



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO, FILOSOFIA E
HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS

ANGEVALDO MENEZES MAIA FILHO

PARA UMA HISTÓRIA DAS MULHERES NA CIÊNCIA:
A CONTRIBUIÇÃO DE CHIEN SHIUNG WU PARA A TEORIA QUÂNTICA

Salvador
2018

ANGEVALDO MENEZES MAIA FILHO

**PARA UMA HISTÓRIA DAS MULHERES NA CIÊNCIA:
A CONTRIBUIÇÃO DE CHIEN SHIUNG WU PARA A TEORIA QUÂNTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, da Universidade Federal da Bahia e da Universidade Estadual de Feira de Santana como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino, Filosofia e História das Ciências.

Orientadora: Profa. Dra. Indianara Lima Silva

Salvador
2018

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA), com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Maia Filho, Angevaldo
Para uma história das mulheres na ciência: a contribuição de Chien Shiung Wu para a teoria quântica. / Angevaldo Maia Filho.
-- Salvador, 2018.
71 f.

Orientadora: Indianara Lima Silva.
Dissertação (Mestrado - Programa de Pós Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências) -- Universidade Federal da Bahia, Instituto de Física, 2018.

1. Chien Shiung Wu. 2. Mulheres na ciência. 3. História das mulheres. 4. História da Física. 5. História da Mecânica Quântica.
I. Lima Silva, Indianara. II. Título.

ANGEVALDO MENEZES MAIA FILHO

**PARA UMA HISTÓRIA DAS MULHERES NA CIÊNCIA:
A CONTRIBUIÇÃO DE CHIEN SHIUNG WU PARA A TEORIA QUÂNTICA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em 19 de abril de 2018, Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, da Universidade Federal da Bahia e da Universidade Estadual de Feira de Santana.

19 de abril de 2018

Banca Examinadora

Professora Doutora Indianara Lima Silva

Professora Doutora Maria Margaret Lopes

Professor Doutor Olival Freire Júnior

AGRADECIMENTOS

Como não poderia deixar de ser, os agradecimentos revelam o quão importante são as pessoas que nos cercam e o quanto pode ser difícil, no meu caso, absolutamente impossível, realizar um trabalho individualmente.

Agradeço a Josenice Assunção Maia e Angevaldo Maia, pessoas que tive a sorte de ter enquanto genitores me apoiando incondicionalmente desde sempre, confiando e acreditando nas minhas escolhas, a maior e inesgotável fonte de amor que pude encontrar na vida. Às minhas irmãs, Séfora Maia e Monalisa Maia apesar de distantes sempre apoiando as minhas decisões e minha maneira de viver, às vezes apenas aceitando outras vezes também compreendendo. Saudades define.

A Adielle Almeida, à pessoa que tive a sorte de me acompanhar durante meu processo de escrita, agradeço pelo companheirismo, pela disposição em ouvir as ideias, ainda seminiais da dissertação, pelas sugestões, pelos comentários, por ser a “plateia” mais importante das minhas apresentações prévias, por me incentivar nos momentos de tensão, por fomentar e me ajudar a compreender as questões sobre o feminismo e a luta do que é ser mulher na sociedade em que vivemos.

Agradeço a Rene Azevedo por estar presente desde a infância, a qual compartilhamos sonhos, esperanças e reflexões que só agora conseguimos entender. Obrigado pelos momentos de celebração e pelas palavras sempre assertivas que me fazem acreditar. Venceremos!

Ao meu irmão Fernando Ribeiro que sempre fez questão de estar presente em todos os momentos da minha vida, o qual agradeço pelo companheirismo de sempre e pela necessidade mútua de estarmos de alguma forma sempre próximos.

A Dalila Santos, pelos anos de convivência que vivemos e pela compreensão. Agradeço por me apresentar e iniciar em questões associadas ao feminismo. Este trabalho é também fruto do que pude aprender contigo e que irei carregar por toda vida, assim como nossa amizade.

A Daniele Fil, pela amizade de longas datas e apoio de sempre e a banda FRIDHA pela compreensão das minhas ausências nos ensaios. Somo muito “Mais que antes”

Agradeço à minha orientadora Indianara (Pró Indi), a qual tenho tanta admiração e orgulho. Agradeço pela paciência e compreensão e por orientar a minha narrativa, acreditar e me confiar um trabalho tão urgente quanto importante para o contexto da Física. Que seja apenas o começo.

A professora Iole Vanin pelas contribuições que, certamente, irei levar por toda a minha trajetória acadêmica. Ao professor Olival Freire, que muito me inspirou nas questões do ensino e história da física durante a graduação e que pode contribuir fortemente com os comentários e sugestões principalmente no capítulo 2. Agradeço ainda à professora Maria Margaret Lopes pela disposição em avaliar minha dissertação e pelas valiosas sugestões para o trabalho.

Essas são as pessoas que, além de queridas, são também coautoras desse trabalho.

MAIA FILHO, Angevaldo Menezes. **Para uma história das mulheres na ciência: a contribuição de Chien Shiung Wu para a teoria quântica.** 2018. XX p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, da Universidade Federal da Bahia – UFBA. Salvador – BA, 2018.

RESUMO

Neste trabalho, discute-se o papel de um experimento de 1950, realizado pela física sino-estadunidense Chien Shiung Wu, em colaboração com seu assistente de pesquisa, Irving Shakhnov, nas discussões sobre os fundamentos da teoria quântica. A experiência realizada é comumente apontada como sendo o primeiro experimento capaz de representar o fenômeno que hoje é conhecido como entrelaçamento quântico, tornando-se a chave para o desenvolvimento de novas tecnologias, tais como, a criptografia, a teleportação e a computação quântica. Esse experimento garante a Wu um papel fundamental no que diz respeito à corroboração da mecânica quântica. A trajetória de vida e intelectual dessa cientista é também um rico episódio tanto para se discutir a questão de gênero quanto para dar visibilidade às mulheres das ciências.

Palavras-Chave: Chien Shiung Wu. Mulheres na ciência. História das mulheres. História da Física. História da Mecânica Quântica.

MAIA FILHO, Angevaldo Menezes. **Para uma história das mulheres na ciência: a contribuição de Chien Shiung Wu para a teoria quântica.** 2018. XX p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, da Universidade Federal da Bahia – UFBA. Salvador – BA, 2018.

ABSTRACT

In this paper, we discuss the role of a 1950 experiment carried out by physics Chien Shiung Wu, in collaboration with his research assistant, Irving Shakhov, in the discussions on the foundations of quantum theory. The experiment performed is commonly referred to as the first experiment capable of representing the phenomenon that is now known as quantum entanglement, becoming the key to the development of new technologies, such as cryptography, teleportation and quantum computing. This experiment guarantees Wu a fundamental role in the corroboration of quantum mechanics. The life and intellectual trajectory of this scientist is also a rich episode both to discuss the gender issue and to give visibility to the women of the sciences.

Keywords: Chien Shiung Wu. Women in science. History of women. History of Physics. History of Quantum Mechanics.

LISTA DE FIGURA

Figura1	- Wu no laboratório.....	09
----------------	--------------------------	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AIP	American Institute of Physics
APS	American Physics Society
EPR	Einstein, Podolsky e Rosen
GM	Geiger-Muller
MQ	Mecânica quântica
NBS	National Bureau of Standards

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	12
CAPÍTULO I – DANDO VISIBILIDADE ÀS MULHERES DA CIÊNCIA: A TRAJETÓRIA DE CHIEN SHIUNG WU E A SUA CONTRIBUIÇÃO À FÍSICA.....	18
INTRODUÇÃO.....	18
1 A FORMAÇÃO DE WU NA CHINA.....	20
2 A CHEGADA DE WU NOS EUA.....	23
3 A CONQUISTA DO PRIMEIRO EMPREGO.....	27
4 A PARTICIPAÇÃO NO PROJETO MANHATTAN.....	30
5 A CONSOLIDAÇÃO DE WU ENQUANTO FÍSICA EXPERIMENTAL	31
6 O EXPERIMENTO DE 50.....	35
7 O NOBEL DE 1957.....	37
8 RECONHECIMENTOS OUTROS, QUE NÃO O NOBEL.....	42
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
REFERÊNCIAS.....	45
CAPÍTULO II – O EXPERIMENTO WS DE 1950 E SUAS IMPLICAÇÕES PARA A SEGUNDA REVOLUÇÃO DA MECÂNICA QUÂNTICA.....	48
INTRODUÇÃO.....	48
1 CHIEN SHIUNG WU, UM BREVE HISTÓRICO.....	51
2 O ARGUMENTO EPR.....	53
3 O EXPERIMENTO WS.....	56
4 A RELEVÂNCIA DO EXPERIMENTO WS PARA A TEORIA DE DAVID BOHM.....	58
5 A SEGUNDA REVOLUÇÃO QUÂNTICA.....	62
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
REFERÊNCIAS.....	70

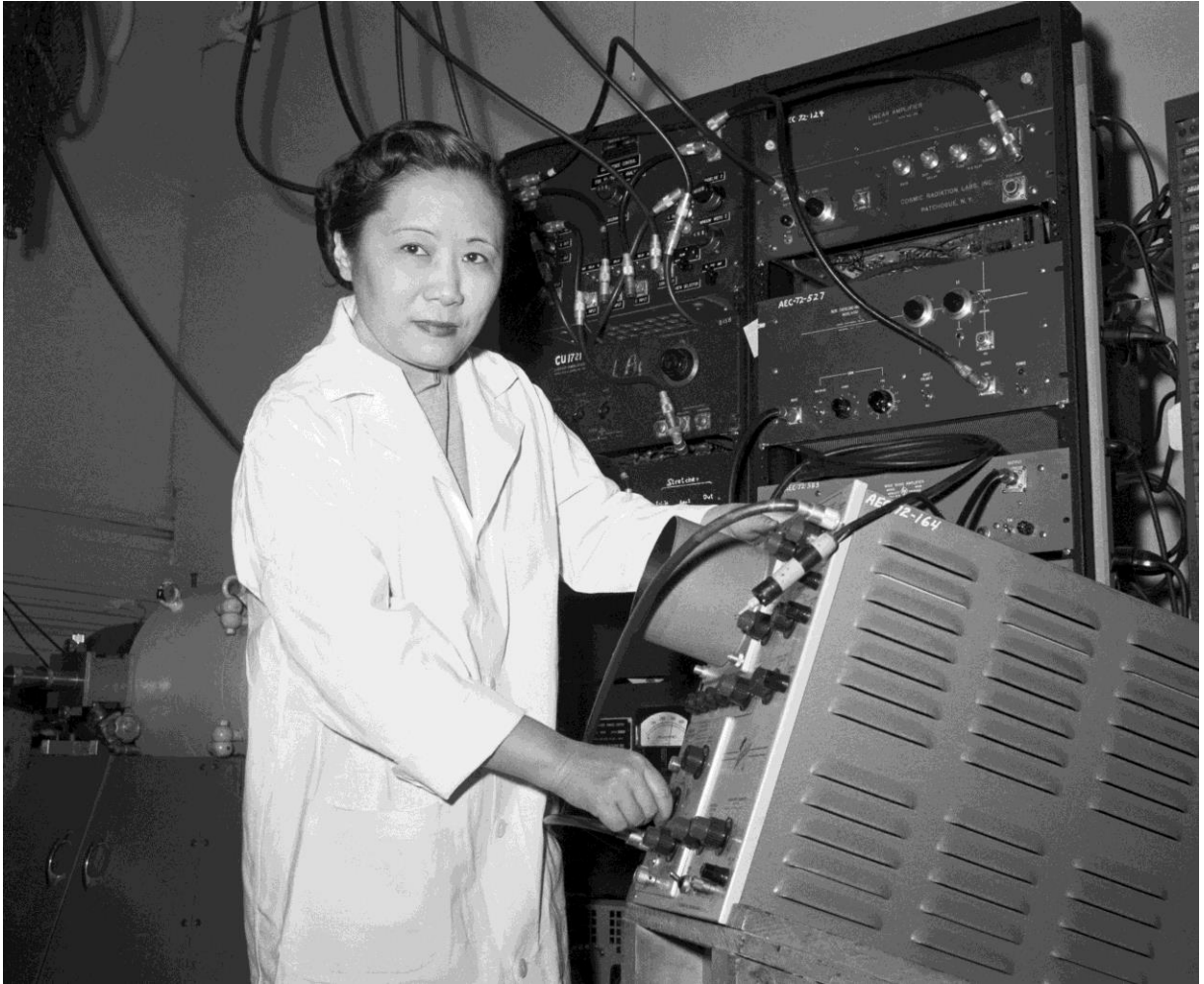


Figura 1 – Wu no laboratório

Fonte: www.history.com¹

1 Disponível em: <<http://cdn.history.com/sites/2/2014/01/BE055194.jpg>>. Acesso em 13 nov. 2017.

APRESENTAÇÃO

A motivação para a realização desse trabalho surgiu a partir dos diversos debates levantados por movimentos feministas presentes na militância política, da qual participei ativamente durante o período da minha graduação. Dentre outras reivindicações demandadas por esses movimentos, a necessidade de ocupação dos espaços pelas mulheres na sociedade, os quais são histórica e majoritariamente dominados por homens, envolve também a disputa por representatividade e reconhecimento na ciência. Sendo a Física a minha área de formação, enquanto Bacharel e licenciado, pude observar que, também neste campo, os questionamentos feministas se apresentaram absolutamente pertinentes e relevantes.

Desse modo, a partir do contexto político vivenciado na graduação, para o presente estudo, a pergunta que motivou a escrita dessa dissertação foi o porquê não percebemos mulheres na história da física e em suas subáreas, a exemplo da mecânica quântica. Na pesquisa inicial, buscamos mulheres com contribuições à física, dentre as quais encontramos a figura de Chien Shiung Wu (1912-1997) e a injustiça em relação ao prêmio Nobel de 1957, visto que, associado ao caráter sexista da premiação, a cientista não ganhou o prêmio nesse ano. Além de se tratar de uma mulher tão significativa e com contribuições extremamente relevantes para a física, observamos ainda que Wu tinha contribuições na mecânica quântica – o que contribuiu para nos dedicarmos às investigações sobre o seu trabalho.

Esse trabalho enquadra-se no campo de história das mulheres. O nascimento de uma “história das mulheres” ocorreu nos EUA e na Grã-Bretanha nos anos de 1960, em consequência de fatores científicos, sociológicos e políticos. Neste sentido, a antropologia teve um papel relevante ao tratar temas, tais como a natalidade e a nupcialidade, nos quais os estudos sobre mulheres eram a principal fonte de interesse e conhecimento. Isto contribuiu para a necessidade, mesmo que por vias indiretas, de uma história das mulheres – o que as tornou objetos de estudo. Para a autora Jardim (2012), o esquecimento das mulheres na história não está associado aos acontecimentos passados, uma vez que a mulher nunca deixou de fazer história, mas sim à escrita desses acontecimentos. Os anos de 1970 e 1980 foram palco de movimentos e lutas sociais que criticavam o caráter masculino de saberes considerados universais e, conseqüentemente, as ciências sociais e

humanas foram as mais afetadas no que concerne à necessidade de outro olhar histórico e epistemológico (PERROT, 2007).

Foi nesse contexto que emergiu o termo *gender and science*, o qual, segundo Lopes e colaboradores (2006), foi apresentado pela primeira vez em um artigo de 1978 pela pesquisadora norte-americana Evelyn Fox Keller². Como uma das consequências do movimento feminista, a questão de gênero passou a ser discutido intelectualmente na academia, buscando analisar o papel que a ideologia de gênero desempenha nas formas de organização do trabalho acadêmico, reexaminando, assim, as formas de atuação da academia nos campos da história, literatura, política, antropologia, sociologia e ciência. Essas discussões aparecem ainda no que ficou conhecido como a segunda onda feminista. Segunda onda para diferenciar o movimento anterior ocorrido nos EUA e no Reino Unido, a primeira onda, mais voltado para a luta pelo direito do sufrágio feminino (KELLER, 2006). Além de outras reivindicações, o movimento feminista, ao buscar igualdade de gênero, também refletiu sobre a prática científica, a qual sempre pareceu ser uma atividade dominada por homens.

Assim, os estudos de gênero apareceram com uma das intenções de conduzir a ciência para um caminho mais inclusivo, no qual a participação das mulheres seja tão significativa quanto a dos homens. Historicamente, o protagonismo na ciência possui um caráter masculino e excludente ao trazer julgamentos errôneos, ou não dar visibilidade à participação das mulheres nas atividades científicas. De acordo com Rago (2000), se analisarmos a ciência a partir de uma lente de gênero, percebemos que ela possui um caráter branco-heterossexual-civilizado de primeiro mundo através do qual práticas ditas masculinas possuem muito mais valor do que as femininas.

Outra forma de estudo sobre gênero e ciência é justamente analisar a forma pela qual a ciência é produzida, propondo ideias mais inclusivas e, assim, rejeitando o sexismo na ciência. Outras linhas de investigação apontam para a necessidade de apresentar referências empíricas de como, a partir de uma análise de gênero, as teorias e práticas científicas podem ser transformadas (SCHIEBINGER, 2008).

2 FOX KELLER, Evelyn. *Gender and Science*. *Psychoanalysis and Contemporary Thought* 1, 1978, pp. 409-33.

Perceber a ciência enquanto uma construção humana é também uma forma de se compreender o seu viés androcêntrico. Autoras apresentam a influência de fatores externos no fazer científico, ao trazer a reflexão de que o caráter histórico, social e político das construções científicas e, portanto, o modo de se fazer ciência possibilita o questionamento da suposta “neutralidade” da ciência (SARDENBERG, 2007). Bandeira (2008), ao destacar a contribuição das reflexões de gênero à ciência, também coloca em discussão a neutralidade da ciência sustentada em uma linguagem androcêntrica e a dimensão de universalidade que é dada ao conhecimento científico.

Neste sentido, Fox Keller (2000) traz uma ideia de que devemos caminhar no sentido de fazer uma ciência melhor, isto é, uma ciência mais abrangente, mais acessível às mulheres. Sobre a questão da universalidade, Löwy (2000, p. 27) aponta para o fato de que o conceito de universal ter servido como ferramenta de opressão “não invalida o ideal de promoção dos valores, saberes ou práticas universais”. Sugere, então, o desenvolvimento de um conceito de universal que inclua o ponto de vista dos dominados.

Voltando, agora, à história das mulheres dentro dessa grande área de gênero e ciência. Percebemos que essa história permite-nos trazer à tona, a partir de uma lente focada em uma parte da história não contada, o papel das mulheres na ciência, contribuindo, desse modo, para uma visibilidade que destoa da narrativa tradicional com personagens masculinos. No livro *Hypatia's Heritage: A history of women in Science from antiquity the nineteenth Century*, (CHRISTIE, 1990) recupera, historicamente, a presença de mulheres na ciência e aponta que, do modo como aparece, a história da ciência é predominantemente masculina. A ciência, enquanto construção humana, envolve diversos personagens, portanto, a história da ciência deveria incluir todos os personagens que contribuíram para o seu desenvolvimento. Muitas dessas pessoas são mulheres, no entanto, as suas histórias ainda permanecem desconhecidas (ALIC, 1986 apud CHRISTIE, 1990).

No sentido de contribuir com uma história das mulheres na ciência, apresentaremos uma breve história de vida, com enfoque no pensamento científico da física experimental sino-americana Chien Shiung Wu (1912-1997), no cenário da Física do século XX. Apesar de não ter sido agraciada com o prêmio Nobel, mesmo sendo indicada diversas vezes, Wu possuía o reconhecimento de seus pares e os

seus experimentos eram considerados elegantes, extremamente precisos e eficientes. Ao escrever sobre a trajetória de Wu enquanto uma mulher cientista, pioneira em avanços científicos, e detentora de vários prêmios e honrarias, não pretendemos enquadrá-la enquanto uma personagem única e excepcional ou uma figura idealizada ou de exceção, assim como sugerido por Eléni Varikas e Michèle Riot (1988) ao abordar sobre a escrita da história de grupos excluídos da produção historiográfica tradicional.

Em realidade, o nosso trabalho segue em um sentido oposto, a partir do qual pretendemos dar visibilidade às mulheres da física, chamando atenção para o fato de que há muitas outras que ainda permanecem desconhecidas e que também possuem contribuições não apresentadas, ou feitas de maneira superficial sem a merecida notoriedade, na história das ciências. Utilizaremos o caso de Wu como um dos episódios no qual a nossa personagem é a figura central, passando, assim, a ocupar um lugar na história das ciências. Desse modo, como forma de dar visibilidade às mulheres da ciência, o trabalho irá discutir as contribuições de Wu para a física e sociedade, considerando o seu tempo e espaço, bem como as questões de gênero.

A dissertação está dividida em dois capítulos-artigos. No Capítulo I, a ideia foi trazer o contexto no qual nossa personagem viveu, apresentando suas principais motivações e os fatores que a influenciaram na tomada de algumas decisões que repercutiram em sua carreira acadêmica. Ainda, justificamos a necessidade de apresentar a contribuição de Wu para a Física e dar visibilidade às mulheres na história ciência, com o objetivo de resgatar a história de personagens factualmente excluídos da história da Física. A partir das fontes disponíveis, ao longo da narrativa, realizamos alguns questionamentos, motivados por uma perspectiva de gênero, referentes às dificuldades, empecilhos e preconceitos enfrentados por Wu ao longo de sua carreira, em razão da sua condição de mulher na ciência.

O Capítulo II, por sua vez, discute a importância da realização do experimento feito por Wu e Shaknov, em 1950, para a contribuição do desenvolvimento da teoria quântica, o qual culminou na segunda revolução quântica. Este capítulo está dividido em cinco sessões, apresentando os elementos que desencadearam a evolução da teoria quântica. Também destacamos o papel do experimento de Wu na Segunda Revolução Quântica, ocorrida na segunda metade do século passado, cujos desdobramentos são perceptíveis até os dias atuais, e que implicou na consolidação

de campos de estudos específicos da mecânica quântica, a exemplo da informação quântica. De modo mais específico, o objetivo deste capítulo é apresentar a contribuição de Wu enquanto mulher na área da Física, em particular na Mecânica Quântica, uma vez que, na história da Física, a contribuição e a participação das mulheres muitas vezes é omitida, quando não ofuscada, pela predominância de cientistas masculinos.

Ao empreendermos tais discussões, utilizamos fontes primárias disponíveis em revistas especializadas que tratam do tema, além de fontes secundárias baseadas em pesquisas historiográficas e entrevistas, feitas por historiadores da ciência, com os protagonistas do desenvolvimento da segunda revolução quântica. Portanto, nos debruçamos sobre fontes primárias e secundárias, majoritariamente sobre duas biografias, em relação às quais nos aprofundamos um pouco mais na sessão seguinte, além de notas biográficas a respeito de Wu e seus trabalhos em publicações científicas e biografias coletivas. Estas últimas, voltadas para apresentar contribuições de mulheres nas mais diversas áreas da ciência.

SOBRE AS FONTES

Em relação à uma das biografias de Wu utilizadas no texto, o autor, Tsai-Chien Chiang, apresenta a dificuldade que teve em construí-la, começando em 1989, por conta da sua natureza reservada e pelo fato de Wu não ter um diário. Nesse ano, Wu estava com 77 anos e com problemas de hipertensão que afetavam a sua memória. Além de entrevistas, o autor utilizou documentos do arquivo da Universidade de Columbia e do American Institute of Physics (AIP). A escrita da biografia durou sete anos, tempo em que o autor dividiu as atividades de biógrafo com o trabalho de jornalista para o jornal *China Times*.

Sobre a dificuldade da escrita, o autor revelou uma comparação com a segunda biografia que escreveu sobre o físico teórico Dr. Yang Chen-Ning, na qual declara possuir uma memória notável, documentos bem preservados, além de responder às perguntas com clareza. O autor revela ainda que físicos teóricos são melhores do que físicos experimentais, pois os teóricos preferem as palavras. O estilo do autor, enquanto jornalista, se volta para o relatório de notícia com a ideia de que estas servem como “notas de rodapé da história” (CHIANG, 2015). Ademais, enquanto caráter peculiar do texto, destacamos que o biógrafo, mesmo tendo

consultado documentos dos arquivos da universidade de Columbia, não buscou informações no arquivo pessoal de Wu, o qual se encontra nessa localidade³.

Nesse arquivo, é possível encontrar diversos documentos que contemplam relatórios, publicações, notas de pesquisa, correspondências e discursos da nossa cientista. A maior parte da coleção está associada ao envolvimento da Wu na APS e às suas atividades de pesquisa. Também é possível encontrar cartas elogiando a Wu por suas realizações, pedidos de conselhos e discutindo questões administrativas, bem como informações sobre o seu envolvimento em programas de ações afirmativas da Columbia University na década de 1970⁴.

Quanto à biografia escrita por Richard Hammond (2009), pontuamos que esta faz parte de uma série de 19 livros, intitulada como *Makers of Modern Science*, na qual apresenta, em cada livro, a vida de importantes cientistas dos séculos XIX e XX, cujos trabalhos tiveram impactos em seus campos de pesquisa. Os títulos prezam pela popularização das contribuições científicas, minimizando o uso de jargões técnicos em busca de atingir um público jovem e adulto. Destes livros, destacamos, além da biografia sobre Wu, mais duas biografias sobre mulheres, a saber, a neurologista Italiana Rita Levi-Montalcini e a citogeneticista norte americana Barbara McClintock, ambas laureadas com o prêmio Nobel em suas respectivas áreas de atuação.

3 Nos meses finais para a entrega da dissertação, os arquivos da Wu, depositados na universidade de Columbia, foram consultados e serão utilizados enquanto fontes para a pesquisa do Doutorado já em andamento.

4 Para mais detalhes, consultar: <<https://clio.columbia.edu/catalog/4369972>>.

CAPÍTULO I

DANDO VISIBILIDADE ÀS MULHERES DA CIÊNCIA: A TRAJETÓRIA DE CHIEN SHIUNG WU E A SUA CONTRIBUIÇÃO À FÍSICA

INTRODUÇÃO

Neste capítulo, apresentaremos a trajetória da física sino-estadunidense Wu Chien Shiung a partir de sua chegada no ocidente, na década de 30, enquanto cientista e mulher. Wu foi uma física experimental que se especializou em física nuclear, com investigações associadas ao decaimento beta. Teve uma contribuição crucial em um dos maiores projetos científicos do século XX, o projeto Manhattan, conduziu experimentos que comprovou a violação de uma das teorias mais fundamentais da física, a simetria por paridade, foi a primeira pessoa a receber o prêmio Wolf de física e a primeira mulher a presidir a American Physical Society, além de ter sido homenageada por diversas universidades com o título de Honorary Doctor. A nossa análise discute a forma pela qual Wu, apesar de aparecer timidamente na história da física, contribuiu com seus experimentos para o desenvolvimento dos fundamentos da Física para além da Física Nuclear, com contribuições também na Física de Partículas, Mecânica Quântica e na Biologia. A ideia é garantir a visibilidade de figuras femininas na história da ciência, em particular, na história da física do século XX. Trata-se, portanto, de uma narrativa que busca apresentar uma história das mulheres na ciência.

Para construirmos uma história da Wu, analisamos duas biografias sobre ela, notas biográficas e livros que traziam diversas biografias de mulheres que contribuíram à ciência (MCGRAYNE, 1994; HAMMOND, 2009; CHIANG, 2014). No entanto, à medida que nos aprofundamos na análise, as limitações das fontes foram se revelando, em especial, o fato de que, nos livros com biografias coletivas, a apresentação da vida das personagens era feita de maneira bastante resumida e com pouca ênfase ao legado intelectual das mulheres cientistas. A biografia de Hammond (2009), intitulada *Chien-Shiung Wu: Pioneering Nuclear Physicist*, é um trabalho voltado mais para a divulgação científica. Há, assim, uma atenção com a sua contribuição à física para além dos acontecimentos de sua vida. No entanto, o autor deixa de analisar um dos episódios a relevância do experimento de 1950 para

a Segunda Revolução Quântica. Por sua vez, a biografia de Tsai-chien Chiang (2014), *Madame Wu Chien-Shiung The First Lady of Physics Research*, se apresenta como mais completa em termos de informações sobre a trajetória de vida de Wu. Contudo, a escrita tem um tom mais jornalístico e traz limitações em relação ao seu legado à física. Observamos, também, que a questão do experimento de 1950 não foi explorada na biografia. Ademais, outra crítica comum às duas biografias é a limitação nas discussões sobre gênero e ciência. Por exemplo, a questão do machismo na ciência, o preconceito e discriminação sofridos pela nossa personagem, as dificuldades e obstáculos para conseguir o primeiro emprego e a estabilidade enquanto cientista, não são explorados em nenhuma das biografias.

A nossa história da trajetória da Wu vai muito além das histórias narradas pelas biografias ao explorar a questão de gênero na ciência e a relevância do experimento de 1950, contribuindo, assim, para a área de história das mulheres na ciência. O Capítulo está estruturado da seguinte forma. Na seção 1, apresentamos um pouco da vida de Chien Shiung Wu na China, contemplando brevemente as etapas de sua formação, desde a escola primária até a universidade na China, passando por seus estudos da pós-graduação nos EUA, e os fatores que a motivaram a ingressar na Universidade de Berkeley. Na seção 2, discutimos as dificuldades enfrentadas por Wu para conseguir o primeiro emprego em uma época na qual universidades nem mesmo admitiam o ingresso de mulheres em seu corpo docente, bem como obstáculos enfrentados por ser uma cientista estrangeira nos EUA. Analisamos, na seção 3, a participação e contribuição da Wu ao Projeto Manhattan. Em continuidade, a seção 4 é dedicada à discussão da consolidação de Wu enquanto uma física experimental e a sua expertise nos estudos sobre o decaimento beta. Na seção 5, discutimos brevemente o papel do experimento de 1950 nos fundamentos da teoria quântica.

A seção 6 está relacionada a umas das contribuições mais significativas da carreira de Wu que trata do experimento que comprova a violação da paridade. Abordamos, também, o caso do Nobel de 1957 que aparece como mais um episódio que contribuiu para a imagem sexista do comitê de premiação do Nobel de Física. Por fim, na seção 7, apresentamos a figura de Wu enquanto uma personagem reconhecida por seus pares com diversos prêmios e homenagens, bem como a sua pauta política no que concerne à participação de mulheres na ciência. Ao final deste

capítulo, apresentamos também reflexões mais gerais a respeito da trajetória da Wu na condição de física experimental e a participação das mulheres na história da ciência.

1. A FORMAÇÃO DE WU NA CHINA⁵

No ano em que Wu nasceu, a China acabava de entrar em uma nova era política. A última dinastia chinesa acabara de ser derrubada pelo movimento revolucionário que implementou a república da China em 12 de fevereiro de 1912. O nascimento de Wu foi em 29 de maio de 1912, em um momento transitório do governo chinês e ainda conturbado. Apesar disso, a cidade natal de Wu proporcionou uma infância agradável para ela e seus dois irmãos em comparação a outras cidades e mesmo com a agitação da primeira década da república da China.

O pai de Wu (Wu Zong-Yi) foi um revolucionário e um entusiasta da cultura chinesa. Ela apresentou o seu pai como uma pessoa progressista e que teve bastante influência na sua vida. Zong-Yi lutou na revolta de Xangai em outubro de 1911, contribuindo para a fundação da República da China. Baseado em conceitos de modernidade, seu pai fundou a *Ming De Women's Vocational School*, cujo principal objetivo era reduzir o preconceito contra as mulheres por meio da educação. A mãe de Wu também era professora e incentivava os estudos para meninas.

A valorização da cultura chinesa vinda da família de Wu permaneceu durante toda a sua vida, mesmo quando ela foi morar no ocidente. A própria vestimenta de Wu apontava o quão ela ainda era ligada à cultura da sua terra natal, visto que usava o quipao, um traje tradicional da cultura chinesa usado por mulheres e visto como um forte símbolo dessa cultura. Em sua trajetória, aos 11 anos, Wu começou a frequentar o ensino médio na escola Soochow (Girl's High School) voltada para meninas, ingressando em uma turma que formava professores. Wu permaneceu lá durante o período de 1923 a 1929, graduando-se com as melhores notas, e foi indicada para a universidade Central Nacional em Nanning.

Como a escola de Soochow era prestigiada, Wu teve contato com professores chineses e estrangeiros que ministravam aulas a convite da escola. Nesse período,

⁵ Essa seção está baseada nos três primeiros capítulos da biografia de Wu, escrita pelo colunista do Jornal *China Times*, Tsai-Chien (2014).

foi convidada pela diretora da escola para a palestra intitulada “Mulher Moderna”, ministrada pelo professor de filosofia Hu-Shih, pois era reconhecido na escola o talento para escrita e a admiração de Wu pelo filósofo. Antes mesmo da visita de Hu-Shih, a estudante já havia pesquisado alguns artigos escritos por ele. A palestra a entusiasmou tanto que ela acompanhou o filósofo em outra escola no dia seguinte que, além do tópico associado à questão das mulheres, tratou ainda de reformas sociais. Um ano depois estava na faculdade, seria Wu a melhor aluna de Hu-Shih.

Ao finalizar o ensino médio, ela frequentou um curso de verão da National College China, matriculando-se em dois cursos de matemática e três cursos na área de humanidades, história e sociologia, dentre os quais o curso ofertado pelo professor Hu-Shih de história da ideologia da dinastia Qing. Ele a considerou a melhor aluna que ele já teve, e isso o deixou muito orgulhoso. Eles desenvolveram uma relação mútua de respeito, o que serviu para se tornarem bastante próximos. Em uma determinada ocasião, Hu-Shih enviou para Wu cartas da coleção Grandes nomes da física britânica sobre Rutherford, julgando que Wu poderia se interessar. Em uma entrevista, ela declarou que o pai e o professor Hu-Shih foram as pessoas que mais a influenciaram na vida.

Wu era uma ótima aluna e se destacava em literatura. No entanto, o desenvolvimento científico das ciências e cientistas famosas também lhe entusiasmava. Particularmente, declarou que a biografia de Marie Curie foi a que mais a inspirou enquanto adolescente. Sobre a relação de Marie Curie com o seu marido, Wu apresentou que:

Todos nós sabemos que Pierre era talentoso. Mas também é inegável que o talento e a persistência de Marie alcançaram sua primeira descoberta. As pessoas não entendem bem que foi sua experiência, e ela convidou Pierre para se juntar a ela. (WU, apud CHIANG, 2014, p. 179) ⁶.

Marie Curie se tornou mundialmente conhecida por conta de suas descobertas a respeito dos elementos radioativos que lhe renderam a premiação do Nobel de física em 1903 e de química em 1911. Nesse sentido, a trajetória de Curie foi inspiradora para Wu, que, antes de ingressar na universidade, se preparou e

⁶ *Physics Today*, p. 25, April 1971. The New York Physical Society sponsored the panel discussion on February.

estudou de forma independente. Seu pai a encorajava e incentivava trazendo livros de álgebra, trigonometria e geometria. Ela acreditava que o treinamento recebido em Soochow não era suficiente.

No ano em que ingressou na universidade, 1930, em Nanjing, o relacionamento entre a China e o Japão era delicado. A China sofria com diversas humilhações das nações imperialistas e os estudantes exigiam um posicionamento da universidade. A reitoria da universidade foi ocupada pelos estudantes em outubro de 1932, e Wu foi eleita uma das líderes do protesto. A reivindicação dos estudantes era que a China declarasse guerra contra o Japão.

Wu ingressou no curso de matemática, mudando para física um ano depois. O departamento de física possuía professores renomados, dentre eles Shi Shi Yuan, que havia trabalhado com Marie Curie na França. Nesse mesmo período, a física apresentava grandes desenvolvimentos. A mecânica quântica estava se desenvolvendo, pondo em cheque as conclusões da física clássica e levando a física para outro patamar.

A seriedade e a persistência de Wu diante dos estudos eram bastante perceptíveis. Além disso, era conhecida também por ser uma pessoa bastante amigável com seus colegas e tinha muitos amigos da área de humanidades e artes plásticas. Igualmente, era reconhecida por seu bom humor e sinceridade. Quando seus amigos vinham lhe pedir conselhos, fazia e dizia o que realmente achava. Assim, por suas qualidades, após a graduação com honras, a estudante foi recomendada a trabalhar na academia de pesquisa Sinica em Taipei, Taiwan, que possuía departamentos de pesquisa de física e química.

Mesmo sem saber quem foi a pessoa que a recomendou, ela aproveitou a oportunidade, uma vez que normalmente era necessário realizar exames de admissão para trabalhar lá. No laboratório, Wu tinha como supervisora a professora pesquisadora Gu Jing-Wei da área de Física. Gu obteve seu doutorado na universidade de Michigan nos EUA e havia retornado à China. Wu trabalhava com espectroscopia de gases, investigando a estrutura interna dos átomos de gases a baixa temperatura, raios x e cristalografia. Ela passava a maior parte do tempo sozinha no laboratório, uma vez que Gu tinha ainda o compromisso da docência, para além da pesquisa no laboratório.

Nesse período, o interesse de Wu pela física aumentou. Ela decidiu dar continuidade em seus estudos motivada pela sua supervisora de pesquisa, e inclusive pelo professor Hu Shi, o qual a visitou na Academia Sinica, demonstrando o seu apoio. Wu passou a se dedicar também à língua inglesa e foi aceita pela Universidade de Michigan nos EUA. A nova pesquisadora sentia as restrições em que as mulheres estavam submetidas, mas estava disposta a enfrentá-las. Alguns anos mais tarde, ela afirmou:

A sociedade e as famílias dos EUA, infelizmente, acreditam que a ciência e alguns outros campos são exclusivamente masculino. É diferente na China. Meu pai era um educador, e poderia ter estado à frente de seu tempo. Na década de 1930, a sociedade chinesa percebeu que devíamos implantar todos os recursos – talentos coletivos de homens e mulheres – se quisermos alcançar o Ocidente. O Ocidente está à frente da China em ciência e tecnologia, mas não na utilização efetiva de talentos humanos (WU, apud CHIANG, 2014 p.173)⁷.

Inspirada pela coragem e determinação do seu pai para a construção de uma nova China através de conceitos de modernidade e mantendo a valorização da cultura chinesa, Wu atravessou o pacífico a bordo do navio President Hoover.

2. A CHEGADA DE WU AOS EUA

No ano em que deixou a China, ainda enquanto república, em 1936, Chien Shiung Wu, com 24 anos, atravessou o pacífico com destino aos EUA. Naquela época, os estudos dos raios-X, da estrutura atômica, os trabalhos de Marie Curie sobre a radiação, e os modelos atômicos encaminhavam a física moderna para uma verdadeira revolução no século XX. Wu era uma grande admiradora dos trabalhos da física Marie Curie que havia recebido o prêmio Nobel em Química em 1911, um ano antes do nascimento de Wu (CHIANG, 2014). Curie já havia recebido também o Nobel de física em 1903, tornando-se a primeira mulher a receber a premiação e, posteriormente, a única pessoa a possuir duas premiações no Nobel. Ao migrar para o ocidente, o destino de Wu foi a universidade de Michigan, mais a leste do

⁷ Interview with *Herald American Boston* when Wu received an honorary degree from Harvard University, June 14, 1974.

continente norte americano, em detrimento do local em que o seu navio havia aportado, Califórnia, extremo oeste do país (CHIANG, 2014).

Inicialmente, a pretensão de Wu era permanecer apenas uma semana em São Francisco para visitar sua amiga Lin. Os dias que lá ficou foram suficientes para tomar a decisão de ficar na cidade. Durante a sua estada, Wu conheceu a cidade e visitou a universidade de Berkeley, cujo departamento de física estava se modernizando. O então diretor do laboratório de física era Ernest Lawrence, que em 1939 ganhou o prêmio Nobel de física pela sua invenção e desenvolvimento do primeiro ciclotron naquele laboratório (CHIANG, 2014).

Berkeley parecia mais atrativa para Wu e até mesmo menos hostil do que Michigan. À época, a presença de figuras femininas na maioria das universidades não era apoiada, e em outras nem mesmo era permitida em seu quadro. No *Heritage Project*, que reúne diversos documentos em formato digital de personagens que construíram a história da universidade de Michigan coordenado pela diretora de comunicação, Kim Clarke, e o historiador James Tobin, é possível encontrar documentos cujos textos aludem à implementação da modalidade de coeducação, de que alguns homens consideravam a presença de mulheres na universidade como uma “experiência perigosa”⁸.

Assim, ao saber que na universidade de Michigan havia um centro estudantil que não permitia a entrada de mulheres pelo hall principal, Wu optou por Berkeley em detrimento de Michigan (MACGRAYNE, 1994; CHIANG, 2014). Berkeley também possuía mulheres em seu quadro, desde os primeiros anos de sua fundação, em 1870. Um dos princípios da universidade recém fundada era de admitir mulheres da mesma forma que os homens (DOUGLASS, 2007).

O que inicialmente seria uma semana em São Francisco se transformou em alguns anos. Apesar do semestre letivo da universidade de Berkeley já ter começado, Wu conseguiu se matricular e frequentar as aulas. Um dos cursos em que Wu se matriculou foi o de Mecânica Quântica, oferecido por Julius Robert Oppenheimer que, além de seu professor, se tornou um amigo próximo. Mais tarde, Oppenheimer se tornou um dos diretores do projeto Manhattan. Em sua tese de

8 O relato faz parte de um projeto multimídia que se debruça sobre a história da universidade de Michigan e seus personagens. Disponível em: <https://heritage.umich.edu/stories/the-first-women/>

doutorado, teve como orientador oficial Ernest Lawrence, mas a supervisão direta do seu trabalho era realizada pelo físico italiano Emílio Gino Segrè que havia chegado aos EUA no ano de 1938 e já era um físico renomado (BENCZER-KOLLER, 2009).

Ainda em Roma, em 1920, Segrè havia trabalhado com Enrico Fermi (Nobel em 1938). Em julho de 1938, visitou Berkeley e pretendia voltar para a Itália em outubro daquele mesmo ano. Porém, ele tinha sangue judeu e a notícia de que Benito Mussolini, na Itália, poderia adotar as mesmas políticas antissemitas de Hitler, o fez permanecer em Berkeley (CHIANG, 2014). Wu começou a trabalhar juntamente com Segrè depois que um dos integrantes do seu grupo, Alexander Langsdorf, que era judeu, a convidou para participar de uma das reuniões alegando que Segrè tinha uma mente aberta (CHIANG, 2014). Wu trabalhou com Segrè estudando os produtos da fissão do urânio, utilizando nêutrons produzidos no cíclotron de Berkeley, tornando-se este o tema do seu doutorado⁹.

Em 1939, enquanto trabalhavam com produtos da fissão nuclear do urânio, Wu e Segrè identificaram o Xenônio como um elemento importante na reação em cadeia. Como exploramos ao longo desse texto, esse trabalho se tornou extremamente relevante para o desenvolvimento do projeto Manhattan. Em maio de 1940, Wu defendeu o seu doutorado em Berkeley. A banca foi composta por Lawrence, Robert B. Brode, Leonard B. Loeb, Glenn Seaborg e Luis Alvares. Os dois últimos também ganhadores do prêmio Nobel em 1951 e 1963, respectivamente. Após o título, Wu ainda permaneceu em Berkeley enquanto assistente de pesquisa.

Naquele ano, a Segunda Guerra Mundial estava em curso. Havia a preocupação por parte do governo dos Estados Unidos de potenciais inimigos visitando laboratórios de pesquisa e realizando algum tipo de espionagem para obter informações tecnologicamente estratégicas. No início de 1940, algumas universidades foram orientadas a demitir estrangeiros pagos com recursos

9 O desenvolvimento dos estudos de fissão do átomo de Urânio aconteceu no ano de 1938 por Lise Meitner e seu companheiro de pesquisa Otto Hahn. Apesar de ter sido indicada 27 vezes ao Nobel na área da física e mais 21 indicações por trabalhos na química, Meitner não foi premiada em nenhuma das edições do prêmio Nobel. Disponível em: https://www.nobelprize.org/nomination/archive/show_people.php?id=6097. Acesso em: abr. 2017.

estaduais. Lawrence, enquanto gestor do Lawrence Berkeley Laboratory¹⁰, teve que pensar em estratégias para manter estrangeiros em seu laboratório, uma vez que a universidade sugeriu que Segrè fosse demitido da sua equipe por não ser elegível para aquela academia. Lawrence manteve Segrè utilizando recursos financeiros da fundação Rockefeller, e medidas semelhantes foram também adotadas para manter Wu (HEIBRON; SEIDEL, 1989).

Wu era uma pesquisadora dedicada, e durante o tempo em que permaneceu em Berkeley como uma espécie de estágio de pós-doutorado, adquiriu notoriedade como especialista em fissão nuclear. O próprio Bohr indicava Wu para palestras sobre o processo de fissão e Oppenheimer a chamava de “a autoridade” do assunto. Mais tarde, na China, Wu ficou conhecida como a Marie Curie Chinesa (CHIANG, 2014). O fato de conhecer bem os processos da fissão despertou nela uma espécie de cautela em suas palestras. Wu sabia da viabilidade de uma reação em cadeia a partir da fissão do urânio e do potencial bélico que esses estudos podiam oferecer.

Oppenheimer havia convidado Wu para dar uma palestra sobre a fissão nuclear na qual ela discutiu toda a física envolvida na fissão e a possibilidade da reação em cadeia, porém, não entrou em mais detalhes, alegando que “não poderia ir mais longe”. Lawrence e Oppenheimer, que estavam na plateia, sabiam do que ela estava tratando (LUBINK, 1971 apud CHIANG, 2014). Wu ficou conhecida, inclusive, por um jornal local, o *Oakland Tribune*, que dedicou uma reportagem em abril de 1941 aos seus trabalhos. A reportagem trazia:

Uma pequena menina chinesa trabalhou lado a lado com alguns cientistas dos EUA no laboratório de estudos referentes a colisões nucleares. Esta menina é o novo membro da equipe de pesquisa de física de Berkeley. A Sra. Wu, ou mais apropriadamente, a Dr. Wu, aparenta mais ser uma atriz em busca da cultura ocidental. Quieta e tímida na frente de estranhos, mas muito confiante e alerta na presença de físicos e estudantes de pós-graduação (*Oakland Tribune*, 25 abril de 1941)¹¹.

O jornal apresentava a Wu enquanto uma jovem chinesa que fazia parte do grupo de pesquisa de Berkeley. O noticiário também se preocupou em destacar as

¹⁰ Em 1995, o nome do laboratório mudou para “*Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory*”, conforme informação disponível em: <<http://www2.lbl.gov/Science-Articles/Archive/new-name.html>>. Acesso em: abr. 2017.

¹¹ Tradução Livre.

características físicas de Wu e apresentou a sua foto do passaporte. A partir dessa citação, é possível perceber a imagem que o *Oakland Tribune* tinha de mulheres cientistas. Além de ser algo relativamente fora do comum, o noticiário apontou para a figura de Wu como desconexa da imagem de cientista. O jornal reconheceu Wu enquanto pesquisadora, mas sugeriu a presença dela na ciência como algo acidental. A partir desse noticiário, podemos perceber a imagem que se esperava de uma cientista e que Wu parecia subverter, tanto por sua idade quanto por sua aparência.

Alguns anos mais tarde, em 1963, em uma entrevista para uma revista de notícias da cidade de Nova Iorque, Wu apresenta a sua forma de pensar referente à impressão que se tem das mulheres que fazem ciência:

Na América, há uma imagem errada que todas as mulheres cientistas são ajudantes, velhas e chatas. É culpa dos homens. Na sociedade chinesa, uma mulher é medida unicamente por seu mérito. Os homens as incentivam a ter sucesso, e eles não precisam mudar suas características femininas ao fazê-lo (WU, apud CHIANG, 2014 p-173).

Wu já começava a obter prestígio enquanto pesquisadora. Porém, mesmo com o reconhecimento por parte de grandes nomes da física, e da própria comunidade externa à ciência, a universidade de Berkeley se recusava a contratá-la. A maioria dos físicos conseguia empregos para trabalhar em pesquisa voltada para a guerra. Seu coorientador Emílio Segrè dizia-lhe que Berkeley estava perdendo uma grande oportunidade e que a universidade teria conseguido uma estrela. Àquela época, o diretor do departamento de física da universidade de Berkeley era Raymond Thayer Birge. Em sua autobiografia, Segrè aponta que o diretor do departamento em que Wu estava vinculada possuía preconceito contra estrangeiros, especialmente chineses, mulheres e pessoas com sotaque (SEGRÈ, 1993). Wu era chinesa, mulher e tinha dificuldades tanto na pronúncia quanto na escrita da língua nativa (MCGRAYNE, 1994; CHIANG, 2014).

3. A CONQUISTA DO PRIMEIRO EMPREGO

No ano de 1940, Wu obteve o seu doutorado, entretanto, conforme vimos na seção anterior, estava na condição de pesquisadora recém-formada, mas sem emprego. Destacamos, mais uma vez, que a mulher não era apreciada no corpo docente das instituições de nível superior. Nenhuma das 20 maiores universidades

de pesquisa nos EUA tinha uma professora em física (MCGRAYNE, 1994). Contudo, a oportunidade surgiu para Wu dar aulas de física no Smith College, em Massachusetts, uma faculdade particular apenas para mulheres, cujo funcionamento inicial se deu em 1875, fundada a partir do legado de Sophia Smith.

O Smith College fazia parte do grupo de sete faculdades particulares de artes liberais para mulheres que ficou conhecido como as sete irmãs¹². As sete irmãs tinham uma característica de recrutar e manter mulheres acadêmicas que não tinham a possibilidade de ingressar e lecionar em faculdades tradicionalmente masculinas¹³(HARWARTH, I.; DEBRA, E.; et al.,1997). À época, a Smith College não possuía laboratórios, o que dificultou o andamento das atividades de pesquisa da Wu. Nesse período, ela permaneceu lecionando, enquanto professora assistente, afastada do laboratório, o que lhe causou certa insatisfação. Isso porque, apesar de gostar de dar aulas, a sua grande motivação estava na pesquisa em laboratório (MCGRAYNE, 1994)

No final de 1941, a base militar norte-americana, em Pearl Harbor, foi atacada pelo Japão, levando à entrada dos EUA na Segunda Guerra Mundial. A guerra apontava para a necessidade, cada vez mais urgente, de cientistas trabalhando em laboratórios de pesquisa. Com a guerra em curso, a experiência de uma física experimental como Wu não podia ser ignorada. Muitos físicos de Berkeley foram convidados para fazer pesquisa de guerra, a exemplo de Oppenheimer, que foi encarregado de desenvolver o projeto da bomba atômica na cidade de Los Alamos, no Novo México (MCGRAYNE, 1994). Richard Hammond (2009) destaca que, por ser chinesa, Wu não recebeu nenhum convite passando por um processo de seleção rigoroso. Apesar de a China ser um país aliado aos EUA na segunda guerra sino-japonesa e na segunda guerra mundial, os estrangeiros, nos EUA, eram vistos como potenciais espiões.

Em um evento em Boston, ao encontrar Lawrence, já reconhecido e prestigiado pelo seu prêmio Nobel, Wu relatou que sentia que estava se afastando

12 Disponível em: <<http://www.smithcollege.edu>>. Acesso em: fev. 2017

13 Originalmente as universidades que compunham as Sete irmãs eram: MountHolyoke, Vassar, Smith, Wellesley, Bryn Mawr, Barnard, e Radcliffe colleges. Atualmente cinco continuam sendo faculdades exclusivamente femininas. Vassar se tornou uma faculdade mista e Radcliffe fundiu-se com Harvard. Fonte: <https://www.mtholyoke.edu/about/seven_sisters.html>. Acesso em: fev. 2017

do seu principal objetivo que era a pesquisa. Após esse encontro, a posição em uma universidade de pesquisa veio por intermédio de uma carta de recomendação de um dos maiores físicos experimentais dos EUA. Lawrence indicou Wu a algumas universidades, das quais oito lhe ofereceram um cargo, incluindo Princeton, Brown, Harvard, MIT e Columbia (CHIANG, 2014). Lawrence considerava Wu a física experimental mais habilidosa que ele conhecia e sabia que ela seria de fundamental importância para qualquer laboratório de física (HEIBRON; SEIDEL, 1989).

Na cidade de New Jersey, trabalhava Luke Chia-Liu Yuan, com quem Wu havia casado na primavera de 1942, em uma cerimônia realizada no quintal da casa de Robert Millikan (Nobel no ano de 1923), na cidade de Pasadena. Luke trabalhava com Millikan nos laboratórios RCA em Princeton. Wu, então, decidiu se tornar a primeira mulher instrutora de física da universidade de Princeton. A respeito dessa contratação, em uma palestra, ela relembrou o relato do professor Henry De Wolf Smyth, de Princeton, em 1943 que havia escrito para Wu a dificuldade que teve de empregá-la. Foi a primeira mulher em 211 anos de história a dar aulas de física naquela universidade (CHIANG, 2014).

Wu, entretanto, permaneceu por pouco tempo em Princeton. Alguns meses depois de ter aceitado o emprego, a Divisão de Pesquisa de Guerra da Universidade de Columbia convidou Wu para uma entrevista. Ela foi interrogada durante um dia inteiro sobre questões de física (MCGRAYNE, 1994). A pesquisadora ainda precisou se submeter a uma espécie de processo seletivo, no qual teve que demonstrar explicitamente a sua capacidade para trabalhar em um laboratório para desenvolver pesquisa de guerra. A intenção era de recrutá-la para o projeto Manhattan. Apesar dos entrevistadores não revelarem, inicialmente, Wu já sabia do que se tratava, ao observar os rascunhos da pesquisa no quadro da sala onde estava acontecendo à entrevista. (HAMMOND, 2009; CHIANG, 2014).

Aqui temos um episódio que Löwy (2000) apresenta enquanto um esforço suplementar por parte das mulheres que, para atingir o mesmo nível de desempenho que um homem, devem possuir um “excesso” de capacidades. Enquanto outros pesquisadores eram convidados a participar do projeto, Wu teve que ser submetida a uma espécie de processo seletivo para demonstrar sua capacidade intelectual. Em março de 1944, a cientista estava nos laboratórios da Universidade de Columbia fazendo trabalho de guerra, enquanto pesquisadora,

trabalhando em um projeto que caracterizou a Segunda Guerra como a guerra dos físicos (BAGGOTT, 2011).

4. A PARTICIPAÇÃO DE WU NO PROJETO MANHATTAN

Apesar de ter o nome de uma única cidade, o projeto de pesquisa iniciado na década de 1940, nos EUA, se instalou em diversos locais do país. Um dos objetivos do projeto se voltava para a produção e enriquecimento de urânio. Este, em seu estado natural, é encontrado na forma de urânio-238, porém, o elemento que é utilizado na fissão é o urânio-235. Portanto, era necessária uma separação dos isótopos. Dentre as possibilidades de realização da separação, havia o processo de separação de urânio por centrifugação, separação eletromagnética, difusão gasosa e difusão térmica.

Havia uma forte preocupação de que a Alemanha Nazista construísse um artefato de guerra com tamanha potencialidade de destruição. O projeto Manhattan reuniu indústrias, empresas e universidade, um projeto ambicioso que buscava os melhores cientistas para desenvolver o mais rápido possível a bomba atômica (HAMMOND, 2009). Wu trabalhou para o projeto Manhattan enquanto cientista sênior, vinculada à universidade de Columbia, localizada na cidade de Nova York¹⁴. O laboratório utilizado por Wu ficava próximo à universidade, num local que antes funcionava como um armazém de automóveis (CHIANG, 2014).

A pesquisa de Wu estava voltada para o processo de separação da massa de urânio por difusão gasosa. A direção do laboratório estava sob William Havens, juntamente com a colaboração do Nobel James Rainwater. Além disso, Wu também aprimorou os detectores de partículas radioativas que é conhecido como contador Geiger-Muller, ou apenas, contador Geiger, como é mais conhecido, aumentando a sua sensibilidade (HAMMOND, 2009). Em 1944, um dos locais onde foi também instalada uma base para o desenvolvimento do projeto Manhattan foi nas margens do rio Columbia, na cidade de Hanford, Washington. A equipe de Fermi, juntamente

14 Em uma pequena biografia de Wu no site do Centro de pesquisa Nuclear de Berkeley, ela é apresentada enquanto única chinesa que participou do projeto Manhattan. Disponível em: <[Famous-Women-in-Physical-Sciences-and Engineering/chien-shiung-wu.html](http://Famous-Women-in-Physical-Sciences-and-Engineering/chien-shiung-wu.html)>. Acesso em: abr. 2017

com Leó Szilárd e Eugene Wigner, debruçou sobre um projeto para construir um reator para estudar reações em cadeia.

O reator foi construído em um laboratório de metalurgia e também foi utilizado para produzir um novo elemento químico, o plutônio (CHIANG, 2014). Durante as fases de teste do reator em Hanford, surgiram problemas. Depois de iniciada, a reação em cadeia não se sustentava, cessava e começava novamente algumas horas depois. Suspeitava-se de que esse fenômeno era causado por conta da absorção de nêutrons por algum elemento resultante da fissão do urânio. O nêutron era o elemento que iniciava o processo de fissão, funcionando como um gatilho para a reação em cadeia. Dos produtos da fissão do Urânio, o elemento Xenônio era o suspeito de absorver os nêutrons. Na tentativa de solucionar o problema, Fermi foi aconselhado a consultar Wu que estudou o Xenônio na sua tese de doutorado. De fato, o Xenônio era o responsável (HOWES; HERZENBERG, 2003).

Fermi e Wheeler então enviaram um telegrama para Nova York solicitando os resultados preliminares das pesquisas realizadas por ela e Segrè em Berkeley. Todos sabiam do potencial energético associado à fissão nuclear. Por isso, Wu havia acordado com Segrè que a publicação desses resultados iria ser realizada apenas parcialmente, e que a versão em que continha os dados críticos iria ser publicada após o final da guerra. Wu estava disposta a liberar o documento apenas com a autorização explícita de Segrè e Fermi. O líder da equipe de físicos do laboratório em que Wu trabalhava era William Havens, que já a conhecia e, após terem conversado, ela concordou em fornecer os documentos com a condição de manutenção do sigilo. O documento preliminar de Wu foi uma contribuição significativa para o bom andamento do Projeto Manhattan. Atualmente, os reatores nucleares utilizam um invólucro de zircônio nas varetas de urânio para evitar o vazamento de xenônio e controlar as reações em cadeia (CHIANG, 2014).

5. CONSOLIDAÇÃO ENQUANTO FÍSICA EXPERIMENTAL

Após a guerra, poucos pesquisadores permaneceram trabalhando na universidade. Wu foi uma das pessoas que permaneceu em Columbia enquanto cientista sênior. Não era uma posição permanente, mas tratava-se de um cargo de pesquisa com regras que variavam de acordo com a universidade, e o salário

dependia de fontes externas (HAMMOND, 2009). Wu é geralmente apresentada, no período pós-guerra, enquanto uma física experimental à procura de um problema importante o suficiente para se debruçar (MCGRAYNE, 1994; HAMMOND, 2009; BENCZER-KOLLER, 2009).

Em 1934, Enrico Fermi havia proposto uma teoria associada ao decaimento beta, publicado na revista italiana *Nuovo Cimento*¹⁵. No ano anterior, Fermi havia submetido o artigo à revista *Nature*, porém foi recusado por ser considerado muito abstrato (CARUSO; MARQUES, 2014). No artigo, Fermi apresentava uma previsão teórica para o espectro energético da radiação beta. Por muitos anos, diversos físicos experimentais estavam nos laboratórios para validar ou refutar essa teoria. O fato da teoria não estar de acordo com a experimentação trazia a dúvida se era a teoria de Fermi que estava incorreta ou os resultados experimentais (HAMMOND, 2009).

Esse problema ficou relativamente esquecido durante o período da II Guerra, quando os esforços dos físicos e os investimentos financeiros estavam voltados para a tecnologia de desenvolvimento da bomba atômica. Para testar a previsão teórica de Fermi, Wu realizou melhorias em equipamentos que já existiam, tornando as medidas cada vez mais precisas como foi o caso do espectrômetro de nêutrons. Uma das utilidades foi verificar o alcance das interações nucleares (HAMMOND, 2009). Apesar de já existir equipamentos disponíveis para determinados experimentos, Wu se debruçava sobre eles na tentativa de torná-los mais sensíveis e mais eficientes.

Na teoria de Fermi, o elétron emitido deveria ter um valor de energia bem conhecido. Dois físicos da Universidade de Michigan, George Uhlenbeck, que descobriu o spin do elétron, e Emil Konopinski, haviam proposto outra teoria que depois ficou conhecida como teoria Uhlenbeck–Konopinski, a qual se preocupava em minimizar a discrepância entre os dados teóricos e empíricos, mas não foi suficiente para resolver o problema (CHIANG, 2014). No final de 1948, após mais de uma década, desde a proposta teórica realizada por Fermi em 1934, Wu realizou um experimento que, finalmente, conciliava a teoria de Fermi com os dados experimentais.

15 FERMI, Enrico. Tentativo di una teoria dei raggi β . *Il Nuovo Cimento* (1924-1942), v. 11, n. 1, p. 1, 1934.

No artigo intitulado *The Beta-Ray Spectra of Cu 64*¹⁶, Wu descreveu a técnica utilizada para obter filmes finos de fonte radioativa. O problema que percebeu estava associado à espessura da amostra radioativa e com o espectrômetro utilizado. Os espectrômetros exigiam uma grande quantidade de elétrons emitidos, assim, as amostras tinham que ser grossas e os elétrons emitidos ricocheteavam em outros núcleos perdendo energia. Portanto, a energia detectada dos elétrons era menor do que a prevista pela teoria de Fermi. A sua precisão e a competência eram bastante apreciadas. Em relação ao experimento que comprovou a teoria de Fermi, Wu não apenas realizou o experimento que estava de acordo com a teoria, como também realizou outros experimentos com espessuras variadas, nos quais apresentou o motivo pelo qual os experimentos realizados anteriormente não estavam de acordo com a proposta teórica (HAMMOND, 2009). Sobre a sua competência e habilidade, um ex pós-graduando de Wu, Leon Lidofsky, comentou que:

Ela ficou conhecida como uma pessoa cujo trabalho se podia confiar [...] ao se chegar a um resultado diferente de outra pessoa, é preciso demonstrar o que foi feito de errado e o que foi feito corretamente. Caso contrário, ninguém saberá em que dados confiar (LIDOFSKY, 1994, apud MCGRAYNE, 1994, p. 279 – tradução nossa).

O estudo sobre o decaimento beta realizado por Wu lhe garantiu grande respeito e admiração por seus pares. De acordo com Hammond (2009), alguns físicos acreditavam que Wu deveria ser indicada ao Nobel por suas contribuições em relação ao decaimento beta, pois, mais de uma década havia se passado desde a proposta da teoria de Fermi e sua comprovação experimental. Físicos dos EUA e da Europa se debruçaram sobre o tema sem conseguir um resultado satisfatório. A solução precisa e elegante de Wu merecia um reconhecimento maior e mais impactante como o Nobel.

Pelo regulamento, entretanto, o prêmio Nobel em ciências é oferecido apenas a cientistas que tenham realizado alguma descoberta. Como o trabalho de Wu tratava-se do aprimoramento de uma técnica, a pesquisadora não poderia ser reconhecida com esse prêmio por esse trabalho. Alguns autores criticam o prêmio Nobel, como é

¹⁶ WU, C. S.; ALBERT, R. D. The Beta-Ray Spectra of Cu 64. In: *Physical Review*, v. 75, n. 2, p. 315, 1949.

caso de Friedman que, em seu livro *The Politics of Excellence*¹⁷, escreveu: "Os prêmios Nobel da década de 1940 não foram premiados com base no reconhecimento do mérito; Em vez disso, tornaram-se em grande medida instrumentos na política da ciência" (FRIEDMAN, 2001apud HAMMOND, 2009, p. 50).

Os experimentos de Wu já apontavam uma notoriedade, porém ela ainda não tinha um emprego efetivo enquanto docente. Em Columbia, apesar da sua dedicação, o reconhecimento demorou a chegar (BENCZER-KOLLER, 2009). Mesmo com a sua recomendação a um cargo de ensino por seus colegas, a universidade de Columbia ainda era resistente. Um dos personagens mais influentes do departamento de física de Columbia era Isidor Rabi, que possuía uma opinião bastante conservadora em relação às mulheres. Steinberger, que já era professor em Columbia por 18 anos, havia recomendado Wu a um cargo de docente, mas Rabi foi bastante incisivo informando que o cargo de pesquisadora já era bom o suficiente (CHIANG, 2014).

Essa opinião, contudo, não era unânime em relação à contratação de uma mulher para o departamento de física. Outro colega e amigo de Wu, Willis Lamb, também havia indicado Wu para um cargo em 1951. No entanto, a recomendação, novamente, foi recusada. Alguns físicos premiados com o prêmio Nobel que também trabalhavam em Columbia, como Charles Hard Townes, Hans Jakob Steinberger, Leon Max Lederman e Tsung Dao Lee, declaram que Wu era injustiçada e era discriminada não só pelo fato de ser asiática, mas também, e mais ainda, por ser mulher (CHIANG, 2014).

Somente oito anos depois de começar a trabalhar em Columbia, em 1952, que Wu se tornou professora associada, após uma consulta a um comitê externo de cientistas influentes. No entanto, o salário ainda era baixo em relação ao dos outros professores. No final da década de 1950, após lançamento do Sputnik (1957), os EUA estabeleceram leis para garantir a igualdade de emprego e remuneração (SCHIEBINGER, 2008). Wu tornou-se professora associada em 1952. Apesar do caráter legal da equidade de salário independente do gênero, apenas em 1975 que Wu teve seu salário aumentado quando Robert Serber assumiu a presidência da

17 FRIEDMAN, Robert Marc. *The politics of excellence: Behind the Nobel Prize in science*. Times Books, 2001.

universidade. Foi um aumento drástico possibilitado por uma mudança na direção da universidade (CHIANG, 2007; 2014).

Seu primeiro e único filho, Vincent, nasceu em 1947. Mesmo com a maternidade, Wu continuou suas pesquisas. Morava a dois quarteirões do laboratório, fator que considerava crucial para sua condição de mulher cientista, além de ter alguém para tomar conta do filho enquanto trabalhava (MCGRAYNE, 1994). A compreensão da família, a divisão de tarefas domésticas e a existência de creches eram fundamentais para reduzir os conflitos entre a família e a pesquisa. Quanto a essa perspectiva, Wu declarou ainda que “os maridos que realmente respeitam os interesses de suas esposas devem ser atenciosos e dispostos a reduzir o peso que as esposas carregam” (WU, apud CHIANG, 2014 p. 180)¹⁸.

6. O EXPERIMENTO DE 1950

Alguns autores apresentam a Wu enquanto uma cientista que possuía habilidades para perceber a importância da realização de determinados experimentos, mais ainda quando estava associado a alguma teoria que não tivesse sido comprovada (HAMMOND, 2009). Esse fato aconteceu no experimento intitulado *The Angular Correlation of Scattered Annihilation Radiation*, publicado em 1950. O artigo começou tratando da proposta de 1946, de John Archibald Wheeler, de um experimento para verificar a predição da teoria em que dois quantas emitidos a partir da aniquilação do par elétron-pósitron são polarizados em ângulos retos. O artigo apontou que os detalhes teóricos foram apresentados por Maurice Pryce e John Clive Ward em 1947 e por Hartland Snyder em 1948 (WU; SHAKNOV, 1950).

Os estados de polarização de fótons resultantes da radiação de partículas aniquiladas era uma característica prevista em teoria. Havia a previsão de que os estados de polarização formavam entre si, um ângulo reto, porém não havia nenhum experimento que comprovasse a teoria (HAMMOND, 2009). De fato, em 1948, outros dois experimentos foram realizados, mas o nível de precisão não era satisfatório,

18 The report “My Views on Women in Academia”, Wu Chien-Shiung, 1972.

portanto, insuficiente para confirmar a teoria¹⁹. Uma das imprecisões observadas por Wu estava associada aos equipamentos utilizados como os detectores de radiação, e apresentava em seu artigo a utilização de detectores mais precisos. Wu conhecia bem os detectores de radiação utilizados já que ela havia aprimorado o contador Geiger-Muller quando estava no projeto Manhattan em Columbia.

Nesse trabalho, Wu comentou sobre os resultados obtidos por Ernst Bleuler e H. L. Bradt que, utilizando contadores Geiger-Muller, obtiveram uma taxa de assimetria que estavam dentro dos limites colocados pela teoria. Porém, apontou que o experimento possuía uma margem de erro relativamente grande, o que comprometeria uma análise mais detalhada entre teoria e experimento. Na sequência, Wu também citou o experimento de R. C. Hanna em que, utilizando contadores mais eficientes, ainda havia encontrado resultados diferentes do esperado. O artigo de Wu trouxe à tona as origens experimentais do fenômeno que hoje conhecemos como entrelaçamento quântico²⁰.

Esse fenômeno aparece como o principal motivador para o questionamento existente da completude da teoria quântica apresentado em 1935 no artigo de Einstein, Podolsky e Rosen, que ficou conhecido como paradoxo EPR. O EPR é na verdade uma experiência de pensamento originada em 1935 do artigo *Can. a Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?* que apresentava argumentos de que a mecânica quântica usual não era capaz de responder satisfatoriamente algumas questões, a exemplo do realismo local, violando inclusive um dos princípios da relatividade restrita.

O experimento de Wu foi bem apreciado pelo físico norte-americano David Bohm. Em 1957, Bohm afirmou, no artigo *Discussion of Experimental Proof for the Paradox of Einstein, Rosen and Podolsk*, que o experimento de Wu foi a primeira prova experimental para a experiência de pensamento do EPR (BOHM; AHARONOV, 1957). Após a publicação, outros autores rebateram Bohm alegando que o experimento de Wu e Shakhnov não era adequado para formular o problema do

19 E. Bleuler and H. L. Bradt. Correlation between the States of Polarization of the Two Quanta of Annihilation Radiation *Phys. Rev.* 73, 1398 – Published 1 June 1948 e HANNA, R. C. Polarization of annihilation radiation. *Nature*, v. 162, n. 4113, p. 332-332, 1948.

20 As vantagens desse fenômeno serão discutidas no capítulo II, mas já podemos sinalizar o desenvolvimento de computadores quânticos e a criptografia quântica a partir do conhecimento desse fenômeno.

EPR (PERES, 1960). Bohm insiste e, no mesmo ano, escreve um artigo respondendo às críticas feitas por Peres e Singer, apontando uma interpretação incorreta da radiação da polarização eletromagnética no domínio quântico (BOHM; AHARONOV, 1960)

Essas questões referentes ao EPR aparentemente se acomodaram com o trabalho teórico do físico irlandês John Stewart Bell, em 1964, que indicava a possibilidade de verificação da existência ou não de variáveis escondidas que supostamente completariam a MQ e o trabalho dos físicos experimentais John Clauser, Abner Shimony e Mike Horne. Temos ainda autores mais recentes que defendem a ideia de que a teoria quântica adequada para as medidas de polarização, dos quanta correlacionados, foi um fato publicado em 1947 e já confirmado por experiência em 1950 (DUARTE, 2012). Dentre os diversos experimentos realizados por Wu, destacamos que a relevância do experimento de 1950 reside na sua contribuição à discussão dos fundamentos da teoria quântica e que possui desdobramentos até os dias atuais.

7. O NOBEL DE 1957

Os esforços da maioria dos físicos durante o período da Segunda Guerra estavam voltados para a compreensão de técnicas para o desenvolvimento da bomba atômica. A possibilidade de verificação de novas partículas trouxe aos físicos uma quantidade incrível de partículas ainda desconhecidas, dentre as quais, duas delas chamaram a atenção da comunidade dos físicos. A partícula *theta* e partícula *tau*, as quais possuíam características intrigantes, tornando-se um enigma para os físicos. Havia a suspeita de que se tratava da mesma partícula por conta da massa e do tempo de vida serem iguais. O fator que, inicialmente, as diferenciava era o modo de decaimento distinto. A solução do problema veio com o experimento que permitiu a verificação das características mais fundamentais das partículas, dando fim ao problema identificando que a partícula *theta* e a partícula *tau* eram de fato a mesma partícula que hoje conhecemos como *méson K*.

À época, a não compreensão desse fenômeno foi apresentada pelos físicos como uma espécie de quebra cabeça ou *puzzle theta-tau*. O maior problema associado ao *puzzle* não era necessariamente o fato de que partículas,

aparentemente, iguais decaíam em modos diferentes, mas, sim, a questão de que, se estivessem tratando da mesma partícula, isso violaria uma das propriedades mais fundamentais da física – a conservação da simetria por paridade. A conservação da simetria por paridade era algo bastante sedimentado e aceito na comunidade física. Já ocorria para outros tipos de interação, como a eletromagnética.

No ano de 1956, dois físicos teóricos, Tsung Dao-Lee e Chen Ning Yang se preocuparam em realizar um estudo mais cuidadoso na propriedade associada à conservação de paridade de duas partículas (*theta* e *tau*) que eram idênticas, porém, decaíam de maneira duas formas diferentes. Até o momento, a conclusão que havia a respeito do assunto era que: i. Os experimentos realizados com interação fraca, não traziam nenhuma questão associada à conservação da paridade; ii. As experiências realizadas nas interações eletromagnéticas e nuclear forte, de fato, estabeleceram a conservação da paridade com alto grau de precisão, porém, não eram capazes de apresentar efeitos de uma não conservação da paridade nas interações fracas (YANG, 1964).

Portanto, não havia nenhum experimento para verificar a conservação da paridade em interações fracas. O problema foi apresentado na Conferência Internacional sobre Física Teórica em Seattle em setembro daquele ano:

Uma vez que as partículas que têm diferentes valores de rotação e paridade e que têm fortes interações com os núcleos e pions, não se espera que tenham massas e vidas idênticas, a questão aberta permanece em aberto, a indicação de que o t + e e w são a mesma partícula não é conclusiva (YANG, p-398, 1964 – tradução nossa).

Até então, como o próprio Yang havia comentado, quando propôs o experimento, ninguém acreditava que a paridade não era conservada, nem mesmo os autores Lee e Yang. Na tentativa de solucionar o impasse, ainda em 1956, na conferência internacional de Física de altas energias, na universidade de Rochester, Lee e Yang propuseram que certos tipos de partículas elementares ocorrem em duas formas com paridades diferentes. A ideia foi chamada de “*parity doubling*” (TRIGG, 1995, p. 114). Por ser um experimento tão difícil, ninguém aceitou o desafio. A realização do experimento exigia equipamentos específicos e bastante habilidade experimental. O experimento era complexo e exigiu meses de preparação (MCGRAYNE, 1994). Outro detalhe era que a ideia do experimento, associada à violação de uma simetria, era encarada como algo bastante improvável, desse

modo, uma tentativa de busca de uma evidência experimental não merecia tanto esforço naquele momento (MYNENI, 1984).

Mesmo avaliando que a possibilidade de a paridade ser violada era de uma em um milhão, Wu acreditava que, exatamente por ser tão básica e fundamental, a chance de comprovar ou refutar uma lei básica da natureza era importante (MCGRAYNE, 1994). Em uma conversa com Lee, Wu questionou se já havia alguma proposta experimental para verificar a paridade em interações fracas. Lee respondeu que algumas pessoas haviam indicado a utilização de um reator, porém, Wu havia sugerido que utilizar fontes de radiação beta de amostras de Co60 era a melhor forma (HAMMOND, 2009). Diante do problema apresentado por Lee, vários experimentais recusaram o desafio de realizar um experimento para verificar a violação da paridade.

Grandes nomes da física como Wolfgang Pauli, não acreditavam que era possível uma violação da paridade. Pauli, amigo de Wu, em uma carta endereçada a Victor Weisskopf, escreveu que estava disposto a apostar uma grande quantia de dinheiro considerando que a paridade seria conservada quando teve conhecimento da possibilidade da verificação (YANG, 2005). Richard Feynman (Nobel em 1965) em conversa com outro físico, o Norman Ramsey (Nobel em 1989), havia sugerido que era um experimento louco:

Perguntou Feynman 'O que você está fazendo? '. Ramsey respondeu: 'Estou preparando um experimento para examinar a conservação da paridade em interações fracas'. Feynman disse 'É um experimento louco. Não perca seu tempo'. 'O brilhante, Feynman sugeriu uma aposta com chances de 10.000 a 1 de que o experimento não teria sucesso. (Interview with Norman Ramsey, February 22, 1990, Harvard University apud CHIANG, 2014).

Quando tudo estava finalmente pronto para realizar o experimento, um dos colaboradores de Wu resolveu tirar férias. Ela e seu companheiro também estavam com férias marcadas, mas considerou o experimento mais importante e não gozou das férias. Luke viajou sozinho (MCGRAYNE, 1994). A realização do experimento exigia técnicas que Wu não tinha disponível nos laboratórios da universidade de Columbia. Para não destruir o alinhamento dos átomos de colbalto60 era preciso temperaturas incrivelmente baixas da ordem de 10^{-2} Kelvin. Poucos laboratórios nos EUA possuíam essa tecnologia. Wu entrou então em contato com Ernest Ambler, recentemente vindo de Oxford para os Laboratórios de Baixa Temperatura no

National Bureau of Standards (NBS) em Washington, o qual aceitou a proposta de colaboração na realização do experimento com entusiasmo (HAMMOND, 2009).

No dia 15 de janeiro de 1957 foi publicado no *Physical Review* o artigo que revolucionou a física²¹. A apresentação dos resultados que indicavam que a simetria por paridade havia sido violada foi algo impactante para a comunidade científica. Em 1957, os dois teóricos que propuseram o experimento foram laureados com o Nobel de Física. Wu não foi incluída na premiação. Alguns físicos acreditavam que Wu deveria ter sido premiada. Jakob Steinberger, Nobel em 1988, externou que o maior erro cometido pelo Nobel foi não ter premiado Wu, destacou a importância da proposta teórica, e reforça que a prova experimental foi realizada por Wu (CHIANG, 2014).

Oppenheimer, enquanto diretor dos estudos avançados de Princeton, realizou um banquete de celebração convidando Wu, Lee e Yang. Em um breve discurso, Oppenheimer informou que ali havia três pessoas merecedoras do prêmio. Em reconhecimento e admiração Wu foi convidada a sentar ao seu lado (CHIANG, 2014). A sutileza dos detalhes revela a predominância do machismo em que o convite para sentar-se ao lado do mestre de cerimônia se configurou uma espécie de reconhecimento, sem questionar o problema maior que é o fato de uma premiação, como o Nobel, possuir um caráter sexista. Richard Hammond (2009) aponta que o prêmio Nobel é oferecido para cientistas que realizam novas descobertas. Dessa vez, Wu tinha realizado a descoberta de que a paridade não é conservada no decaimento beta. Ainda assim, não foi reconhecida com o Nobel.

No ano de 2015, o autor de sua biografia, Tsai Chien, levanta algumas questões a respeito da não premiação do Nobel, dentre elas uma relação tensa entre os seus colaboradores do experimento do National Bureau of Standards: Dr. Ernest Ambler, o Dr. Raymond Hayward, o Dr. Ralph Hudson e o Dr. Dale Hoppes. Apesar do reconhecimento dos colaboradores, em relação à indispensável iniciativa de Wu, estes sentiram-se injustiçados em ter Wu enquanto a personagem que mais se destacou no experimento, enquanto eles foram considerados “meros técnicos”. Essa insatisfação teria motivado o comitê em evitar uma injustiça, indicando Wu e excluindo seus colaboradores (CHIANG, 2015)

21 WU, Chien-Shiung et al. Experimental test of parity conservation in beta decay. In: *Physical review*, v. 105, n. 4, p. 1413, 1957.

Alguns autores não percebem o caso do Nobel de 1957 enquanto um caso de injustiça e nem mesmo a figura de Wu como uma personagem totalmente invisibilizada. Um dos argumentos é que, por razões legais, as regras do prêmio Nobel indicam que o trabalho a ser considerado para o prêmio deve ser submetido antes do ano do Nobel. O experimento de Wu e sua equipe foi apresentado em janeiro de 1957. Portanto, naquele ano, Wu não poderia ser premiada com o Nobel. (HARGITTAI, 2015). A questão do ano da publicação, contudo, aparentemente, não foi o único motivo pelo qual Wu não foi premiada.

Podemos verificar que, ainda que houvesse recebido outras sete indicações, em nenhum dos anos Wu foi laureada. No ano de 1958, Wu recebeu indicações de Willis Eugene Lamb Jr e Polykarp Kush, em 1959, de J Rossel, em 1960 de David Henry Frisch, em 1964 de Herwig Schopper e em 1965 de Emílio Segrè²². Aqui temos um fator importante a destacar que é a questão de gênero envolvendo o comitê de premiação do Nobel de física. Uma investigação mais aprofundada nos arquivos do comitê de seleção do Nobel dos anos em que Wu foi indicada pode nos fornecer uma compreensão mais assertiva a respeito dos elementos que desfavoreceram Wu ao recebimento de um prêmio como o Nobel de física.

Outros casos semelhantes não são incomuns na história da ciência quando envolve a questão de gênero²³ e a premiação do Nobel. Ao observarmos as premiações oferecidas na física, iremos verificar que a quantidade de mulheres laureadas é extremamente pequena. De um total de 204 prêmios entregues para cientistas com contribuições na física, até os dias atuais, apenas duas mulheres foram laureadas com o prêmio, a saber: Marie Curie, em 1903, e Maria Goeppert Mayer, em 1963. Esses dados indicam menos de um por cento (0,98%) de mulheres que foram premiadas com o Nobel em física desde quando a premiação foi criada em 1901. Wu contribuiu ainda na melhoria de técnicas para medir tempos de vida de átomos em estados excitados, que são muito pequenos, até valores da ordem de 10^{-12} s. Trabalhou ainda com experimentos envolvendo a hemoglobina buscando compreender seu grau de afinidade com o oxigênio estimulando novas pesquisas sobre anemia falciforme (HAMMOND, 2009).

22 Disponível em:

<http://www.nobelprize.org/nomination/archive/show_people.php?id=10859>.

23 Jocelyn Bell, Esther Lederberg e Lise Meitner.

8. RECONHECIMENTOS OUTROS, QUE NÃO O NOBEL

O prêmio Nobel é considerado uma das premiações mais importantes na ciência. A obtenção de um prêmio dessa magnitude proporciona mais autoridade científica e prestígio para seus laureados. Porém, é historicamente perceptível que, se quisermos buscar a figura de mulheres na ciência e na física, a premiação do Nobel se apresenta como insuficiente não sendo capaz de representar os trabalhos feitos por mulheres. Ao contrário, utilizar o prêmio Nobel como indicador e representante da ciência produzida revela o caráter sexista e masculino da ciência.

De fato, apesar do caso do Nobel, Wu recebeu diversos outros títulos e honras, tornando-se pioneira em diversas situações. Dentre eles, Wu foi a primeira mulher a ensinar na universidade de Princeton em 1943. Na universidade de Columbia, foi a primeira mulher do Departamento de Física em 1952 e em 1958 obteve a posição permanente de docente. Nesse mesmo ano, foi a primeira mulher a receber o título de *Honorary Doctor* da universidade de Princeton. E, ainda em 1958, foi eleita para a academia de ciências dos Estados Unidos.

Por sua vez, Wu se tornou a primeira mulher a ocupar em 1975 o cargo da presidência da sociedade norte-americana de física, a American Physics Society (APS). No mesmo ano, recebeu a medalha nacional de Ciência do presidente dos Estados Unidos Gerald Ford. Wu também recebeu homenagens de diversas outras universidades. Outra importante premiação foi o Prêmio Wolf, que atentava para a manutenção das relações amigáveis entre os povos. O prêmio Wolf de física é uma das premiações mais importante após o Nobel, o qual é oferecido pela fundação Wolf, em Israel, desde 1978. Foi agraciada enquanto a primeira cientista e, conseqüentemente, a primeira mulher a receber esse importante prêmio pelas suas contribuições associadas ao decaimento beta²⁴.

Em 1990, quando o Observatório Internacional *The Purple Mountain Observatory*, localizado na capital chinesa, descobriu o asteroide nº 2752, batizou de “C.S Wu’s Star” em homenagem às contribuições científicas realizadas por Wu. Ela ainda recebeu o título de *Honorary Doctor* de mais de 20 universidades, como uma forma de reconhecimento de suas contribuições (LU, 2012). Na China, na universidade Southeast foi construído um memorial em sua homenagem, o qual

24 Disponível em: <<http://www.wolffund.org.il/>>. Acesso em: mar. 2017.

possui alguns dos seus pertences e manuscritos doados pela universidade de Columbia ²⁵. O pioneirismo de Wu, para além dos méritos, revela o quão tardiamente o reconhecimento de mulheres, por algumas universidades, veio a acontecer. Se por um lado, Wu é a primeira mulher em alguns aspectos, por outro, apenas no final do século XX que as mulheres conseguem obter algum prestígio na ciência.

Em 1981, Wu se aposentou, porém, não se afastou das atividades acadêmicas. A aposentadoria possibilitou a Wu ter mais tempo disponível para viajar realizando palestras sobre as pesquisas que realizou e se engajou mais em tratar da questão da pouca participação das mulheres na ciência, incentivando as mulheres a se tornarem cientistas (MACGRAYNE, 1994). Ela apresenta algumas reflexões a respeito da pouca participação das mulheres nas carreiras científicas:

Sinto sinceras dúvidas de que qualquer pessoa de mente aberta realmente acredita na falsa noção de que as mulheres não possuem capacidade intelectual para a ciência e a tecnologia. Também não acredito que os fatores sociais e econômicos sejam os obstáculos reais que impedem a participação das mulheres no campo científico e técnico (WU, apud CHIANG, 2014 p-172)²⁶.

E acrescenta que “o principal obstáculo no caminho de qualquer progresso é e sempre foi uma tradição incompreensível” (WU, apud CHIANG, 2014 p-172). Segundo Wu, o preconceito contra as mulheres nos EUA estava relacionado à filosofia protestante daquele país. Isso acabou prejudicando a sua carreira por ela ser uma mulher (CHIANG, 2014). Em 2004, a organização Europeia para a pesquisa nuclear nomeou uma de suas ruas de “Route C.S. WU” em reconhecimento às contribuições da cientista. Outras rotas foram batizadas como “Route A. Einstein”, “Route Bohr”, “Route Marie Curie” e outros grandes nomes de cientistas (CHIANG, 2015).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A trajetória de Wu nos possibilita refletir sobre os desafios que ela enfrentou em sua condição de mulher estrangeira em um país como os EUA em uma época na

25 Disponível em:

<<http://www.seu.edu.cn/english/2016/0614/c238a161657/page.htm>>. Acesso em: abr. 2017

26 “Reflections on Scientific Adventure”, Rita Levi-Montalcini, in *Women Scientists: The Road to Liberation*, ed. Derek Richter, p. 111, Macmillan, New York, 1982.

qual a maioria das universidades era um ambiente hostil para as mulheres. Wu reconheceu que havia um problema associado às mulheres na ciência e apontava o conservadorismo como o principal obstáculo. As dificuldades enfrentadas por Wu no primeiro emprego, o atraso na obtenção de um cargo efetivo de docente, o não reconhecimento na premiação do Nobel, dentre outros fatos, revelam o caráter sexista da ciência e, conseqüentemente, a sua história. Wu enquanto uma física experimental, pode comprovar diversas teorias fundamentais da física garantindo o reconhecimento por muitos de seus pares, porém essas contribuições não foram suficientes para superar a barreira de gênero e garantir notoriedade enquanto mulher e cientista.

A trajetória de Wu pode ser encarada como um de muitos casos em que a contribuição de mulheres para a ciência ocorre de maneira efetiva, no entanto, a sua história permanece timidamente apresentada, quando não ausente. Apesar de ter um papel fundamental na ciência ocidental do século XX, Wu não aparece expressivamente na literatura de história da ciência, legando o conhecimento desenvolvido pela ciência, única e aparentemente, a personagens masculinos. A história das mulheres na ciência é uma parte da história que permaneceu ausente durante muito tempo, mas isso temos enfrentado escrevendo narrativas como a da nossa cientista Wu

REFERÊNCIAS

BAGGOTT, Jim. *The First War of Physics: The Secret History of the Atom Bomb, 1939-1949*. Pegasus Books, 2011.

BANDEIRA, Lourdes. A contribuição da crítica feminista à ciência. In: *Estudos Feministas*, v. 4, n. se, p. 0-0, 2008.

BOHM, D.; AHARONOV, Y. Further discussion of possible experimental tests for the paradox of Einstein, Podolsky and Rosen. In: *Il Nuovo Cimento* (1955-1965), v. 17, n. 6, p. 964-976, 1960.

CARUSO, F.; MARQUES, A. J. Sobre a viagem de Enrico Fermi ao Brasil em 1934. In: *Estudos avançados*, v. 28, n. 82, p. 279-289, 2014.

CHIANG, T.C. *Madame Chien-Shiung Wu: The First Lady of Physics Research*. Tradução de Frank Wong Tang-Fong. World Scientific, 2014.

_____. Wu Chien-Shiung: A brief biography. In: *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing, 2015.

CHRISTIE, J. R. R. Feminism and the history of science. In: OLBY, R.C. et al. (eds), *Companion to the History of Modern Science*. London: Routledge, pp.100-110.1990

DOUGLASS, J. A. *The conditions for admission: Access, equity, and the social contract of public universities*. Stanford University Press, 2007.

DUARTE, F. J. The origin of quantum entanglement experiments based on polarization measurements. In: *The European Physical Journal H*, p. 1-8, 2012.

HAMMOND, R. *Chien-Shiung Wu: Pioneering Nuclear Physicist*. [New York]: Chelsea House Publishers, 2009.

HARGITTAI, M. *Women scientists: reflections, challenges, and breaking boundaries*. Oxford University Press, 2015.

HARWARTH, I.; DEBRA, E.; MALINE, M. *Women's colleges in the united states: History, issues, & challenges*. DIANE Publishing, 1997.

HEILBRON, J. L.; SEIDEL, R.W. *Lawrence and his laboratory: a history of the Lawrence Berkeley Laboratory*. University of California Press, 1989.

HOWES, R. H.; HERZENBERG, C. L. *Their day in the sun: women of the Manhattan Project*. Temple University Press, 2003.

JARDIM, Rejane Barreto; PIEPPER, Jordana Alves. Aproximações e divergências: história social, história cultural e a perspectiva gênero. *Métis: história & cultura*, v. 9, n. 18, 2012.

KELLER, E. F. Qual foi o impacto do feminismo na ciência? In: *Cadernos Pagu*, Campinas, n.27, jul. /dez.2006.

LOPES, M. M. Sobre convenções em torno de argumentos de autoridade. In: *Cadernos Pagu*, Campinas, n.27, jul. /dez. 2006.

LÖWY, I. Universalidade da ciência e conhecimentos “situados”. In: *Cadernos Pagu*, n. 15, p. 15-38, 2000.

LU, T. Scientific Achievements of Prof. Chien Shiung Wu. In: *Asia Pacific Physics Newsletter*, v. 1, n. 02, p. 52-59, 2012.

MCGRAYNE, S. B. *Mulheres que ganharam o Prêmio Nobel em Ciências*. Marco Zero, 1994.

MYNENI, K. Symmetry destroyed: The failure of Parity. In: *History of Science: Parity Violation*. December, v. 10, 1984.

BENCZER-KOLLER, N. Chien-Shiung Wu (1912-1997), Biographical Memoirs Washington, DC: National Academy of Sciences, 2009.

PERROT, M. *Minha história das mulheres*. Contexto, 2007.

RAGO, M. Epistemologia feminista, gênero e história. In: PEDRO, J. M.; GROSSI, M. P. (Org.). *Masculino, feminino, plural*. Florianópolis: Editora Mulheres, 2000.

SARDENBERG, C. M. B. *Da crítica feminista à Ciência a uma Ciência Feminista?* 2007.

SCHIEBINGER, L. Mais mulheres na ciência: questões de conhecimento. In: *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, v. 15, p. 269-281, 2008.

SEGRÈ, E. *A Mind Always in Motion: The Autobiography of Emilio Segrè*. University of California Press, 1993. p.161-162.

TRIGG, G. L. *Landmark experiments in twentieth century physics*. Courier Corporation, 1995. p. 114.

VARIKAS, E. ; RIOT-SARCEY, M. *Réflexions sur la Notion d'Exceptionnalité*. Les Cahiersdu GRIF, Paris, no 37-38, 1988, pp.77-89.

YANG, C. N. *The law of parity conservation and other symmetry laws of physics*. Nobel Lectures Physics: 1942--1962, 1964.

_____. *Selected papers, 1945-1980, with Commentary*. World Scientific, 2005.

WU, C. S.; SHAKNOV, I. The angular correlation of scattered annihilation radiation. In: *Physical Review*, v. 77, n. 1, p. 136, 1950.

PERES, A.; SINGER, P. On possible experimental tests for the paradox of Einstein, Podolsky and Rosen. In: *Il Nuovo Cimento* (1955-1965), v. 15, n. 6, p. 907-915, 1960.

CAPÍTULO II

O EXPERIMENTO WS DE 1950 E AS SUAS IMPLICAÇÕES PARA A SEGUNDA REVOLUÇÃO DA MECÂNICA QUÂNTICA

INTRODUÇÃO

Ao pensarmos em teorias físicas, a teoria quântica é uma das que possui maior prestígio na comunidade científica. Além da sua contribuição para o avanço e desenvolvimento tecnológico da humanidade, trata-se ainda de uma das teorias mais bem-sucedidas da história da física. Tendo o próprio desenvolvimento da mecânica quântica (MQ) na década de 1920 enquanto uma revolução no estudo do tema, a segunda revolução quântica, termo cunhado pelo físico experimental Alain Aspect, trouxe mais contribuições para o desenvolvimento da área a partir do aprimoramento do aparato experimental na década de 1960, inclusive para o desenvolvimento do campo de pesquisa da Informação Quântica. Ainda nos dias atuais, a quântica tem se apresentado enquanto um campo de pesquisa bastante promissor no que diz respeito a novas tecnologias e discussões teóricas na compreensão dos fenômenos físicos.

A MQ teve o seu desenvolvimento na primeira metade do século XX com grandes físicos como protagonistas, a saber, Max Planck, Niels Bohr, Werner Heisenberg, Louis de Broglie, Erwin Schroedinger e Albert Einstein. Estes são os nomes mais conhecidos e que, muitas vezes, carregam ainda o título de fundadores ou pais da física quântica – o que evidencia o impacto positivo destes físicos na criação da mecânica quântica (SILVA, 2011). Contudo, há muitos outros personagens, alguns até desconhecidos, que também contribuíram para as discussões sobre os fundamentos da MQ. Como bem destaca o historiador da ciência Badino (2016), mesmo os cientistas poucos convencionais podem ter contribuições extremamente significativas para diversas áreas da ciência.

Esse reconhecimento pode ser percebido, portanto, através do produto da pesquisa de historiadores da ciência que buscam, para além do campo da história intelectual (sustentada predominantemente nas teorias e nas equações), elementos e personagens considerados periféricos ao *mainstream*, de um determinado tema ou linha de pesquisa, para compor sua narrativa. Em relação à teoria quântica, Badino

usou o termo *Quantum Underground*²⁷ para caracterizar aqueles personagens invisibilizados pela história convencional da física. Por sua vez, Freire (2015), também historiador da ciência, apresenta no título do seu livro o termo *Dissidentes Quânticos* para se referir a pesquisadores que se debruçaram sobre temas, pouco convencionais, da Mecânica Quântica, e com isso, foram capazes de desenvolver um campo de pesquisa extremamente importante para a física atual, a exemplo da informação Quântica.

Compactuamos com o fato de que, esses personagens e temas, ainda que por algum motivo invisibilizados, a partir de uma perspectiva histórica, podem apresentar contribuições tão significativas quanto à dos personagens e temas do considerado *ministram* da física. A história usual da MQ é um campo protagonizado por homens em um contexto predominantemente europeu, o que é percebido nos grandes livros que tratam da história da mecânica quântica, a exemplo do *Quantum Generativos A Vistor of Physics in Ihe Twentieth Century, Helge Kragh; The philosophy of quantum mechanics: the interpretations of quantum mechanics in historical perspective, Max Jammer*.

Diante disso, percebemos a necessidade de olhar para outras fontes e contribuições de modo a trazer à tona novos sujeitos e narrativas que podem estar localizados no *quantum underground*. Isso implica em resgatarmos na história da física, personagens invisibilizados ou que tiveram sua trajetória pouco explorada em detrimento dos grandes nomes que aparecem nesta área da ciência. No intuito de ir além das narrativas convencionais, resgatamos a contribuição do trabalho da física experimental sino estadunidense Chien Shiung Wu para os fundamentos da teoria quântica. O seu experimento de 1950 desencadeou o que ficaria posteriormente conhecido como a segunda revolução quântica, e tornou-se pioneiro na compreensão do fenômeno do entrelaçamento quântico, contribuindo, assim, para avanços nas áreas de teleportação quântica, criptografia quântica e computação quântica.

No presente estudo, discutimos, portanto, de que forma o resultado

27 O autor utilizou o termo originalmente utilizado por Clayton A. Gearhart em que apresenta, um trabalho a partir de livros-texto, apresentando contribuições de autores nos primórdios do desenvolvimento da teoria quântica (APS April Meeting 2011 Volume 56, Número 4 Sábado-terça-feira, 30 de abril a 3 de maio de 2011; Anaheim, Califórnia).

experimental de Wu e Irving Shakhov contribuiu para as discussões dos fundamentos da Mecânica Quântica, desempenhando, assim, um papel relevante na segunda revolução quântica. Deste modo, almejamos contribuir para uma história das mulheres em áreas científicas, como a teoria quântica, predominantemente masculina, cuja historiografia tradicional desvaloriza ou pouco enfatiza o papel direto ou indireto de personagens do *quantum underground* como a própria Wu. Nessa perspectiva, apresentamos aqui o desenvolvimento e a repercussão do experimento Wu até o ano de 1957, quando os físicos David Bohm e Yakir Aharonov utilizaram o experimento dessa cientista como uma primeira possibilidade experimental para verificação do celebre paradoxo EPR, apresentado em 1935.

Dessa forma, apresentamos o capítulo destacando o não aparecimento, ou o tímido aparecimento, de mulheres na contribuição da evolução de pensamento sobre o tema da mecânica quântica. Motivado a buscar contribuições de figuras femininas para a teoria quântica, este trabalho se debruça sobre investigações em torno da figura de Chien Shiung – uma física experimental sino estadunidense que teve seus experimentos utilizados na comprovação de importantes teorias físicas a exemplo da Violação da paridade, a teoria Fermi e contribuições a respeito do processo do decaimento beta. A habilidade experimental de Wu favoreceu o aperfeiçoamento de técnicas experimentais, tornando, assim, os seus experimentos mais precisos. Por conta disso Wu foi capaz de desenvolver contribuições até mesmo em áreas que estavam fora do campo de pesquisa da física nuclear, o decaimento beta, que foi a sua principal fonte de pesquisa por muitos anos.

A partir da necessidade de apresentar uma resposta aos questionamentos da MQ presentes no EPR, o físico D. Bohm utilizou o experimento WS para argumentar a favor da interpretação da mecânica quântica, que ficou conhecida como Interpretação de D. Bohm, porém possuía em sua essência um caráter ainda considerado um problema para alguns cientistas, como o próprio Einstein, que era a questão da não localidade. No intuito de desenvolvermos as discussões aqui apresentadas, tendo como norte a atuação de Wu, optamos por conduzir a narrativa cronologicamente, a partir do trabalho que ficou conhecido como paradoxo EPR em 1935, seguido da interpretação da mecânica quântica de Bohm na década de 1950,

passando pelo teorema de Bell na década de 1960 até os experimentos da terceira geração que corroboraram a MQ.

1. CHIEN SHIUNG WU, UM BREVE HISTÓRICO

Chien Shiung Wu foi uma física experimental sino-estadunidense que contribuiu para diversas áreas da física. A sua reputação enquanto física experimental e pioneirismo, enquanto mulher, na presidência da American Physical Society (APS) e reconhecimento por parte de algumas universidades, legaram a Wu pseudônimos utilizados no sentido de reconhecer a importância dos seus trabalhos, dentro os quais, destacamos “a autoridade” no decaimento beta, a primeira dama da pesquisa em física, pioneira em física nuclear e, até mesmo, a Marie Curie chinesa (HAMMOND, 2009; CHIANG, 2014). Apresentamos, então, o capital científico da Wu que a tornou conhecida na comunidade científica e na sociedade.

A formação inicial de Wu aconteceu na China, onde obteve a sua graduação em 1934, na National Central University. Depois de graduada, trabalhou como assistente de ensino por um ano na Zhejiang University, após esse período começou a trabalhar na Academia Sinica, que realizava pesquisas em física e química. Neste primeiro emprego, Wu começou suas atividades experimentais trabalhando no laboratório, orientada por uma mulher, Gu Jing-Wei, que tinha realizado sua pós-graduação nos EUA, na Universidade de Michigan, e incentivou a sua orientanda a continuar seus estudos. Em 1936, Wu chegou nos EUA e realizou seus estudos de pós-graduação na universidade de Berkeley. Lá tinha Ernest Lawrence enquanto seu orientador e um dos laboratórios mais modernos dos EUA. Em Berkeley, Wu conviveu e tornou-se amiga de grandes nomes da física, como Emilio Segrè, Robert Oppenheimer e Wolfgang Pauli.

Wu participou do projeto Manhattan, um dos maiores projetos científicos do século passado, o qual contou com a contribuição e participação das maiores mentes científicas da época. Para esse projeto, ela trabalhou na obtenção de urânio físsil a partir do processo de difusão gasosa na universidade de Columbia. Ainda nesse período, a tese de doutorado de Wu foi importante para auxiliar na resolução do problema no reator B que estava associado ao projeto (HAMMOND, 2009;

CHIANG, 2014). Em 1956, Wu liderou uma equipe que foi capaz de apresentar experimentalmente a violação de uma das propriedades de simetria considerada a mais fundamental na física: a paridade no decaimento beta. A sua importância foi tão grande e significativa que rendeu o prêmio Nobel de 1957 apenas para a proposta teórica dos físicos chineses Tsung Dao Lee e Chen-Ning Frank Yang. (HAMMOND, 2009; CHIANG, 2014).

Wu, no entanto, não foi incluída na premiação – o que se tornou um dos episódios mais representativos em relação à injustiça na premiação do Nobel envolvendo as questões de gênero. Além disso realizou experimentos que corroboraram em 1948 a teoria de Fermi para o decaimento beta após mais de uma década de tentativas de outros físicos experimentais. Também se debruçou na área da biofísica, contribuindo com estudos acerca da hemoglobina e anemia falciforme. Em 1978, o prêmio de inauguração da premiação da fundação Wolf foi escolhido por unanimidade para ser entregue a Wu por sua contribuição à exploração da interação fraca.

O experimento que apresenta a violação da paridade na física e a questão do não recebimento do prêmio Nobel, mesmo recebendo sete indicações, vinculado às questões de gênero, certamente garante um dos temas mais significativos a se tratar na vida de Wu. No entanto, neste capítulo, pretendemos compreender a relevância do experimento de 1950 na discussão acerca dos fundamentos e da segunda revolução da mecânica quântica, o qual foi negligenciado pelas principais biografias de Wu bem como por livros que tratam da história da MQ. Em uma análise macro, verificamos que, ao realizar o experimento, a preocupação de Wu estava aparentemente voltada para verificar resultados teóricos e experimentais associados à área da eletrodinâmica quântica. Ou seja, Wu não estava inserida na comunidade de físicos interessados nos fundamentos da mecânica quântica, mesmo assim, o seu resultado experimental teve um impacto relevante na área.

A busca por experimentos capazes de corroborar teorias era uma das características mais marcantes e uma prática corriqueira do trabalho da nossa personagem, evidenciando, assim, a importância que dava a uma prática científica preocupada tanto com a teoria quanto com a experimentação. Mesmo sendo realizado com outro objetivo que não abordar os fundamentos da teoria quântica, o

experimento de Wu e Shalnov acabou sendo apropriado pelo físico David Bohm para discutir a questão da não localidade.

Apesar do aparente distanciamento de áreas da física, atualmente, institucionalmente fragmentadas, o historiador Joas (2011) argumenta que a Mecânica Quântica derivou de diversas áreas da física como, atualmente identificadas, a física do estado sólido, física nuclear e física de partículas. Físicos, como o próprio Werner Heisenberg, se preocupavam com temas que envolviam teoria atômica, estrutura da matéria, turbulência de fluidos, relatividade, radiação atmosférica, radioatividade, entre outros. O que nos permite afirmar que a mecânica quântica não surge como uma área de estudo independente, e que o seu próprio amadurecimento contou com pesquisadores e pesquisadoras de áreas institucionalmente distintas. A história da MQ está entrelaçada com subdisciplinas da física e que não tinham ainda identidade institucional.

2. O ARGUMENTO EPR

Para compreendermos o papel do experimento de Wu, é importante apresentarmos brevemente um pouco da controvérsia existente a respeito das interpretações e da história da MQ. A rigor, consideraremos duas das diversas interpretações da MQ. A interpretação mais conhecida que é a interpretação de Copenhague – também conhecida como interpretação usual ou ortodoxa da MQ, e a interpretação de David Bohm, que trouxe à tona discussões a respeito da existência ou não de “variáveis ocultas”, as quais completariam a MQ, apresentando-se enquanto uma abordagem alternativa à interpretação usual.

Dentre as diversas interpretações da MQ, a interpretação de Copenhague recebia questionamentos a respeito da sua completude, levando em consideração conceitos tanto físicos, a exemplo do problema da medição, quanto filosóficos. A interpretação de Copenhague sustentava a mecânica quântica enquanto não determinística, se apoiando em um caráter probabilista por nomes como Niels Bohr, Max Born, Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli, e Léon Rosenfeld. Havia uma forte questão filosófica envolvida no debate a respeito dos fundamentos da teoria quântica, protagonizada por duas posições antagônicas que consolidaram uma controvérsia a respeito da pertinência ou não desta teoria ao realismo da física (PATY, 2011).

Para evidenciar algumas dessas inquietações a respeito desta física, relativamente nova, podemos apresentar o artigo de 1935 em que três físicos, Albert Einstein, Boris Podolsky e Natan Rosen, publicaram um trabalho questionando a completude da mecânica quântica em detrimento do que Niels Bohr, um dos pais fundadores da MQ, havia indicado que a função de onda PSI possuía toda informação necessária para descrever um sistema quântico. O próprio título do artigo, publicado na *Physical Review*, ilustra o que estava em jogo: *Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?*²⁸. O questionamento da completude da mecânica quântica teve desdobramentos que culminou em uma das maiores controvérsias científicas do século XX. O argumento de incompleteza da MQ ficou largamente conhecido pelas iniciais do sobrenome dos autores EPR (Einstein, Podolsky e Rosen).

A proposta do EPR vai de encontro a um dos princípios básicos da MQ usual; O Princípio da Incerteza de Heisenberg, que apresenta que, na mecânica quântica, só existe a possibilidade de verificação simultânea e precisa das propriedades de um sistema, se os seus operadores comutam entre si. A ideia apresentada por EPR consistia em considerar um sistema quântico com duas partículas correlacionadas em que, a medição da propriedade de uma implicaria na obtenção da medida da segunda, mesmo que esta estivesse afastada espacialmente da primeira, ainda que as propriedades medidas não comutem entre si. Além disso, tratava-se de uma experiência de pensamento, que ainda não havia sido verificada empiricamente. Esse comportamento, a princípio, era estranho – o que levou alguns físicos a questionarem a completude da mecânica quântica e até mesmo se era uma teoria correta (ACZEL, 2002).

O argumento EPR apresentava duas suposições contraditórias à mecânica quântica, a primeira associada à questão da não localidade considerando partículas quânticas correlacionadas, presente no formalismo quântico, e a segunda, que diz respeito à própria localidade em que a medida de um elemento não pode afetar instantaneamente, ou como velocidade superior que a da luz, o estado de outro afastado espacialmente. O argumento associado ao EPR consistia em sugerir a

28 EINSTEIN, Albert; PODOLSKY, Boris; ROSEN, Nathan. Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? In: *Physical Review*, v. 47, n. 10, p. 777, 1935.

existência um elemento da realidade que não possuía correspondente na teoria quântica (PESSOA JR., 2006). Portanto, são consideradas duas hipóteses, ou as quantidades físicas, associada a dois operadores, que não comutam entre si, não apresentam realidade física ou a mecânica quântica, através da função de onda, não fornece uma descrição completa da realidade.

Em outras palavras, o EPR questiona a ideia do antirrealismo onde um sistema físico real existindo, independente de das condições de observação, não é possível, portanto, se perde a noção de realidade física. Só é possível a existência a partir da observação. O restabelecimento de uma teoria completa viria, por exemplo, a partir da restauração do determinismo através de variáveis adicionais (PATY, 2011). Nesse sentido, a estrutura do argumento EPR admite o formalismo da MQ para a situação de duas partículas correlacionadas em seu caráter não local, bem como a hipótese de localidade associada à concepção de realidade de uma teoria física. O argumento EPR concluiu que a mecânica quântica não satisfaz a condição de completude. Para que o formalismo da MQ seja considerado completo, seria necessário o abandono da condição de localidade ou da ideia de que a MQ seja completa (PESSOA JR., 2006).

Neste ponto, o questionamento referente à teoria quântica se faz evidente se considerarmos o critério da completude apresentado no artigo EPR, no qual uma teoria física é completa somente se "todo elemento da realidade física tem uma contrapartida na teoria física" (EINSTEIN; PODOLSKI; ROSEN, 1935). Pessoa Jr. (2006) apresenta o argumento EPR e as suas diversas interpretações considerando, ou não, a localidade e a completude de uma teoria. A interpretação ondulatória, por exemplo, é capaz de abandonar a condição de localidade e permanecer coerente, considerando, portanto que a mecânica quântica é uma teoria completa.

Argumentos a respeito de fenômenos não locais são, de fato, um divisor de águas na compreensão dos fundamentos da MQ. Entretanto, testes experimentais a respeito de teorias não-locais ainda não se apresentavam viáveis à época em que o EPR fora proposto. É nesse contexto que surge o trabalho de Bohm e Aharonov em 1957, na defesa da utilização dos resultados do experimento WS de 1950, enquanto uma prova para o EPR, e que está de acordo com a MQ.

3. O EXPERIMENTO WS

No ano de 1949, Wu e Shakhov concluíram o artigo que foi publicado no ano de 1950 e ficou conhecido como o experimento WS²⁹. O artigo começou tratando a proposta de 1946 do físico teórico John Archibald Wheeler (1946)³⁰ de realizar um experimento para verificar a predição da teoria de pares de Paul Dirac (1930)³¹ em que dois quantas (fótons) emitidos a partir da aniquilação do par elétron-pósitron seriam polarizados em ângulos retos (WU; SHAKNOV, 1950). Esta era uma previsão da eletrodinâmica quântica e o objetivo de Wu era fazer sua verificação (WHITAKER, 2016). Os fótons eram obtidos após a colisão de um elétron e de um pósitron que se aniquilam produzindo fótons de radiação gama, preservando algumas leis de conservação como carga, momento linear e angular. Para colidir o elétron e o pósitron, Wu utilizou o cíclotron (acelerador de partículas) da universidade de Columbia.

No artigo publicado na *Physical Review*, Wu apresenta uma revisão da literatura, no contexto experimental, comentando sobre os resultados obtidos anteriormente por Ernst Bleuler e H.L. Bradt³² em 1948, na universidade de Indiana nos EUA, em que, utilizando contadores Geiger-Muller (GM), obtiveram uma taxa de assimetria que estava dentro dos limites colocados pela teoria quântica, porém os experimentos possuíam uma margem de erro relativamente grande e isso comprometeria uma análise mais refinada entre teoria e experimento (WU; SHAKNOV, 1950). Apesar de possuir compatibilidade com a MQ, a taxa de incerteza de seus resultados era grande, que os tornava inconclusivos (GOUESBET, 2013).

Na sequência, Wu (1950) também citou o experimento de R.C. Hanna (1948)³³, realizado no laboratório Cavendish da universidade de Cambridge, na

29 O experimento foi apresentado em 21 de novembro de 1949 e publicado 1 de janeiro de 1950.

30 Wheeler, J.A. 1946. Polyelectrons. *Annals of the New York Academy of Sciences* **48**: 219-238.

31 Dirac, P.A.M. 1930. On the annihilation of electrons and protons. *Camb. Phil. Soc.* **26**: 361-375.

32 E. Bleuler and H. L. Bradt, 1948. Correlation between the States of Polarization of the Two Quanta of Annihilation Radiation *Phys. Rev.* **73**, 1398 (1948).

33 Polarization of Annihilation, *Nature* volume 162, page 332 (28 august 1948).

Inglaterra, em que, ainda que utilizando contadores mais eficientes, os resultados obtidos eram diferentes do esperado. Gouesbet (2013) indica os resultados encontrados por Hanna (1948) como incompatíveis com a MQ. Enquanto o resultado dos experimentos de Hanna estava com uma taxa de aproximadamente de 10% a 28% abaixo do resultado previsto teoricamente, os resultados de Bleuler e Bradt apresentava um valor de aproximadamente 12% acima do previsto teoricamente (DUARTE, 2012). Por conta das incoerências nos trabalhos anteriores, Wu justificou a necessidade de realização de outro experimento, desta vez, utilizando detectores mais eficientes e condições mais favoráveis (WU; SHAKNOV, 1950).

Após a justificativa de um novo experimento, na sequência, o artigo apresenta a maneira com que o experimento que ela realizou, juntamente com Shaknov, foi conduzido. O aparato consistia em um bloco de chumbo em que dutos colimavam a radiação emitida. No centro a fonte de radiação em que os pares de fotos eram produzidos e nas extremidades são posicionados os cristais de cintilação, associados aos fotomultiplicadores que converte a detecção dos fótons em pulsos de corrente elétrica. São explicitados os detalhes associados ao aparato experimental e aos procedimentos, bem como o tempo de duração de 30 horas contínuas para a realização do experimento, o qual foi realizado no laboratório Pupin de física da universidade de Columbia, em NY.

A pesquisadora, no texto, justifica ainda a utilização de cristais de antraceno para analisar a direção da polarização dos fótons produzidos na aniquilação. No experimento foi utilizado um contador de cintilação cerca de dez vezes mais eficiente que o convencional e que apresentava resultados confiáveis. Conseqüentemente, houve um aumento confiável também na taxa de contagem das cintilações, que indicava a localização da radiação espalhada (WU; SHAKNOV, 1950). Enquanto um detector era mantido fixo, outro detector foi posicionado em ângulos de 0° , 90° , 180° e 270° . Observava-se uma taxa de coincidência de detecção de fótons, para ângulos perpendiculares, da ordem de quatro por minuto (WU; SHAKNOV, 1950).

É importante destacar que, quando chegou à Universidade de Columbia, em 1944, ainda vinculada ao projeto Manhattan, Wu trabalhou no aprimoramento do contador de partículas radioativas, o contador Geiger-Muller (GM), desenvolvendo um contador de cintilação com eficiência cerca de dez vezes maior do que o GM. O

aprimoramento e a utilização de um contador de cintilação mais eficiente, no experimento WS, foi extremamente importante para possibilitar obtenção de resultados que corroboravam a teoria de pares de Dirac, diminuindo, assim, significativamente o erro associado à medida para a margem de 0,08 (WU; SHAKNOV, 1950). Os dados obtidos no experimento corroboraram a hipótese de que dois fótons de radiação emitidos a partir da aniquilação elétron pósitron seriam polarizados em ângulos retos, garantido, assim, alguma relação entre eles.

Destacamos, ainda, que o experimento de Wu e Shaknov, apresentado em um artigo de uma única página, foi extremamente eficaz a ponto de não mais precisar de discussões futuras a respeito da previsão da eletrodinâmica quântica que ela havia se proposto a verificar (WHITAKER, 2016).

4. A RELEVÂNCIA DO EXPERIMENTO WS PARA O TRABALHO DE BOHM

Em detrimento da interpretação de Copenhague, na década de 50, surge uma proposta de reinterpretação da mecânica quântica a partir dos trabalhos do físico teórico, norte americano, David Bohm (FREIRE, 2015). Nesse período, o debate em torno da proposta de Bohm era estabelecer uma teoria determinística para a MQ análoga à da Mecânica Clássica. Na teoria quântica, associada à interpretação de Copenhague, o princípio da incerteza apresenta a impossibilidade de determinar simultaneamente duas propriedades de um sistema quântico como momento e posição, impede a sua classificação enquanto uma teoria determinística. No entanto, apresentando uma interpretação alternativa à interpretação de Copenhague, a ideia de D. Bohm era assegurar que a teoria quântica pudesse ser determinística (FREIRE, 2014 p. 21). Segundo Bohm, esta interpretação "fornece uma estrutura conceitual mais ampla do que a interpretação usual, porque possibilita uma descrição precisa e contínua de todos os processos, mesmo no nível atômico". (BOHM apud FREIRE, 2014, p. 21)

Um grande feito de Bohm foi apresentar uma interpretação causal, alternativa à interpretação de usual de Copenhague, no sentido de garantir a existência de variáveis adicionais. O artigo de Bohm possuía implicações filosóficas que criticavam a interpretação usual da MQ. Bohm acusava a interpretação usual de negligenciar a

possível existência de propriedades que, até o momento, não era possível de ser observada. O principal motivo para essa negligência era o caráter positivista e empirista da MQ usual e defendia o realismo, descartado pela complementaridade. A proposta teórica de Bohm foi capaz de levar às mesmas previsões que a MQ usual, inserindo variáveis no sistema quântico e nos aparelhos de medida, sendo, portanto, uma interpretação alternativa à ideia de complementaridade (FREIRE, 2014).

A reação negativa dos físicos à proposta de Bohm apareceu, ainda em seu rascunho, por físicos como Pauli (FREIRE, 2014 p-32) e, após a publicação, com fortes críticas dos físicos Niels Bohr e Léon Rosenfeld, que eram um dos defensores da mecânica quântica ortodoxa. No entanto, o apoio à sua proposta também teve nomes como Louis De Broglie e Jean-Pierre Vigier, além do físico argentino Mario Bunge e do brasileiro Jayme Tiomno (FREIRE, 2014). A interpretação da mecânica quântica de Bohm, contudo, pode influenciar o debate referente à teoria quântica que durou por muito tempo.

Em meados da década de 30, a maioria dos físicos não considerava que as questões associadas a fundamentos da MQ mereciam muita atenção, ou que o que realmente precisava ser discutido em termos de fundamentos já havia sido feito por Bohr e outros físicos (FREIRE, 2014). O historiador Helge Kragh (2002) argumenta que a grande maioria dos físicos parecia desinteressada em resolver problemas filosóficos e que esse tipo de trabalho não tinha relevância para o trabalho que eles realizavam. Foi na década de 60 que o debate em torno do EPR se tornou mais conhecido. O EPR se encontra entre os dez maiores trabalhos já publicados pela *Physical Review*, sendo considerado um argumento central para os debates que se desenvolveram, e que ainda permanecem, a respeito da teoria quântica (FINE, 2017).

A verificação de uma teoria, a partir de resultados experimentais é um dos elementos mais importantes para validar uma das etapas que compõem o método científico. Uma teoria obtém notoriedade quando é possível confrontar com os resultados experimentais, obtendo resultados satisfatórios. Na ideia de sustentar empiricamente os seus argumentos, Bohm encontrou no experimento de Wu de 1950 uma prova experimental que colocava em prática as ideias contidas no EPR, concebida inicialmente enquanto uma experiência de pensamento. Bohm, em 1951, havia apresentado uma versão para o EPR mais fácil de compreender, e no lugar de utilizar duas quantidades físicas como a posição e o momento, sugerida originalmente

no EPR, Bohm recomenda a utilização de uma única quantidade física, que se apresenta quando a partícula é submetida a um campo magnético, o *Spin*.

Bohm, então, pode utilizar uma única variável associada a cada uma das partículas que podiam estar separadas uma da outra, de maneira que a medida do *spin* de uma partícula pudesse ser verificada sem interferir na outra partícula, tornando a compreensão do EPR mais fácil. Após a versão de Bohm referente ao EPR, alguns autores acrescentam ao acrônimo EPR, a letra B para se referir à versão introduzida por Bohm que possibilitaria mais facilmente a realização de um experimento nos laboratórios ficando conhecido como EPRB (ACZEL, 2002).

Com base nos dados cientométricos, nenhum dos onze artigos que citaram o experimento de Wu de 1950, até o ano de 1957, havia se preocupado em discutir o EPR ou a questão das variáveis ocultas. Depois de sete anos, o experimento de Wu foi revisitado teoricamente. Bohm e seu assistente de pesquisa Yakir Aharonov, da universidade de Haifa, em Israel, discutiram a ideia de que os fótons do experimento WS estavam em um estado de entrelaçamento. O experimento WS tinha produzido a primeira evidência de fótons entrelaçados a partir da aniquilação de pósitrons em 1950. No entanto, o reconhecimento tardio da sua importância veio apenas em 1957 por Bohm e Aharonov (WHITAKER, 2016; ACZEL, 2002)

Para além da situação de fótons entrelaçados, Bohm e Aharonov (1957) apresentaram ainda o experimento de Wu, como a primeira prova experimental para verificar a experiência de pensamento do EPR, proposto há duas décadas. A partir da análise de alguns artigos, é possível verificar a persistência de Bohm em defender seu argumento a respeito do experimento de Wu e Shakhnov de 1950. A publicação do primeiro artigo de Bohm apresentando o experimento de Wu e Shakhnov foi feita em 1957 e trazia o título: *Discussion of Experimental Proof for the Paradox Einstein, Rosen and Podolsky* que tinha em seu resumo a seguinte descrição:

É dada uma breve revisão do significado físico do paradoxo de Einstein, Rosen e Podolsky, e é demonstrado que envolve uma espécie de correlação das propriedades de sistemas não interativos distantes, o que é bastante diferente dos tipos de correlação previamente conhecidos. Uma hipótese ilustrativa é considerada, o que evitaria o paradoxo, e que ainda seria consistente com todos os resultados experimentais que foram analisados até à data. Contudo, é demonstrado que já existe uma experiência cujo significado em relação a este problema ainda não foi explicitamente publicado, mas que é capaz de provar que essa resolução sugerida do paradoxo (bem como uma classe muito ampla de tais Resoluções) não é sustentável. Assim, esta experiência pode ser

considerada como a primeira prova empírica clara de que os aspectos da teoria quântica discutidos por Einstein, Rosen e Podolsky representam propriedades reais da matéria. (BOHM; AHARONOV, 1957, p. 1 - tradução nossa).

No artigo Bohm apresentou os dados obtidos por Wu e Shakhov em uma tabela, explicando o resultado e associando-os a correlações à distância, como sugere o argumento EPR. A afirmação de Bohm associando o experimento WS ao paradoxo EPR teve repercussão impulsionando o debate para questionar a real possibilidade de verificação do EPR a partir do experimento WS. Três anos mais tarde, em março de 1960, dois autores do departamento de física do Instituto de Tecnologia de Israel em Haifa, Asher Peres e Singer, publicaram o artigo: *On possible experimental tests for the paradox of Einstein, Podolsky and Rosen* onde apresentam que o argumento de Bohm referente ao experimento de Wu não é válido e propõem outros experimentos:

A fim de prevenir o paradoxo bem conhecido de Einstein, Podolsky e Rosen, algumas modificações podem ser introduzidas na mecânica quântica, ao longo de linhas pioneiras por Furry. Estas modificações, obviamente, têm de ser testadas experimentalmente. Há algum tempo, Bohm e Aharonov alegaram que uma experiência de Wu e Shakhov (na correlação de polarizações de fótons de aniquilação) pode ser considerada como uma prova empírica contra a hipótese de Furry. No entanto, uma análise cuidadosa das propriedades dos fótons mostra que eles não são adequados para formular o paradoxo de Einstein, Podolsky e Rosen, de modo que o argumento de Bohm e Aharonov contra a hipótese de Furry não é válido. Alguns outros testes experimentais possíveis são propostos. (PERES; SINGER, 1960, p. 1 – tradução nossa).

A convicção de Bohm, no entanto, se faz presente. No mesmo ano, em setembro, em resposta ao artigo de Peres e Singer, Bohm escreveu, explicitamente, outro artigo com o título: *Further discussion of possible experimental tests for the paradox of Einstein, Podolsky and Rosen*. Em seu resumo, o texto trazia a seguinte discussão:

Em um artigo anterior, sugerimos a experiência de Wu-Shakhov sobre a radiação de aniquilação do pósitronio como um teste para o paradoxo de Einstein, Podolsky e Rosen. Neste artigo, respondemos a certas críticas a nossas conclusões, levantadas por Peres e Singer. Essas críticas são mostradas como errôneas baseadas em uma interpretação incorreta da polarização da radiação eletromagnética no domínio quântico. (BOHM; AHARONOV, 1960, p. 1 – tradução nossa).

Para Bohm, o experimento de Wu indicava o caminho para novas possibilidades de experimentação, que conduziria os físicos experimentais a encontrarem uma resposta para as questões que envolviam a teoria quântica, a exemplo da não localidade e da teoria das variáveis ocultas locais. As questões referentes ao EPR vieram se acomodar aparentemente com o trabalho teórico de John S. Bell (1964) que indicava a possibilidade de verificação da existência ou não de variáveis escondidas, que supostamente completariam a MQ, através de experimentos que foram desenvolvidos por nomes como John Clauser, Abner Shimony, Michael Horne, Alain Aspect, Stuart Jay Freedman e outros.

Apesar do experimento WS não servir enquanto uma prova experimental para a verificação das variáveis ocultas, ele contribuiu significativamente enquanto precursor dos experimentos envolvendo o fenômeno do entrelaçamento, servindo de ponto de partida para os físicos experimentais, já que o experimento apresentava a questão da não localidade e corroborava com a mecânica quântica. A comprovação mais conclusiva do fenômeno do entrelaçamento quântico veio com os trabalhos de John Clauser e Stuart Freedman, em 1972, (ACZEL, 2002). A contribuição desses experimentos e outros desencadearam em avanços que resultaram na segunda revolução quântica.

5. A SEGUNDA REVOLUÇÃO QUANTICA

O fenômeno do entrelaçamento quântico se mostra tão relevante para a ciência que o físico francês Alain Aspect, premiado por seus trabalhos experimentais associados ao EPR e o teorema de Bell, cunhou o termo Segunda revolução Quântica para considerar a década de 60 como um momento de mudança na física e de grande avanço tecnológico (FREIRE, 2014). A habilidade experimental dos físicos manipularem individualmente sistemas quânticos a exemplo dos elétrons e fótons também fazem parte desta revolução na física. Entretanto, compactuamos com Freire (2014) ao apresentar as origens desta segunda revolução a partir da década de 50 quando interpretações alternativas à de Copenhague ganham notoriedade, principalmente a partir do trabalho de físicos considerados como dissidentes (FREIRE, 2014). E destacamos ainda a contribuição do que ficou conhecido como a primeira geração de experimentos que tratavam do fenômeno.

De maneira semelhante à primeira revolução quântica, que se referencia ao próprio advento e desdobramentos da MQ em meados da década de 20, a segunda revolução quântica também teve seu desenvolvimento de maneira gradual. A própria cultura material, associada às técnicas e a instrumentação disponível à época para a obtenção de resultados significativos, teve seu avanço gradualmente. Se pensarmos na segunda revolução quântica com base nos experimentos, tendo o fenômeno do entrelaçamento enquanto um dos principais elementos a ser desenvolvido, é perceptível a fragmentação desta teoria em algumas gerações de experimentos. O grande motivador a apresentar os experimentos que contribuíram para a segunda revolução quântica divididos em gerações é a forma com que os pares de fótons emaranhados são produzidos, além das técnicas de detecção e do aparato experimental que se desenvolveu ao longo dos anos, possibilitando resultados cada vez mais conclusivos.

A primeira geração dos experimentos apresenta os primeiros resultados no final da década de 40, com os trabalhos de Bleuler (1948) Hanna (1948) e Vlasov (1949) avançando até a década de 50 com os trabalhos de WS (1950), Hereford (1951) e Bertolini (1955). Para alguns autores, essa geração é considerada a geração zero dos experimentos que obtém o fenômeno do entrelaçamento a partir da radiação de aniquilação e irão servir de base para experimentos futuros. Trata-se de experimentos que corroboram a MQ. No entanto, a corroboração de uma teoria não necessariamente é capaz de validá-la (GOUESBET, 2013). A segunda geração obtém o par de fótons emaranhados a partir de laser sintonizável, que excitavam as amostras atômicas, desenvolvidos por nomes como Aspect e E. Fry (BISPO et al., 2013). Essa, em detrimento à primeira, se volta às questões da MQ envolvendo o fenômeno do entrelaçamento associado a discussões referentes ao EPRB, e para verificar experimentalmente a TVOL. A terceira geração, já identificada por experimentos voltados para testar as desigualdades de Bell, a partir de 1988, produzia fótons emaranhados a partir da interação de fótons emitidos por laser interagindo com cristais não lineares (BISPO et al., 2013).

Na tentativa de verificar a validade dos aspectos da mecânica quântica, esta teoria foi submetida a diversos testes, dentre os quais se destaca o teorema de Bell. Na década de 60, uma família de resultados teóricos que mostravam a impossibilidade de interpretação da MQ a partir de uma concepção realista local, foi

apresentada e ficou conhecida como Teorema de Bell. O nome está associado ao físico teórico irlandês, John Stewart Bell que propôs esses resultados no trabalho de 1964³⁴ e que foi capaz de transformar os estudos referentes à teoria quântica (SHIMONY, 2017).

O trabalho de Bell consistia em apresentar que a MQ não poderia ser interpretada a partir das TVOL, pois esta configuração violaria as desigualdades que foram apresentadas em seu trabalho teórico. Em outras palavras se a MQ é correta, partículas entrelaçadas devem satisfazer ao teorema de Bell (GOUESBET, 2013). Os primeiros testes experimentais que buscaram testar as desigualdades de Bell apresentariam resultados mais conclusivos a respeito da necessidade ou não de utilização da TVOL que completariam a MQ, conforme apresentado no EPR. Os testes experimentais foram realizado por Clauser et al. (1969)³⁵ e posteriormente por Clauser e Horne (1974)³⁶, Aspect (1983)³⁷ e Mermin (1986)³⁸ (SHIMONY, 2017).

O teorema de Bell se apresenta enquanto um marco para teoria quântica, inclusive no seu papel indispensável na segunda revolução. O teorema de Bell e os experimentos que a partir dele se desenvolveram, possibilitaram um novo campo de estudo da física que começava a se consolidar: a informação quântica. Andrew Whitaker (2016), no livro que trata da biografia de Bell, apresenta uma seção na qual traz os primeiros responsáveis pelos experimentos que levaram Bell a formular a sua teoria quântica. O experimento de Wu e Shakhov aparece como o primeiro a produzir feixes de fótons entrelaçados, tendo como objetivo verificar a predição da eletrodinâmica quântica em que dois fótons seriam polarizados em ângulos retos.

Teoricamente, o trabalho de Wu foi revisitado por Bohm e Aharanov, visto que, no artigo de 1957, apresentaram a superposição da função de onda em termos

34 Bell, J.S. On the Einstein-Podolsky-Rosen paradox. In: *Physics*, 1: 195–200, 1964.

35 Clauser, J.F., Horne, M.A., Shimony, A., and Holt, R.A. Proposed experiment to test local hidden-variable theories. *Physical Review Letters*, 23: 880–884, 1969.

36 Clauser, J.F. and Horne, M.A. Experimental consequences of objective local theories. In: *Physical Review D*, 10: 526–535, 1974.

37 Aspect, A. *Trois tests expérimentaux des inégalités de Bell par mesure de corrélation de polarisation de photons*, Orsay: Thèse d'Etat, 1983.

38 Mermin, N.D. Generalizations of Bell's Theorem to higher spins and higher correlations. In: *Fundamental Questions in Quantum Mechanics*, L.M. Roth and A. Inomato (eds.), New York: Gordon and Breach, 7–20, 1986.

do estado de polarização dos fótons. O autor indica o experimento de Wu localizado na primeira geração de experimentos que conduziram ao entrelaçamento. Freire (2014) apresenta as ideias teóricas de Bohm, influenciando o argumento desenvolvido por John Bell para o teorema que leva o seu nome. Se estabelecermos um análogo, em termos do desenvolvimento do aparato experimental utilizado para verificar o teorema de Bell, é percebida a contribuição do trabalho de Wu nos experimentos de John Clauser e Abner Shimony, que indicam o experimento WS enquanto a primeira referência para se debruçar sobre os experimentos associados ao teorema de Bell.

O físico norte americano John Clauser, obteve o seu título de doutorado na universidade de Columbia, onde Wu trabalhava enquanto pesquisadora e docente. Clauser, que inicialmente começou a trabalhar de maneira isolada, em relação a outros físicos como Shimony que também estava trabalhando no tema, juntamente com Michael Horne e Richard Holt, buscava uma configuração experimental para testar a proposta teórica das desigualdades de Bell, que revelariam ou não a existência de variáveis escondidas, sugeridas no artigo EPR. No entanto, os detalhes técnicos de como realizar o experimento não estavam evidentes no artigo de Bell de 1964. Clauser, enquanto físico experimental, buscou investigar experimentos que podem ter sido ignorados por Bell e que pudessem ajudar a compreender a configuração experimental. O artigo do teorema de Bell não indicava de maneira precisa os detalhes pela qual os experimentalistas deveriam realizar os experimentos. O único trabalho que Clauser encontrou, que indicava um caminho, foi o experimento WS (1950), no entanto, não abordava de maneira completa o problema da correlação.

Clauser chegou a considerar a importância do experimento de Wu quando foi ao seu encontro na universidade de Columbia, a grande dúvida que Clauser tinha em relação ao experimento era se Wu havia realizado as medidas de correlação entre os fótons para outros ângulos, além dos que foram apresentados no trabalho (ACZEL, 2002). A consulta de Clauser a Wu foi importante, pois, caso ela tivesse realizado as medidas de polarização para ângulos intermediários, ele poderia ter os resultados experimentais que poderia testar as desigualdades de Bell. Essas medidas, no entanto, não poderiam ser realizadas por Wu, pois os fótons obtidos a

partir da aniquilação pósitron-elétron possuem alta energia não sendo capaz de fornecer informações suficientes referentes à polarização entre pares.

A atitude de Wu foi indicar a Clauser seu estudante de pós-graduação, Leon Kasday, que estava refazendo seus experimentos. Os resultados do experimento foram publicados em 1975 por Kasday, com a colaboração de Wu e Ullman (KASDAY, L. R.; ULLMAN, J. D.; WU, C. S., 1975) O experimento foi capaz de corroborar a mecânica quântica, no entanto, as correlações não foram explicitamente medidas, havendo a necessidade de inferir pressupostos auxiliares, não necessariamente verificados, o que acabou por enfraquecer seus resultados. Contudo, argumentam que, apesar de não produzir evidências capazes de testar as desigualdades de Bell, o experimento apresenta fortes evidências contra as Teorias das Variáveis Ocultas (DUARTE, 2013).

De maneira semelhante a Clauser, outro físico experimental, Mike Horne, estudante de doutorado que trabalhava com Shimony, também buscou os trabalhos de Wu. Até a chegada de Horne, Shimony avançou pouco nos estudos referentes ao teorema de Bell, Shimony, assim como Horne, considerava a teoria quântica e as sugestões de testes experimentais como contribuições das mais importantes para física. Ao procurar Shimony, na intenção de discutir alguns problemas no campo na mecânica estatística, Horne conheceu também dois artigos de Bell que o deixou entusiasmado. Shimony percebeu a habilidade de Horne e então, o convidou para realizar experimentos do tipo EPRB e começaram uma parceria nas questões associadas aos fundamentos da MQ (FREIRE, 2014; WHITAKER, 2016).

Uma das primeiras tarefas de Horne foi buscar experimentos da primeira-geração e verificar se esses experimentos mantinham a posição dos detectores inalterada. Outra busca foi pelos experimentos da segunda geração que deveriam fixar a posição dos detectores enquanto as partículas entrelaçadas estivessem em voo. Horn revela que: "A primeira coisa que fiz depois de receber a missão de Abner foi olhar os resultados de Wu e Shakhov" (HORNE apud ACZEL, 2002 p.159-160). Mais uma vez, o trabalho de Wu se apresenta enquanto extremamente importante. Horne reconheceu o experimento WS, porém havia percebido a dificuldade em verificar a polarização dos fótons, por conta da sua alta energia. Para ele, realizar os experimentos na faixa da luz visível traria mais resultados.

Percebendo que poderia obter um aliado nas investigações referentes à teoria quântica, Shimony convidou Clauser a trabalhar com ele, juntamente com Mike Horne e Richard Holt. Juntos publicaram um artigo, propondo um teste que poderia testar a consistência entre a MQ e a TVOL e ficou conhecido pelo acrônimo CHSH³⁹, o artigo adequava o teorema de Bell a um experimento passivo de ser realizado (FREIRE, 2014). Os primeiros físicos a apresentar resultados experimentais bem-sucedidos referente ao teorema de Bell foram John Francis Clauser e Stuart Jay Freedman em 1972, oito anos depois da proposta teórica (BISPO, 2013).

Mais recentemente, o experimento de 1950 foi reconhecido como o precursor do entrelaçamento quântico. Em 2012, o físico chileno Francisco Javier Duarte premiado, por suas contribuições à engenharia ótica pelo *Paul F. Forman Engineering Excellence Award* em 1995 e com a *Medalha David Richardson* da *Optical Society of America* em 2016 apresentou um artigo intitulado: *The origin of quantum entanglement experiments based on polarization measurements* em que apresenta diversos artigos que surgiram no final da década de 40, que estão associados ao fenômeno de entrelaçamento quântico, porém são frequentemente ignorados ou não referenciados a exemplo do experimento de Wu e Shaknov, Ward.

Ainda neste trabalho, o autor apresentar um panorama dos trabalhos mais citados começando pelo renomado artigo de 1935 (Paradoxo EPR), passando pelo trabalho de Bohm e Aharanov em 1957 e finalmente chegando ao trabalho do irlandês John Bell em 1964. Duarte (2012) argumenta a origem dos trabalhos teóricos do entrelaçamento quântico publicado por John Archibald Wheeler em seu artigo intitulado *Polyeletrons*, no qual referencia a teoria de pares proposta por Paul Dirac (1930). A partir desse trabalho, Wheeler apresenta a essência do entrelaçamento quântico. Em 1949 Ward argumenta sobre o trabalho de Wheeler e aponta uma negligência associada a uma derivação que apresentava valores discrepantes. O mesmo erro foi percebido por Snyer Pasterneck e Hornbostel independentemente de Ward (DUARTE, 2012).

Assim, o esquema teórico estava apresentado. A pendência agora era realizar os experimentos. Em 1948, os físicos R. C Hanna e Ernst Bleuler juntamente com H. L. Bradasse debruçaram sobre a teoria e realizaram os experimentos. O detalhe é

39 CLAUSER, John F. et al. Proposed Experiment to Test Local Hidden Variable Theories. In: *Physical Review Letters*, v. 24, n. 10, p. 549, 1970.

que os experimentos apresentaram valores afastados do que estava previsto teoricamente. Em 1950, o experimento de Wu e Shaknov, apresentou uma taxa de resultados com valores de aproximadamente 2% acima que o valor previsto. O autor argumenta que os detalhes teóricos foram apresentados em 1947 e comprovados experimentalmente em 1950 com o trabalho WS (DUARTE, 2012)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presença das mulheres na ciência é historicamente minoritária em relação aos homens. Ainda sim, suas contribuições são frequentemente ofuscadas e/ou negligenciadas quando não inteiramente apropriadas por personagens masculinos. Compreender os motivos pelos quais as mulheres não são percebidas na ciência é ainda o foco de investigação de diversas pesquisadoras. Apresentar uma história da ciência envolvendo a participação de mulheres é uma maneira de dar visibilidade à contribuição de mulheres para a ciência, no sentido de garantir mais argumentos voltados para discussões de gênero. Ao observarmos livros que tratam da história da MQ, a exemplo dos livros de Helge Kragh (2002), Max Jammer (1974) e Olival Freire (2014), não percebemos a preocupação dos autores em apresentar o experimento de Wu enquanto relevante para a história da MQ. E, quando o fazem, limitam-se apenas a citar o experimento, sem considerar a sua repercussão.

Conforme discutido, o primeiro experimento associado ao fenômeno do entrelaçamento quântico foi desenvolvido por uma mulher, dentro de uma área majoritariamente masculina. Foi ainda esse experimento, a figurar uma prova para o EPR a partir das ideias de D. Bohm. Este último pôde contribuir para o desenvolvimento do conhecido Teorema de Bell, que propunha testes experimentais para verificar a validade da MQ. Como vimos, os primeiros testes experimentais tinham como referência o trabalho de Wu de 1950. Foi, portanto, nesse contexto que o fenômeno do entrelaçamento quântico ganhou notoriedade servindo como principal elemento para o desenvolvimento de um novo campo de pesquisa, a Informação Quântica, derivado da Segunda Revolução Quântica.

Observarmos Wu enquanto uma figura feminina na física com diversas contribuições inclusive na mecânica quântica. É importante questionarmos ainda a predominância de figuras femininas na física experimental em detrimento da área da

física teórica, não no sentido de atribuir critérios de importância, mas de verificar até que ponto a comunidade física reconhece e/ou aceita mulheres trabalhando em física teórica. A habilidade experimental de Wu, vinculada à capacidade de verificar experimento com a teoria, lhe garante uma posição relevante ao tratarmos da história da física e, conseqüentemente, da história da mecânica quântica.

Ainda assim, entretanto, verificamos a não valorização do experimento de Wu por parte dos historiadores da teoria quântica, mais preocupados com personagens tradicionais, conseqüentemente, mais uma mulher e sua contribuição deixa de ser apresentada. A questão de gênero deve ser reivindicada no sentido de apresentar episódios que contribuem para dar visibilidade às mulheres que contribuíram para a ciência e, em particular, para a mecânica quântica. Não podemos perder de vista a contribuição de mulheres para a ciência, ao contrário, se pretendemos garantir à ciência um status mais justo e imparcial, a história das mulheres precisa ser contada.

REFERÊNCIAS

- ACZEL, A. D. *Entanglement: the greatest mystery in physics*. Raincoast Books, 2002.
- BADINO, M. What Have the Historians of Quantum Physics Ever Done for Us? In: *Centaurus*, v. 58, n. 4, p. 327-346, 2016.
- BISPO, W. F.; DAVID, D. F. G.; FREIRE JR, O. As contribuições de John Clauser para o primeiro teste experimental do teorema de Bell: uma análise das técnicas e da cultura material. In: *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 35, n. 3, p. 3603, 2013.
- BOHM, D., 1951, *Quantum Theory*, New York: Prentice Hall
- BOHM, D.; AHARONOV, Y. Further discussion of possible experimental tests for the paradox of Einstein, Podolsky and Rosen. In: *Il Nuovo Cimento (1955-1965)*, v. 17, n. 6, p. 964-976, 1960.
- _____. Discussion of experimental proof for the paradox of Einstein, Rosen, and Podolsky. In: *Physical Review*, v. 108, n. 4, p. 1070, 1957.
- CHIANG, T.C. *Madame Chien-Shiung Wu: The First Lady of Physics Research*. Tradução de Frank Wong Tang-Fong. World Scientific, 2014.
- DUARTE, F. J. The origin of quantum entanglement experiments based on polarization measurements. *The European Physical Journal H*, v. 37, n. 2, p. 311-318, 2012.
- DUARTE, F. J. *Quantum optics for engineers*. CRC Press, 2013.
- EINSTEIN, A.; PODOLSKY, B.; ROSEN, N. Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? In: *Physical review*, v. 47, n. 10, p. 777, 1935.
- FINE, A. The Einstein-Podolsky-Rosen Argument in Quantum Theory. In: *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Edward N. Zalta (ed.), 2017. Disponível em: <<https://plato.stanford.edu/archives/win2017/entries/qt-epr/>>. Acesso em: 2017.
- GOUESBET, G. *Hidden worlds in quantum physics*. Courier Corporation, 2013.
- HAMMOND, R. *Chien-Shiung Wu: Pioneering Nuclear Physicist*. [New York]: Chelsea House Publishers, 2009.
- JAMMER, M. *Philosophy of Quantum Mechanics: the interpretations of quantum mechanics in historical perspective*. 1974.

JOAS, Christian. Campos que interagem: física quântica e a transferência de conceitos entre física de partículas, nuclear e do estado sólido. In: FREIRE JR, Olival; PESSOA JR, Osvaldo; BROMBERG, Joan Lisa. *Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais*. Eduepb, 2011.

FREIRE JR, Olival. Das margens para o centro: Mudanças na pesquisa em fundamentos da mecânica quântica, 1950-1990. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 32, n. 2, p. 369-377, 2015.

FREIRE JR, Olival. *The Quantum Dissidents: Rebuilding the Foundations of Quantum Mechanics (1950-1990)*. Springer, 2014.

KASDAY, L. R.; ULLMAN, J. D.; WU, C. S. Angular correlation of compton-scattered annihilation photons and hidden variables. *Il Nuovo Cimento B (1971-1996)*, v. 25, n. 2, p. 633-661, 1975.

KRAGH, Helge. *Quantum generations: A history of physics in the twentieth century*. Princeton University Press, 2002. p. 216-217.

PATY, Michael. Construção do objeto e objetividade na física quântica In: FREIRE JR, Olival; PESSOA JR, Osvaldo; BROMBERG, Joan Lisa. *Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais*. Eduepb, 2011.

PERES, A.; SINGER, P. On possible experimental tests for the paradox of Einstein, Podolsky and Rosen. In: *Il Nuovo Cimento (1955-1965)*, v. 15, n. 6, p. 907-915, 1960.

PESSOA JR., O. *Conceitos de Física Quântica*, Volume II. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006

SHIMONY, A. Bell's Theorem. In: *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Edward N. Zalta (ed.), 2017. Disponível em: <<https://plato.stanford.edu/archives/fall2017/entries/bell-theorem/>>. Acesso em: nov. 2017.

SILVA, I.; FREIRE JUNIOR, O.; DA SILVA, A. P. B. O modelo do grande elétron: o background clássico do efeito Compton. In: *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 4, p. 4601, 2011.

WHITAKER, A. *John Stewart Bell and Twentieth-Century Physics: Vision and Integrity*. Oxford University Press, 2016.

WU, C. S.; SHAKNOV, I. The angular correlation of scattered annihilation radiation. In: *Physical Review*, v. 77, n. 1, p. 136, 1950.