me escutaram. Pelo menos Bohr fugiu para a Suécia.

Margreth: Sim? E onde você está nesse meio tempo? Enfiado em uma cova como um selvagem, tratando de conjurar um espírito maligno. Ao final, tudo isso se

reduziu a primavera luminosa dos anos 20, foi isso que produziu: uma máquina mais eficiente para matar pessoas.

Bohr: Quebra meu coração cada vez que eu penso sobre isso.

Heisenberg: Quebra o coração de todos.

Margreth: E esta máquina maravilhosa ainda pode chegar a matar a cada homem, cada mulher e cada criança no planeta. E se nós somos realmente centro do universo, se nós somos realmente os únicos que mantêm a sua existência, que vai acontecer?

Bohr: A escuridão. Uma escuridão total e final.

Margreth: Até as perguntas que nos assombram ao final serão extintas. Até os fantasmas morrerão.

Heisenberg: Tudo o que posso dizer é que eu não fiz. Eu não fabriquei a bomba.

Margreth: Não, e por quê? Então, eu também vou dizer. É a razão mais simples de todas. Por que não podia. Não entendias nada de física.

Heisenberg: Isso disse Goudsmit.

Margreth: E Goudsmit sabia o que dizia. Ele era um membro do teu círculo mágico.

Heisenberg: Sim, mas ele não tinha ideia do que eu compreendia ou não a respeito da bomba.

Margreth: Te procurou por toda a Europa para a inteligência dos aliados. Ele te interrogou quando foi capturado.

Heisenberg: Me culpava, é claro. Seus pais morreram em Auschwitz. Pensava que eu deveria ter feito algo para salvá-los. Não sei o que.

Margreth: Ele disse que não entendia a diferença crucial entre um reator e uma bomba.

Heisenberg: Eu a entendia muito bem. Simplesmente não contei aos outros.

Margreth: Ah.

Heisenberg: Mas compreendia.

Margreth: Secretamente.

Heisenberg: Pode verificá-lo se você não acredita em mim.

Margreth: Há evidência?

Heisenberg: Tudo foi gravado com muito cuidado.

Margreth: Há testemunhas?

Heisenberg: Testemunhas impecáveis.

Margreth: O que escreveram?

Heisenberg: Que o gravaram e transcreveram.

Margreth: Apesar de não ter contado a ninguém?

Heisenberg: Eu disse apenas para uma pessoa. Disse a Otto Hahn. Essa noite terrível em Farm Hall, quando nos deixaram sozinhos depois que ouvimos as notícias. Dei uma explicação razoável de como havia funcionado a bomba.

Margreth: Após o fato?

Heisenberg: Após o fato. Sim. Quando não importa. Falei de todas as coisas que Goudsmit disse que eu não entendia.

Bohr: A massa crítica. Isso foi o mais importante. A quantidade de material que se necessitava para estabelecer uma reação em cadeia. Disse a ele qual era a massa crítica?

Heisenberg: Dei-lhe um número, sim. Averigua-lo se não acredita em mim! Tinham microfones por todas as partes... estavam gravando tudo o que dizíamos. Tudo o que eu contei a Hahn nessa madrugada.

Bohr: Mas a massa crítica. Você deu um valor. Quanto era?

Heisenberg: Me esqueci.

Bohr: Heisenberg...

Heisenberg: Está nas gravações. Pode escutá-la.

Bohr: O valor para a bomba de Hiroshima...

Heisenberg: Era de cinquenta quilos.

Bohr: Esse foi o valor que você deu Hahn? Cinquenta quilos?

Heisenberg: Lhe disse cerca de uma tonelada.

Bohr: Uma tonelada? Mil quilos? Heisenberg, acho que finalmente estou começando a entender algo.

Heisenberg: A única coisa que estava errada.

Bohr: Estavas excedendo vinte vezes.

Heisenberg: A única coisa.

Bohr: Mas Heisenberg, suas matemáticas, suas matemáticas! Como ela poderia estar tão longe?

Heisenberg: Não estavam. Enquanto calculei a difusão obtive o resultado correto.

Bohr: Apenas a calculaste?

Heisenberg: Uma semana depois, dei-lhes uma palestra sobre isso. Está gravado! Só buscar!

Bohr: Queres dizer... que você não tinha calculado antes? Não resolvestes a equação da difusão?

Heisenberg: Não havia necessidade.

Bohr: Não havia necessidade?

Heisenberg: O cálculo já estava feito.

Bohr: Feito por quem?

Heisenberg: Por Perrin e Flugge em 1939.

Bohr: Por Perrin e Flugge? Mas, meu caro Heisenberg, isso foi para o urânio natural. Wheeler e eu demonstramos que o único que se fissionava era 235.

Heisenberg: Sua grande tese. A base de tudo o que fizemos.

Bohr: Então você teria que calcular o valor para o 235 puro.

Heisenberg: Obviamente

Bohr: E não o fez?

Heisenberg: Não o fiz.

Bohr: E por isso você estava tão confiante em que não iam poder fazer a bomba até que obtivesse o plutônio. Porque você passou toda a guerra acreditando que se precisava de uma tonelada de 235 e não uns poucos quilos. E para obter uma tonelada de 235 em um tempo possível...

Heisenberg: Teria precisado de algo como duzentos milhões de separadores. Era claramente inimaginável.

Bohr: Se te tivesse dado conta de que teria que produzir alguns quilos...

Heisenberg: Até para fazer um quilo teria exigido cerca de duzentos mil separadores.

Bohr: Mas duzentos milhões é uma coisa; duzentos mil é outra, e sua construção é possível imaginar.

Heisenberg: É possível.

Bohr: Os americanos sim a imaginaram.

Heisenberg: Por que Otto Frisch e Rudolf Peierls resolveram a equação de difusão. Eles deveriam ter vindo fazer seus cálculos para nós, em Berlim. Mas em vez disso, fizeram na Inglaterra.

Margreth: Porque eram judeus!

Bohr: E descobriram o rápido que ia ser a reação em cadeia.

Heisenberg: E assim o pouco material que seria que se ia necessitar. Mas também se equivocaram. Um pouco mais de meio quilo.

Bohr: Eles estavam errados, é claro. O faziam parecer cem vezes mais imaginável do que na realidade era.

Heisenberg: Em vez disso, eu fiz que parecesse vinte vezes menos imaginável.

Bohr: Então você poderia ter feito a bomba sem construir um reator. Você poderia ter feito com o 235 desde o princípio.

Heisenberg: Quase certamente que não.

Bohr: Mas, era possível.

Heisenberg: Poderia ser possível.

Bohr: E esse problema o tinha resolvido muito antes de chegar a Copenhague. Simplesmente por não tentar provar a equação de difusão.

Heisenberg: Que falha mais insignificante.

Bohr: Mas as consequências foram enormes.

Heisenberg: Tão grandes como para salvar a cidade. Qual cidade? Qualquer uma das cidades que nunca jogamos nossa bomba.

Bohr: Londres, suponho, se a tivessem tido a tempo. Mas, se os norte-americanos já tinham entrado na guerra, e os Aliados tinham começado a libertar a Europa, então...

Heisenberg: Quem sabe? Paris também. Amsterdam. Talvez, Copenhagen.

Bohr: Então Heisenberg, conte-nos algo muito simples: por que não o fez os cálculos?

Heisenberg: Não sei! Não sei por que eu não fiz isso! Porque não me ocorreu! Porque não o pensei! Porque supus que não valia a pena fazer!

Bohr: Supôs? Você nunca supunha as coisas! Assim foi como você chegou ao princípio da incerteza, porque rejeitava nossas suposições! Você calculava Heisenberg! Calculava tudo! A primeira coisa que você fazia com um problema era usar as matemáticas!

Heisenberg: Deveria ter estado lá para me parar.

Bohr: Sim, eu não teria deixado passar despercebido se eu estivesse lá te orientando.

Heisenberg: Apesar de que você fez exatamente a mesma suposição! Você pensou que não havia perigo exatamente pelas mesmas razões que eu! Por que não fizeste o cálculo?

Bohr: Por que não fiz o cálculo?

Heisenberg: Diga-nos porque não o calculastes e saberemos o porquê eu não o fiz!

Bohr: É óbvio por que eu não fiz!

Heisenberg: Vejamos... Continue.

Margreth: Porque ele não estava tentando fabricar uma bomba!

Heisenberg: Muito obrigado. Porque ele não tentava fabricar uma bomba. Imagino que acontecia o mesmo comigo. Porque eu não estava tentando construir uma bomba. Muito obrigado.

Bohr: Então você enganou a si mesmo, como aconteceu comigo no poker com o royal flush que eu nunca tive. Mas, nesse caso...

Heisenberg: Por que vim a Copenhague? Sim, por que vim...?

Bohr: Analisemos um rascunho a mais, certo? Um rascunho final!

Heisenberg: E mais uma vez esmago as pedrinhas do caminho familiar para a porta de entrada da casa dos Bohr e toco a tão familiar campainha. Por que vim? Eu sei perfeitamente bem. Eu sei tão bem que eu não tenho a necessidade me perguntar sobre isso. Até que mais uma vez a pesada porta se abre.

Bohr: Ele está parado no limiar da porta piscando na súbita inundação de luz que vem do interior da casa.

Heisenberg: E, de repente, as razões que estavam claras dentro da minha cabeça perdem definição. A luz cai sobre eles e se dispersam.

Bohr: Meu querido Heisenberg!

Heisenberg: Meu querido Bohr!

Bohr: Acontece, acontece...

Heisenberg: Que difícil é ver ainda aquilo que está frente aos nossos olhos. Tudo o que temos é o presente, e o presente se dissolve constantemente no passado. Bohr desaparece quando eu viro para olhar Margreth.

Margreth: Niels tem razão. Você parece mais velho.

Bohr: Entendo que você teve um problema pessoal.

Heisenberg: Margreth passou a história enquanto me viro para Bohr. E, no entanto, quanto mais difícil é enxergar o que está por trás dos nossos olhos. Aqui estou, no centro do universo, e, no entanto, a única coisa que posso ver são os dois sorrisos que não me pertencem.

Margreth: Como está Isabel? Como estão as crianças?

Heisenberg: Muito bem. Mandam lembranças... Posso sentir um terceiro sorriso na sala, muito perto de mim. Poderia ser que, de repente, vejo por um momento aquele espelho?

Margreth: Observo ambos os sorrisos na sala, um desconfortável e que tenta se animar, o outro que está se transformando de cálido para meramente educado. Eu sei também que há um terceiro sorriso no quarto, inalterado, amável – espero – e cauteloso.

Heisenberg: Você conseguiu praticar um pouco de esqui?

Bohr: Eu olho de canto de olho para a Margreth, e por um momento vejo o que ela pode ver e eu não – a mim mesmo, e o sorriso que vai desaparecendo de meu rosto enquanto o pobre Heisenberg segue cometendo erros.

Heisenberg: Eu olho para os dois que olham para mim, e por um segundo eu vejo a terceira pessoa na sala tão claramente como eu os vejo. Seu hóspede indesejável, tropeçando de uma grosseria a outra.

Bohr: Eu o vejo olhando para mim, ansioso, implorando, tentando voltar aos velhos tempos, e eu vejo que ele vê que falta alguém na sala. Me vê. Vê Margreth. Não se vê a si mesmo.

Heisenberg: Duas bilhões de pessoas no mundo, e o que tem que decidir seu destino é o único que sempre se esconde de mim.

Bohr: Você sugere uma caminhada.

Heisenberg: Te lembra de Elsinore? A escuridão no interior da alma humana...?

Bohr: E saímos. Lá fora sob as árvores outonais. Pelas ruas obscurecidas pelos possíveis bombardeios.

Heisenberg: Agora não há ninguém mais no mundo, exceto Bohr e esse outro ser invisível. Quem é esta presença que me rodeia na escuridão?

Margreth: A partícula que voa vagando pela escuridão, e ninguém sabe aonde vai. Está aqui, está lá, está em todo lugar e em nenhuma parte.

Bohr: Com aparente indiferença ele começa a fazer a pergunta que esteve preparando.

Heisenberg: Tenho o direito, como um físico moralmente correto, para trabalhar na exploração prática da energia atômica?

Margreth: O grande impacto.

Bohr: Eu me detenho. Ele se detém...

Margreth: Assim é como trabalham.

Heisenberg: Ele me olha, horrorizado.

Margreth: Agora, finalmente, sabe onde está e o que está fazendo.

Heisenberg: Ele se vira.

Margreth: E apenas começa o momento do impacto, já acabou.

Bohr: Já estamos voltando para casa, com pressa.

Margreth: Já estão os dois se escapando um do outro na escuridão.

Heisenberg: Nossa conversa terminou.

Bohr: Nossa grande sociedade também.

Heisenberg: Toda nossa amizade.

Margreth: E todo com respeito a ele se volta tão incerto quanto antes.

Bohr: A menos que... Sim... Um experimento hipotético... Suponhamos por um momento que não vou voando durante a noite. Vejamos o que acontece se em troca lembro a figura paternal que se supõe que interpreto. Se eu parar, controlar minha raiva e me virar para ele. E eu lhe perguntar o por quê.

Heisenberg: Por quê?

Bohr: Por que você está tão certo de que vai ser tão tranquilizadamente difícil construir uma bomba com o 235? É porque você fez o cálculo?

Heisenberg: O cálculo?

Bohr: Da difusão no 235. Não. É porque não calculou. Você não tinha dado conta conscientemente de que tinha que fazer um cálculo.

Heisenberg: E, com certeza, agora sim me dou conta. Na verdade, não seria tão difícil. Vejamos... A seção eficaz de dispersão é de cerca de 6×10^{-24} cm² e o caminho livre médio seria ... Espere...

Bohr: E de repente um mundo novo, muito diferente e muito terrível começa a tomar forma...

Margreth: Esse foi o maior e último pedido que Heisenberg te fez. O que o compreenderas quando ele não podia compreender a si mesmo. E esse foi o maior e último ato de amizade que tiveste com ele: deixá-lo no erro.

Heisenberg: Sim. Talvez eu devesse agradecerê-lo.

Bohr: Talvez devesse.

Margreth: Como seja, foi o fim da história.

Bohr: Embora talvez eu também devesse agradecer alguma coisa. Naquela noite de verão em 1943, quando eu escapei no barco pesqueiro e navios de carga chegaram da Alemanha...

Margreth: E o que isso tem a ver com Heisenberg?

Bohr: Quando os navios chegaram naquela quarta-feira havia oito mil judeus na Dinamarca que seriam presos e jogados em seus porões. No dia seguinte, na véspera do Ano Novo judaico, quando a SS começou a caçá-los, apenas assim se encontrava um judeu.

Margreth: Eles haviam sido escondidos em igrejas e hospitais, e nas casas dos vizinhos e em casas de campo.

Bohr: E como isso foi possível? Porque alguém na embaixada alemã nos tinha dado uma data.

Heisenberg: Georg Duckwitz, seu especialista de navegação.

Bohr: Um de seus homens?

Heisenberg: Um dos meus amigos.

Bohr: Foi um informante incrível. Avisou-nos no dia anterior da chegada dos cargueiros – o mesmo dia que Hitler deu a ordem – ele nos deu a hora exata em que a SS ia atuar.

Margreth: Foi a resistência que os tirou de seus esconderijos e os passou de contrabando para a Suécia.

Bohr: Que um punhado de nós conseguisse escapar dos barcos de patrulha alemães num barco de pesca já seria bastante incrível. Mas uma armada completa

conseguir passar com mais de oito mil pessoas a bordo, foi como se o mar vermelho se abrisse.

Margreth: Eu pensei que aquela noite não tivesse barcos de patrulha alemães...

Bohr: Não. De repente, toda a esquadra tinha sido declarada não apta para sair ao mar por razões de segurança.

Heisenberg: Como conseguiram, não posso imaginar.

Bohr: Então, talvez eu devesse te agradecer.

Heisenberg: Por quê?

Bohr: Por minha vida. Para todas as nossas vidas.

Heisenberg: A essa altura, não tinha nada a ver comigo. Desculpe dizer.

Bohr: Mas logo depois que eu saí, voltou para Copenhagen.

Heisenberg: Para me certificar que nossa gente não se apoderasse do Instituto na tua ausência.

Bohr: Também nunca lhe agradei por isso.

Heisenberg: Sabia que me ofereceram seu ciclotron?

Bohr: O poderia ter usado para separar um pouco do 235.

Heisenberg: Enquanto isso, você ia da Suécia para Los Alamos.

Bohr: Para jogar minha pequena parte na morte de centenas de milhares de pessoas.

Margreth: Niels, não fez nada mal!

Bohr: Não?

Heisenberg: Claro que não. Foi um homem bom, do começo ao fim, e ninguém poderá dizer o contrário. Enquanto que eu...

Bohr: Enquanto que você, meu querido Heisenberg, nunca fez isso para contribuir para a morte de uma só pessoa em sua vida.

Margreth: Bem, sim.

Heisenberg: Sim?

Margreth: Uma. Essa história que nos contou. Aquele pobre homem que vigiaste toda a noite, quando você era um menino em Munique, enquanto ele esperava ser fuzilado pela manhã.

Heisenberg: Não, quando chegaram pela manhã eu os convenci para que o deixassem ir.

Bohr: Heisenberg tenho que dizer que se a gente vai medir estritamente na finalidade de quantidades observáveis...

Heisenberg: Então nós necessitaríamos de uma nova e estranha ética quântica. Haveria um lugar para mim no céu. E outro para esse homem da SS eu encontrei a caminho de casa a partir de Haigerloch. Esse foi o fim da minha guerra. As tropas aliadas nos estavam cercando; não havia mais nada que pudéssemos fazer. Isabel e os meninos se refugiaram em uma pequena cidade na Baviera, então fui para vê-los antes que me capturassem. Tive que ir de bicicleta – a essa altura não havia trens ou outros transportes – e teria que viajar de noite e dormir sob arbustos de dia, porque de dia o céu estava cheio de aviões aliados, varrendo as ruas à procura de qualquer coisa que se movesse. Foi isso o que eu tinha escolhido para o meu país? Escombros intermináveis? Será essa fumaça perpétua no céu? Esses rostos famintos? Foi minha responsabilidade? E todas essas pessoas desesperadas pelas calçadas. Os mais desesperados de todos eram os da SS. Bando de fanáticos com nada a perder, vagueando por aí, atirando em desertores, pendurando-os nas árvores nas laterais da rua. Na segunda noite, de repente, lá estava ele, esse casaco preto horrível e familiar que surgiu da escuridão na minha frente! Em seus lábios enquanto eu parava, essa palavra terrível e familiar: "Desertor", disse ele. Ele parecia tão exausto quanto eu. Eu entrego a ordem de viagem que eu mesmo escrevi. Mas há pouca luz para ler e está cansado demais para ler. Em vez disso, ele começa a abrir seu coldre. Vai atirar, porque dá menos trabalho. E de repente eu estou pensando com grande rapidez e clareza, que é como esquiar ou naquela noite em Heligoland ou a outra do parque atrás do Instituto. Vem à mente cigarros americanos que eu tenho no meu bolso. E já está na minha mão, eu o ofereço. A

solução mais desesperada que eu já tentei. Eu espero. No pacote existem apenas duas palavras muito simples, mas com grandes letras: Lucky Strike, golpe de sorte. Fechou o coldre e pegou os cigarros... Funcionou, funcionou! Como todas as outras soluções e todos os outros problemas. Ele me deixa viver em troca de vinte cigarros. E seguiu viagem. Três dias e três noites. Através das crianças que choravam, perdidas e famintas, recrutadas para lutar, e, em seguida, abandonadas por seus comandantes. Através da fome dos trabalhadores escravos que iam a pé para casa na França, Polónia, na Estónia. Através da minha amada terra. Minha arruinada, desonrada e amada terra.

Bohr: Meu caro Heisenberg, meu querido amigo!

Margreth: Silêncio. O silêncio a que sempre voltamos.

Heisenberg: E, é claro, eu sei em que estão pensando.

Margreth: Todas aquelas crianças perdidas nas estradas.

Bohr: Heisenberg vagando pelo mundo, ele mesmo como um menino perdido.

Margreth: Nossos próprios filhos perdidos.

Heisenberg: E no barco, o leme se trava uma vez mais.

Bohr: Tão perto, tão perto! Por tão pouco! ...

Margreth: Niels para na porta, olhando para mim, então desvia seu olhar...

Heisenberg: E mais uma vez mergulha nas profundezas do mar.

Bohr: Antes que possamos agarrar a algo, nossa vida se acabou.

Heisenberg: Antes que possamos discernir quem ou o que somos, nos fomos para sempre e nos tornamos poeira.

Bohr: Instalados em toda essa poeira que nós levantamos.

Margreth: E, cedo ou tarde chegará o tempo que todos nossos filhos serão pó, e, em seguida, os filhos de nossos filhos.

Bohr: Quando as decisões, grandes ou pequenas, não se voltam a tomar nunca mais. Quando não há mais incerteza, porque não haverá mais conhecimento.

Margreth: E quando todos nossos olhos se tiverem fechados, quando até os nossos fantasmas se tenham ido... o que restará do nosso adorado mundo? De nosso arruinado, desonrado e adorado mundo?

Heisenberg: Mas enquanto isso, neste meio tempo precioso aí está. As árvores do parque. Os lugares amados. Os nossos filhos e os filhos dos nossos filhos. Preservados possivelmente, por aquele momento tão breve em Copenhague. Por algum acontecimento será encontrada ou definida em todo. Por esse último núcleo de incerteza que se encontra no coração de tudo o que existe.

<FIM DO SEGUNDO ATO>