



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

MÁRJORIE CARLA DOS SANTOS MACEDO DANTAS

**HISTÓRIAS CRUZADAS DE MULHERES NAS CIÊNCIAS:
DESCOBERTAS E OBSTÁCULOS EM BUSCA DE NOVOS
ELEMENTOS QUÍMICOS DA TABELA PERIÓDICA**

SALVADOR

2022

MÁRJORIE CARLA DOS SANTOS MACEDO DANTAS

**HISTÓRIAS CRUZADAS DE MULHERES NAS CIÊNCIAS:
DESCOBERTAS E OBSTÁCULOS EM BUSCA DE NOVOS
ELEMENTOS QUÍMICOS DA TABELA PERIÓDICA**

Dissertação de Mestrado 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 para obtenção do grau de Mestre em Ensino, Filosofia e História das Ciências.

Orientadora: Profa. Dra. Indianara Lima Silva.

SALVADOR

2022

Dantas, Márjorie Carla dos Santos Macedo.

Histórias cruzadas de mulheres nas ciências : descobertas e obstáculos em busca de novos elementos químicos da tabela periódica / Márjorie Carla dos Santos Macedo Dantas. - 2022.

75 f. : il.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Indianara Lima Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Salvador, 2022.

Programa de Pós-Graduação em convênio com a Universidade Estadual de Feira de Santana.

1. Mulheres na ciência - História. 2. Mulheres cientistas - Biografia. 3. Gênero e ciência. 4. Meitner, Lise - 1878-1968. 5. Noddack, Ida - 1896-1978. 6. Karlik, Berta - 1904-1990. 7. Perey, Marguerite - 1909-1975. 8. Tabela periódica dos elementos químicos. I. Universidade Federal da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências. II. Universidade Estadual de Feira de Santana. III. Título.

CDD 500.82 - 23. ed.

MÁRJORIE CARLA DOS SANTOS MACEDO DANTAS

**HISTÓRIAS CRUZADAS DE MULHERES NAS CIÊNCIAS:
DESCOBERTAS E OBSTÁCULOS EM BUSCA DE NOVOS
ELEMENTOS QUÍMICOS DA TABELA PERIÓDICA**

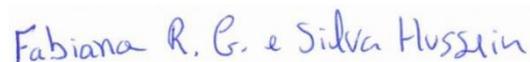
Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, da Universidade Federal da Bahia e da Universidade Estadual de Feira de Santana, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Ensino, Filosofia e História das Ciências.

Salvador, 29 de agosto de 2022.

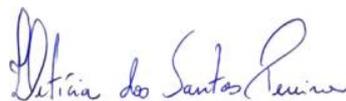
Banca Examinadora



Professora Doutora Indianara Lima Silva



Professora Doutora Fabiana Roberta Gonçalves e Silva Hussein



Professora Doutora Leticia dos Santos Pereira



Professora Doutora Maria Helena Roxo Beltran

A minha família e amigos pelo incentivo e carinho.
A Valdete Martins dos Santos, avó querida, e Suane Costa Silva, irmã
querida, com amor e saudade.

AGRADECIMENTOS

Durante todos esses anos muitas pessoas especiais chegaram e partiram. Mas, tenho a certeza de que todas essas pessoas, de alguma maneira, contribuíram para a construção da minha história e deixaram lembranças de momentos inesquecíveis.

Aos meus pais, Cristóvão Macedo Dantas e Cristiane dos Santos Macedo Dantas, por todo o carinho e dedicação. Aos meus irmãos, Bruno, Brenda e Marcela, pelo cuidado e a parceria com o bebê de vocês. Aos meus sobrinhos Cristóvão Neto, Ana Catharina, Bruno Jr., Laura, Lara, Valentina e Ravi, por me ensinarem a amar incondicionalmente. Ao meu companheiro de vida, Ulisses Santos do Nascimento, por todo amor e incentivo. A Olivia Santos do Nascimento, pelo apoio e motivação. A minha sogra Lusinete e meu sogro José Urbano, por me receberem tão bem na família de vocês. A todos os meus familiares, por serem o início e a continuidade da nossa “árvore bonita”.

Aos meus amigos e amigas, em especial Rubian Melo, Renata Alves e Jaqueline Bittencourt, por tornarem os meus dias mais alegres, minha risada mais alta e minha vida mais feliz. Aos filhos e filhas dos meus amigos, em especial Bernardo, Guilherme, Beatriz e Martim, por serem a minha alegria diária e esperança de um futuro melhor.

À professora Dra. Indianara Lima Silva, feminista, pesquisadora, orientadora e historiadora da Ciência dedicada e afetuosa. Fonte de inspiração, sabedoria e competência. Agradeço por todos os seus ensinamentos e comentários valiosos sobre o meu trabalho.

Ao professor Dr. Olival Freire Jr., por ter aceitado fazer parte da minha banca avaliadora e por todos os ensinamentos durante os componentes curriculares em que tive a honra de ser sua estudante. À professora Dra. Letícia, por ter aceitado fazer parte da minha banca avaliadora e por seus comentários pertinentes e bem-humorados sobre o meu trabalho. Às professoras Dra. Fabiana Roberta Gonçalves e Silva Hussein e Dra. Maria Helena Roxo Beltran, por terem aceitado o convite para participar da banca examinadora dessa dissertação.

Ao Laboratório de História das Ciências - LAHCIC e ao Grupo Caburé por proporcionarem discussões importantes para minha formação. Aos colegas e novos amigos que conheci durante esses anos de mestrado, certamente vocês tornaram a vida

acadêmica mais divertida. Aos colegas e amigos do trabalho que fortaleceram a minha caminhada. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida para o desenvolvimento desta pesquisa. Por fim, agradeço a todas as pessoas que cruzaram meu caminho nesses últimos anos.

DANTAS, Márjorie Carla dos Santos Macedo Dantas. Histórias Cruzadas de Mulheres nas Ciências: Descobertas e Obstáculos em Busca de Novos Elementos Químicos da Tabela Periódica. 2022. 75 f. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Faculdade de Educação, Universidade Federal da Bahia – UFBA. Salvador – BA, 2022.

RESUMO

O presente trabalho discute as contribuições das mulheres cientistas para a construção da tabela periódica e preenche lacunas existentes na História das Ciências no que diz respeito à visibilidade e reconhecimento das descobertas realizadas por elas. O ano de 2019 foi escolhido pela Organização das Nações Unidas – ONU como o ano internacional da tabela periódica, coincidindo com 150 anos da descoberta da periodicidade dos elementos por Dmitri Mendeleev (1834-1907). Com isso, periódicos se dedicaram a publicar a história do desenvolvimento da tabela periódica. No entanto, percebe-se que muitos cientistas homens são citados como colaboradores, mas as contribuições das mulheres são pouco exploradas. De acordo com o levantamento bibliográfico realizado, mais de quarenta mulheres cientistas contribuíram para o processo de construção da tabela periódica a partir da descoberta de novos elementos e/ou suas propriedades. Abordaremos neste trabalho as contribuições de quatro cientistas: Lise Meitner (1878-1968), Ida Noddack (1896-1978), Berta Karlik (1904-1990) e Marguerite Perey (1909-1975). A partir de uma biografia coletiva pautada na história de vida dessas mulheres, considerando o gênero com uma categoria de análise, pretende-se dar visibilidade às suas trajetórias acadêmicas e contribuições para a construção da tabela periódica. Por fim, por meio das histórias cruzadas dessas cientistas, foi possível identificar e refletir sobre as diversas opressões sofridas por elas, que conseqüentemente se tornaram obstáculos ao longo de suas carreiras, como, por exemplo, discriminação racial e de gênero, efeito Matilda e segregação territorial, hierárquica e institucional.

PALAVRAS-CHAVE: Lise Meitner (1878-1968), Ida Noddack (1896-1978), Berta Karlik (1904-1990) e Marguerite Perey (1909-1975), História das Mulheres na Ciência, Gênero e Ciência, Biografia Coletiva, Tabela Periódica dos Elementos Químicos.

DANTAS, Márjorie Carla dos Santos Macedo Dantas. *Crossed Histories of Women in Science: Discoveries and Obstacles in Search of New Chemical Elements of the Periodic Table*. 2022. 75 f. Masters dissertation. Postgraduate Program in Teaching, Philosophy and History of Sciences, Faculty of Education, Federal University of Bahia – UFBA. Salvador – BA, 2022.

ABSTRACT

The present work discusses the contributions of women scientists to the construction of the periodic table. It fills existing gaps in the History of Science concerning the visibility and recognition of their discoveries. The year 2019 was chosen by the United Nations - UN as the international year of the periodic table, coinciding with 150 years of the discovery of the periodicity of the elements by Dmitri Mendeleev (1834-1907). With this, periodicals dedicated themselves to publishing the history of the development of the periodic table. However, it is clear that many male scientists are cited as collaborators, but the contributions of women are little explored. According to the bibliographic survey, more than forty women scientists contributed to building the periodic table by discovering new elements and/or their properties. We will approach in this work the contributions of four scientists: Lise Meitner (1878-1968), Ida Noddack (1896-1978), Berta Karlik (1904-1990), and Marguerite Perey (1909-1975). A collective biography based on the life history of these women, considering gender as a category of analysis, is intended to give visibility to their academic trajectories and contributions to the construction of the periodic table. Finally, through the crossed histories of these scientists, it was possible to identify and reflect on the various oppressions they suffered that consequently became obstacles throughout their careers, such as racial and gender discrimination, the Matilda effect, territorial, hierarchical, and institutional segregation.

KEYWORDS: Lise Meitner (1878-1968), Ida Noddack (1896-1978), Berta Karlik (1904-1990) e Marguerite Perey (1909-1975), History of Women in Science, Gender and Science, Collective Biography, Periodic Table of Chemical Elements.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Primeira Tabela Periódica, na versão moderna, publicada por Dmitri Mendeleev	15
Figura 2 - Mulheres na Tabela Periódica	19
Figura 3 - Lise Meitner em 1959, com estudantes do Bryn Mawr College, Pensilvânia, EUA	30
Figura 4 - Walter e Ida Noddack	40
Figura 5 - Reação do decaimento radioativo e tabela com informações sobre os isótopos do elemento 85	51
Figura 6 - Berta Karlik e Trude Cless-Bernert	53
Figura 7 - Monumento a Berta Karlik localizado no pátio da Universidade de Viena .	55
Figura 8 - Marguerite Catharine Perey	57
Figura 9 - Reação de desintegração do actínio	59
Figura 10 - Manchete do Jornal Local, Nice-Matin, sobre a eleição de Perey à Academia Francesa de Ciências	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - As contribuições das mulheres para a tabela periódica entre os séculos XIX e XX	17
Tabela 2 - Ano da descoberta e/ou isolamento dos elementos químicos	23
Tabela 3 - As cientistas e seus grupos de pesquisa em radioatividade baseado em Rayner-Canham e Rayner-Canham (1997)	25
Tabela 4 - Histórias cruzadas das nossas personagens	64

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	13
CAPÍTULO I.....	22
1. LISE MEITNER: PROTACTÍNIO, FISSÃO NUCLEAR E MEITNÉRIO	27
1.1.BUSCA PELO PRECURSOR DO ACTÍNIO.....	31
1.2.A DESCOBERTA DA FISSÃO NUCLEAR.....	34
1.3.UMA REPRESENTANTE DA LUTA DAS MULHERES NA CIÊNCIA	37
2. IDA NODDACK E A DESCOBERTA DO TECNÉCIO E DO RÊNIO	39
2.1.CASAMENTO X CARREIRA CIENTÍFICA	43
2.2.A PRIMEIRA CIENTISTA A PROPOR A IDEIA DA FISSÃO NUCLEAR	46
3. BERTA KARLIK E OS ISÓTOPOS DO ASTATO.....	48
3.1.UMA REPRESENTANTE DOS ESTUDOS NUCLEARES PACÍFICOS	52
4. MARGUERITE PEREY E A DESCOBERTA DO FRÂNCIO	55
4.1.DE TÉCNICA EM QUÍMICA A QUÍMICA PREMIADA	60
5. HISTÓRIAS CRUZADAS: OBSTÁCULOS E DESCOBERTAS DAS NOSSAS PROTAGONISTAS	63
CONCLUSÃO.....	69
REFERÊNCIAS	70

INTRODUÇÃO

Antes de iniciar as discussões a respeito das temáticas que serão abordadas neste trabalho, sinto a necessidade de me situar. Sou mulher, negra, feminista e professora de Química; no entanto, durante toda a minha trajetória acadêmica de nível superior, não tive acesso aos debates e literaturas que abordavam o protagonismo das mulheres na ciência e na química, com exceção daquelas que auxiliaram seus respectivos maridos nas descobertas científicas. À vista disso, a ideia de pesquisar sobre as contribuições das mulheres para a tabela periódica surgiu a partir da oportunidade de estudar o capítulo do livro intitulado “Mulheres que Ganharam o Prêmio Nobel”. Esse livro foi produzido por Sharon Bertsch Mcgrayne (2001), e aborda o caso de Lise Meitner (1878-1968), uma física austríaca que trabalhou com radioatividade e física nuclear, além de ter participado da descoberta da fissão nuclear. No entanto, Meitner não recebeu os créditos por suas pesquisas. Anos após sua morte, foi homenageada com o elemento 109 da tabela periódica, nomeado *meitnério*.

Tal fato despertou meu interesse por essa temática. Ao aprofundar minhas pesquisas, percebi que o caso de Lise infelizmente não era o único – com raríssimas exceções, as histórias das cientistas que contribuíram para a construção da tabela periódica estão pautadas em opressões de gênero que as invisibilizaram. Sendo assim, a história dessas cientistas torna-se um cenário frutífero para se discutir ciência, gênero e sociedade.

O ano de 2019 foi escolhido pela Organização das Nações Unidas - ONU como o ano internacional da tabela periódica, coincidindo com 150 anos da descoberta da periodicidade dos elementos por Dmitri Mendeleev (1834-1907) e 100 da União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC). Com isso, algumas revistas se dedicaram a publicar a história do desenvolvimento da tabela periódica, a exemplo da *Nature International Journal of Science*, considerada a mais renomada revista semanal internacional que publica as principais pesquisas do campo de ciências e tecnologias, e das revistas Química Nova (QN) e Química Nova na Escola (QNEsc), as quais fazem parte da linha editorial da Sociedade Brasileira de Química (SBQ). A QN tem foco na publicação de resultados originais de pesquisa, métodos e técnicas da área de Química; a QNEsc, na divulgação das pesquisas da comunidade do ensino de Química brasileiro.

As diversas tabelas e diagramas produzidos ao longo do tempo foram tentativas de representar certas propriedades e semelhanças entre elementos químicos. Mendeleev estudou no principal Instituto Pedagógico de São Petersburgo e desenvolveu pesquisas sobre as propriedades, periodicidade e peso atômico dos elementos. Embora o químico russo não tenha sido o primeiro a propor o sistema periódico, sua versão causou enorme impacto na comunidade científica da época, tornando-o o grande nome da idealização do sistema periódico¹.

A primeira tabela periódica de Mendeleev foi publicada em 1869. Devido ao grande reconhecimento das ideias de Mendeleev, há muitas publicações sobre suas contribuições para a evolução do sistema periódico – temática à qual se dedicou durante longos períodos da sua carreira científica. Apesar de existirem espaços vazios na primeira publicação da tabela periódica, Mendeleev fez algumas previsões acerca de prováveis elementos ainda desconhecidos a partir das medidas dos possíveis pesos atômicos dos elementos, a exemplo da previsão dos pesos atômicos dos elementos escândio, gálio e germânio. A Figura 1 apresenta a primeira versão moderna da tabela periódica dos elementos químicos idealizada por ele. Nela, os espaços vazios representam as previsões de elementos químicos propostas por Mendeleev.

As lacunas da tabela periódica de Mendeleev impulsionaram a corrida pela descoberta de novos elementos químicos. Esta se beneficiou da descoberta do raios-X e da radioatividade na transição dos séculos XIX e XX. Nesse período, além do desenvolvimento de equipamentos e técnicas de laboratório importantes para a determinação de novos elementos e suas propriedades, ocorreu a descoberta do raio-X por Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), em 1895²; a descoberta da radioatividade por Marie Skłodowska-Curie (1867-1934), em 1896³; e as descobertas dos elementos

¹ O site da *Royal Society of Chemistry* cita aponta os principais cientistas que contribuíram para o desenvolvimento da tabela periódica, a saber: Antoine Lavoisier (1743-1794), Johann Döbereiner (1780-1849), Alexandre-Emile Béguyer de Chancourtois (1820-1886), John Newlands (1837-1898), Julius Lothar Meyer (1830-1895), Dmitri Mendeleev (1834-1907) e Henry Moseley (1887-1915). Disponível em: <https://www.rsc.org/periodic-table/history/about>. Acesso em 14 julho de 2021.

² Por conta dessa descoberta, Röntgen foi laureado com o Nobel de Física em 1901. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1901/summary/>. Acesso em: 27 de julho de 2021.

³ Por conta dessa descoberta, Marie Curie, Pierre Curie (1859-1906) e Antoine Henri Becquerel (1852-1908) foram laureados com o Nobel de Física em 1903. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1903/summary/>. Acesso em: 27 de julho de 2021.

radioativos rádio e polônio em 1898⁴. Os primeiros elementos radioativos encontrados após a descoberta da radioatividade foram o polônio, o rádio, o actínio e o radônio. Nesse sentido, vale salientar que, antes desses elementos, já tinham sido descobertos os elementos tório e urânio⁵.

Figura 1 - Primeira Tabela Periódica, na versão moderna, publicada por Dmitri Mendeleev

Fonte: Science History Institute⁶.

Diante da revisão de literatura realizada a respeito da tabela periódica, percebe-se que muitos cientistas homens são citados como colaboradores, ao passo que as contribuições das mulheres são omitidas ou escassas. Dessa maneira, levantamos o seguinte questionamento: onde estão as mulheres na construção da Tabela Periódica?

As abordagens históricas tradicionais sobre a tabela periódica, na maioria das vezes, concentram-se nas descobertas de elementos, controvérsias e disputas entre os cientistas. Esse tipo de abordagem tende a focar apenas em narrativas históricas que

⁴ Em 1911, Marie Curie foi laureada com o Nobel de Química devido à descoberta do rádio e polônio, bem como devido ao isolamento do rádio e estudos relevantes da natureza desse elemento. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1911/summary/>. Acesso em: 27 de julho de 2021.

⁵ De acordo com as informações históricas da tabela periódica interativa idealizada pela *Royal Society of Chemistry*, o tório foi descoberto em 1829 pelo químico sueco Jöns Jacob Berzelius (1779-1848); o urânio foi isolado em 1841 pelo francês Eugène Peligot (1811-1890); o actínio foi isolado em 1899 pelo químico francês André-Louis Debierne (1874-1949); e o radônio foi descoberto em 1900 pelo físico alemão Friedrich Ernst Dorn (1848-1916). Disponível em: <https://www.rsc.org/periodic-table/>. Acesso em 22 de agosto de 2021.

⁶ Primeira Tabela Periódica dos Elementos Químicos em sua versão moderna, publicada por Dmitri Mendeleev em *Osnovy Khimii (Principles of Chemistry)*, Volume II. Disponível em: <https://digital.sciencehistory.org/works/9c67wp122>. Acesso em 10 de agosto de 2021.

envolvem as contribuições de cientistas homens para a tabela periódica. No entanto, diversas mulheres realizaram estudos sobre as propriedades dos elementos químicos, desenvolveram e dominaram técnicas e equipamentos científicos, ou seja, essas mulheres existiram, resistiram e devem ter suas histórias divulgadas.

Abordar as diversas contribuições das mulheres para a tabela periódica pode ser considerada uma narrativa inovadora para a história das ciências e para a história das mulheres nas ciências. Ainda que a história da descoberta dos elementos polônio e rádio por Marie Curie tenha ganhado grande visibilidade e reconhecimento, a história de outras mulheres permanece desconhecida.

A fim de construir uma narrativa histórica sobre a tabela periódica diferente da tradicional, a historiadora da química e diretora do European Operations at the Science History Institute, Brigitte Van Tiggelen, juntamente com a professora e a historiadora da química da Norwegian University of Science, Annette Lykknes, no ano de 2019, fizeram algumas publicações com o intuito de dar visibilidade às contribuições das mulheres para a tabela periódica, a exemplo de um artigo publicado na revista *Nature*, intitulado *The women behind the periodic table* (As mulheres por trás da tabela periódica), e um livro publicado pela editora World Scientific intitulado *Women in their element* (Mulheres em seu elemento). Essas publicações evidenciaram as contribuições para a tabela periódica realizadas por 38 mulheres cientistas entre os séculos XVIII, XIX e XX.

Na Tabela 1, apresentamos a relação e contribuição das cientistas citadas em dois capítulos do livro que fazem referência às mulheres envolvidas com estudos de elementos radioativos, da radioatividade e da ciência atômica. Assim, o recorte deste trabalho está localizado no final do século XIX e início do século XX, coincidindo com a descoberta da periodicidade dos elementos químicos e a descoberta da radioatividade.

Tabela 1 - As contribuições das mulheres para a tabela periódica entre os séculos XIX e XX

Nome da cientista	Contribuição
Marie Sklodowska Curie (1867-1934)	Descoberta do polônio e rádio.
Harriet Brooks (1876-1933)	Estudos sobre o radônio.
Margaret Georgina Todd (1859-1918)	Propôs o termo isótopo.
Stefanie Horovitz (1887-1942)	Estudos do peso atômico do chumbo.
Ellen Gleditsch (1879-1968)	Estudos sobre o rádio, cloro e potássio.
May Sybil Leslie (1887-1937)	Estudos da meia vida e peso atômico do tório.
Lise Meitner (1878-1968)	Descoberta do protactínio.
Marguerite Perey (1909-1975)	Descoberta do frâncio.
Berta Karlik (1904-1990)	Descoberta de isótopos do astato.
Traude Bernert (1915-1998) ⁷	Descoberta de isótopos do astato.
Irène Joliot-Curie (1897-1956)	Descoberta da radioatividade artificial.
Isabella L. Karle (1921-2017)	Estudos sobre o plutônio.
Chien-Shiung Wu (1912-1997)	Identificou dois isótopos do xenônio.

Fonte: TIGGELEN; LYKKNESS, 2019.

Lykknes e Tiggelen (2019) acreditam que muitas mulheres que participaram de diversos estudos e pesquisas que contribuíram para a evolução da tabela periódica não receberam o devido reconhecimento, pois muitas vezes é difícil encontrar relatos de suas contribuições em grupos de pesquisa ou protagonismo em descobertas importantes para a ciência. Nesse sentido, muitas mulheres cientistas se tornaram assistentes invisíveis dos seus colegas de trabalho, e essa invisibilidade faz parte de uma violência simbólica sofrida por tais cientistas.

O trabalho laboratorial foi uma estratégia para muitas mulheres cientistas no início de suas carreiras, devido às suas habilidades analíticas e experimentais. Como a rotina das atividades analíticas demanda atenção aos detalhes e atividades repetitivas, essas

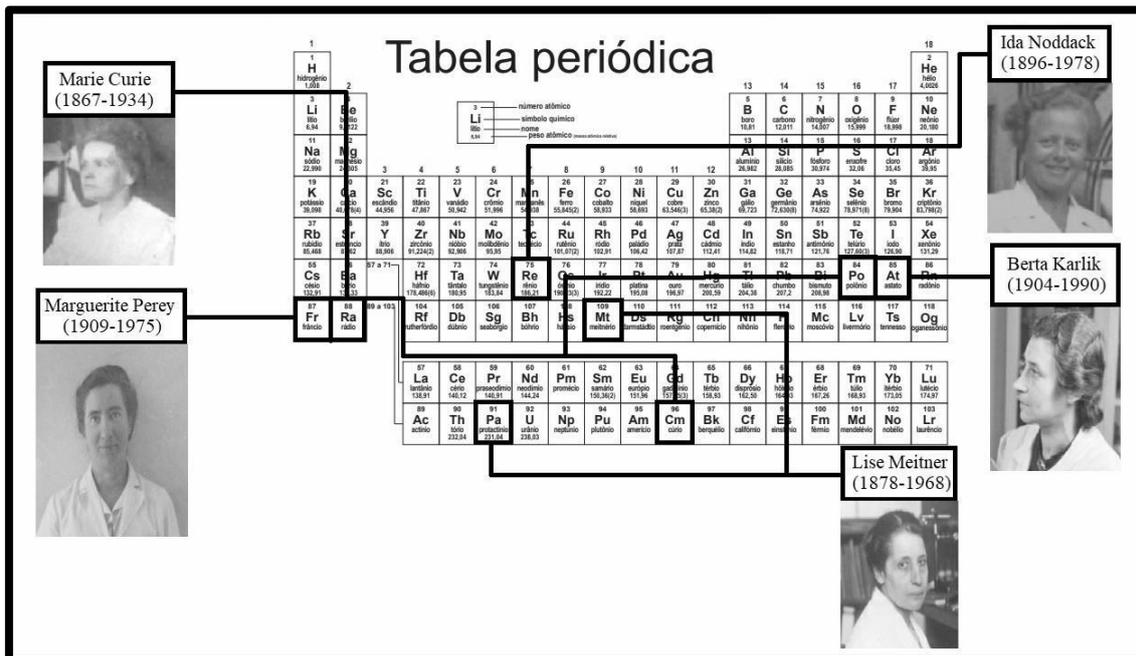
⁷ Trude Bernert estudou física na Universidade de Viena, recebeu PhD em 1939 e foi assistente de Berta Karlik.

atividades eram rejeitadas por cientistas homens. No entanto, essa era justamente uma das formas de divisão do trabalho científico que se dava de acordo com o gênero: a parte prática e manual cabia às mulheres e a parte teórica e intelectual cabia aos homens. Lykknes e Tiggelen (2019) pontuam que as cientistas que desempenharam as atividades experimentais dificilmente eram mencionadas nas publicações científicas e, por isso, não eram reconhecidas no meio acadêmico, como também dificilmente atingiam postos de relevância durante sua trajetória acadêmica.

Diante das diversas discriminações sofridas por mulheres na ciência, esta pesquisa pretende escrever uma história das mulheres que contribuíram para a construção da tabela periódica do final do século XIX e início do século XX, preenchendo, assim, lacunas na química e história da química. Além disso, visamos discutir e questionar a ausência de publicações que abordam as contribuições dessas cientistas e a importância da descoberta da radioatividade para a consolidação de uma área com predominância de mulheres cientistas. Para isso, utilizaremos o gênero como categoria de análise histórica, a fim de construir uma biografia coletiva sobre a trajetória dessas cientistas. Acreditamos que a construção de uma biografia coletiva seja uma ferramenta apropriada para contar a história dessas mulheres, dar visibilidade às suas descobertas e realizar um paralelo entre as opressões de gênero sofridas por elas.

Devido ao pioneirismo e envolvimento na corrida para preencher as lacunas da tabela periódica de Mendeleev por meio da descoberta de novos elementos químicos, as cientistas abordadas nesse trabalho são Lise Meitner (1878-1968), Ida Noddack (1896-1978), Berta Karlik (1904-1990) e Marguerite Catherine Perey (1909-1975), conforme apresentado na Figura 2. Essas cientistas contribuíram para a construção da tabela periódica a partir da descoberta de novos elementos químicos e estudos das suas propriedades durante o século XX. Durante esse período, a cientista Marie Curie descobriu a radioatividade e contribuiu para a construção da tabela periódica com a descoberta dos elementos rádio (Ra) e polônio (Po). Diferente das outras cientistas, Marie Curie já possui o seu lugar na história da ciência. Por já ter sua trajetória acadêmica bem trabalhada e conhecida, não iremos abordá-la diretamente, mas ela estará envolvida indiretamente na história das cientistas citadas anteriormente.

Figura 2 - Mulheres na Tabela Periódica



Fonte: Adaptado de Tabela Periódica⁸. www.tabelaperiodica.org.

De acordo com Stone (2011), a biografia coletiva – classificada assim pelos historiadores modernos, também conhecida como *análise de carreira* pelos cientistas sociais ou *prosopografia* pelos antigos historiadores – é a investigação das características comuns de acordo com um grupo de atores na história por meio de um estudo coletivo de suas vidas. Esse método estabelece um universo a ser estudado e, assim, investiga um conjunto de questões, como nascimento e morte, casamento e família, origens sociais, educação, experiências em cargos, descobertas e outras informações que são justapostas, combinadas e analisadas em busca de variáveis significativas. Essas variáveis são examinadas com o objetivo de encontrar correlações internas ou outras formas de comportamento e ação.

A técnica histórica baseada em biografias coletivas utiliza dados relativos a muitas pessoas como fonte. As principais fontes utilizadas pelo historiador prosopográfico são as tabelas de descoberta, os registros acadêmicos, os protocolos de instituições científicas e outros. Kragh (2003) afirma que a prosopografia não é um método característico da

⁸ Tabela periódica disponível em: www.tabelaperiodica.org. Acesso em: 14 de setembro de 2020.

História da Ciência, mas recentemente foi introduzida neste campo de forma elaborada e utiliza métodos quantitativos e qualitativos para análise dos dados.

Barros (2019) ressalta que, na passagem para o novo milênio, surgiram modalidades historiográficas emergentes que, ao lado da história comparada, pretendem lidar com procedimentos relacionais para além das tradicionais abordagens historiográficas. Essas novas abordagens surgem como gestos historiográficos que se atentam para a comparação, a interconexão, o cruzamento e o entrelaçamento de histórias. Nessa perspectiva, Werner e Zimmermann (2003) defendem que as histórias cruzadas estão estruturadas pela metáfora do cruzamento, a qual permite apreender fenômenos a partir da análise de diversos fatores, como relações de sincronias e diacronias. Além disso, as histórias cruzadas buscam analisar objetos e problemáticas extrapolando os limites das metodologias comparatistas.

Para construir as histórias cruzadas, também dialogaremos com estudos de gênero e ciência. A literatura sobre gênero e ciência é extensa e tem contribuído para discussões a respeito do papel das mulheres na ciência e questões de gênero no fazer científico. Apenas para citar algumas: Evelyn Fox Keller (2001, 2006); Margaret Rossiter (1993); Londa Schiebinger (2001); Maria Conceição da Costa (2006); Maria Margaret Lopes e Maria Conceição da Costa (2005); Maria Margaret Lopes (2006); Betina Stefanello Lima e Maria Conceição da Costa (2016); Maria Teresa Citeli (2001). Neste trabalho, o termo gênero é compreendido conforme aborda a pesquisadora Joan Scott (1995), que considera gênero como um elemento constitutivo de relações de poder baseadas nas diferenças entre os sexos, além de ser uma forma de dar significado às relações de poder.

[...] O termo "gênero" torna-se uma forma de indicar "construções culturais" - a criação inteiramente social de ideias sobre os papéis adequados aos homens e às mulheres. Trata-se de uma forma de se referir às origens exclusivamente sociais das identidades subjetivas de homens e de mulheres. "Gênero" é, segundo esta definição, uma categoria social imposta sobre um corpo sexuado. (SCOTT, 1995, p. 86).

Ao longo da história, é possível perceber a grande discrepância entre a atuação de homens e mulheres na política, em cargos de grande relevância, e na ciência não seria diferente. Os papéis de destaque cabiam aos homens e os secundários eram destinados às mulheres. Sendo assim, dentro das perspectivas feministas de gênero, este fato revela uma

construção social que determina o comportamento esperado entre homens e mulheres. Além disso, reflete diretamente nas pouquíssimas projeções das carreiras de cientistas do sexo feminino quando comparadas às dos cientistas do sexo masculino.

Dar visibilidade à história de mulheres na ciência, além de motivar outras mulheres a ingressarem nas áreas de ciências e tecnologia, pode contribuir para discussões e reflexões acerca das questões políticas, sociais e de gênero da época em que viveram as cientistas, gerando também reflexões sobre os desafios encontrados por mulheres cientistas na atualidade.

As etapas para o desenvolvimento desta pesquisa foram subdivididas duas partes: Coleta, análise e interpretação das fontes primárias e secundárias das quatro cientistas citadas anteriormente, bem como suas contribuições para a construção da tabela periódica; e Construção da biografia coletiva a partir da história dessas cientistas, a fim de produzir um paralelo entre as suas descobertas, contribuições para a tabela periódica e as opressões de raça, gênero, classe sofrida por elas, como também questões sócio-históricas da época.

Esta pesquisa é composta de um capítulo. Ao longo desse capítulo abordamos as lacunas existentes na história da ciência no que diz respeito às contribuições das mulheres cientistas para a construção da tabela periódica e na descoberta de elementos radioativos. Além disso, por meio da biografia coletiva, serão interligadas a trajetória de vida e acadêmica de Lise Meitner, Ida Noddack, Berta Karlik e Marguerite Perey. Para isso, esse capítulo está dividido em cinco tópicos principais, a saber: Lise Meitner: protactínio, fissão nuclear e meitnério; Ida Noddack e a descoberta do tecnécio e do rênio; Berta Karlik e os isótopos do astato; Marguerite Perey e a descoberta do frâncio; Histórias cruzadas: obstáculos e descobertas das nossas protagonistas.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O ano de 2019 foi considerado para a química o ano internacional da tabela periódica dos elementos químicos, em decorrência da comemoração dos 150 anos da descoberta do sistema periódico pelo cientista russo Dmitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907). Por conta disso, é possível encontrar algumas publicações recentes que abordam essa temática, como Filho, Galaço e Serra (2019), Leite (2019), Toma (2019) e Lykknes e Tiggelen (2019). No entanto, quando buscamos publicações a respeito da tabela periódica, nos deparamos, na maioria das vezes, com trabalhos voltados para a história da sua transformação e descoberta de novos elementos. Esse tipo de narrativa exclui as contribuições das mulheres para a tabela periódica, visto que um menor número de mulheres descobriu novos elementos quando comparado ao número de homens. Não obstante, as mulheres cientistas contribuíram de diversas formas: através do domínio de técnicas, com equipamentos e com estudos sobre a propriedade e aplicabilidade dos elementos químicos.

Durante o final do século XIX e início do século XX, inúmeras contribuições foram feitas por mulheres cientistas para a descoberta de novos elementos químicos da tabela periódica. No entanto, essas contribuições foram negligenciadas até mesmo pela história da ciência, devido à visão androcêntrica desta área de conhecimento, além do interesse que alguns historiadores das ciências têm em valorizar apenas grandes nomes da academia e suas descobertas científicas. Essa postura exclui da história as trajetórias e contribuições daqueles cientistas que não alcançaram notoriedade em suas carreiras, principalmente as mulheres cientistas, que enfrentaram e ainda enfrentam diversas barreiras que as invisibilizam. Por conta disso, defendemos a construção de narrativas históricas de mulheres cientistas e suas contribuições para a ciência, pois essas narrativas podem proporcionar discussões e compreensões sociopolíticas e científicas presentes em suas respectivas épocas. Podemos, além disso, fazer um paralelo com os desafios enfrentados por mulheres cientistas na atualidade.

A primeira versão da tabela periódica de Mendeleev, divulgada em 1869, continha alguns espaços vazios e previsões para os elementos que pertenceriam à aquela lacuna. Por conta disso, iniciou-se uma corrida e disputa entre os cientistas para a descoberta

desses elementos. É importante ressaltar que, antes da descoberta da periodicidade dos elementos químicos – proposta por Mendeleev – e da correlação entre o espectro de raios-X de um elemento químico e seu número atômico – proposta pelo físico britânico Henry Moseley (1887-1915) –, os elementos químicos eram descobertos por acidente. Outros estudos e descobertas foram fundamentais para o preenchimento das lacunas da tabela periódica de Mendeleev, a saber: a descobertas do raio-X por Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), em 1895; e a descoberta da radioatividade por Marie Sklodowska-Curie (1867-1934), em 1896.

No início do século XX, restavam apenas sete elementos para o total preenchimento das lacunas da tabela periódica de Mendeleev. Esses elementos tinham os números atômicos 43, 61, 72, 75, 85, 87 e 91. A Tabela 2 apresenta os sete elementos citados anteriormente, seus respectivos descobridores e o ano da descoberta e/ou isolamento do elemento químico.

Tabela 2 - Ano da descoberta e/ou isolamento dos elementos químicos

Nome do/a Cientista	Elemento Químico	Ano da Descoberta
Otto Hahn, Lise Meitner e Aristide Grosse.	Elemento 91, protactínio (Pa).	Descoberto em 1917 e isolado em 1934.
Dirk Coster e György von Hevesy.	Elemento 72, háfio (Hf).	Isolado em 1923.
Walter Noddack e Ida Noddack.	Elemento 75, rênio (Re).	Isolado em 1925.
Carlo Perrier e Emilio Gino Segrè.	Elemento 43, tecnécio (Tc).	Descoberto em 1937.
Marguerite Perey.	Elemento 87, frâncio (Fr).	Descoberto em 1939.
Emilio Gino Segrè.	Elemento 85, astato (At).	Descoberto em 1940.
Jacob Marinsky, Lawrence Glendenin e Charles Coryell	Elemento 61, promécio (Pm).	Descoberto em 1945.

Fonte: Elaboração própria.

Em 1898, com a descoberta da radioatividade e dos elementos químicos rádio e polônio, Marie Curie obteve grande prestígio e reconhecimento no meio acadêmico. Essas descobertas podem ter motivado outras mulheres a ingressarem em carreiras científicas e até mesmo no campo da radioatividade. Contudo, o grande número de

mulheres cientistas que desenvolveram pesquisas na área da radioatividade não é uma coincidência. Esse campo de investigação foi um caminho estratégico para o ingresso de mulheres na ciência no início do século XX. Devido ao fato de ser uma área de investigação nova, despertava pouco interesse de cientistas homens (GOLDSMITH, 2006; MCGRAYNE, 1994, 2001; RAYNER-CANHAM; RAYNER-CANHAM, 1997; RENTETZI, 2004).

Por ser a radioatividade uma área interdisciplinar, Renzetti (2004) afirma que muitas mulheres cientistas puderam escolher diferentes caminhos para suas pesquisas que estavam na fronteira entre a física, a química, a biologia e a medicina. Sendo assim, era possível desenvolver pesquisas em hospitais, laboratórios médicos e empresas técnicas. Rayner-Canham e Rayner-Canham (1997) destacam que a astronomia, a cristalografia e a ciência atômica eram os três campos das ciências físicas que atraíam um número considerável de mulheres cientistas durante o final do século XIX e início do século XX – conseqüentemente, eram áreas com menor número de homens. Ao analisar o caso das cientistas norte-americanas, Rossiter (1978, 1993) percebeu a mesma dinâmica e chamou esse tipo de comportamento de segregação sexual e segregação territorial.

Entre 1880 e 1945 ocorreu um grande progresso na compreensão da matéria e da radiação. Nesse mesmo período ocorreu um marco histórico na transição do cientista profissional ou amador para a formação de grupos de pesquisa, devido à complexidade das investigações. Rayner-Canham e Rayner-Canham (1997) chamam a atenção para os principais grupos de pesquisa em radioatividade, que possuíam diferentes estilos científicos: a escola francesa, liderada por Marie Curie e Pierre Curie; a escola britânica, liderada por Ernest Rutherford (1871-1937), que foi estudante do físico Joseph J. Thomson (1856-1940) na Universidade de Cambridge⁹; e a escola austro-alemã, que teve origem em Viena e foi liderada por Stefan Meyer (1872-1949), mudando posteriormente o foco de pesquisa para Berlim e sendo conduzida por Otto Hahn e Lise Meitner. É importante lembrar que existia uma concorrência entre esses grupos de pesquisa. Inicialmente, a disputa se deu entre o grupo britânico e o grupo francês; depois, entre o grupo austro-alemão e o grupo francês.

⁹ Posteriormente, Rutherford foi atraído para a Universidade McGill, localizada no Canadá, local onde iniciou uma colaboração com Frederick Soddy (1877-1956). Anos depois, Rutherford, retornou à Inglaterra para a Universidade de Manchester.

Por meio de uma abordagem biográfica feminista, Rayner-Canham e Rayner-Canham (1997) construíram uma história da radioatividade diferente da convencional, resultando no resgate das histórias de vida dessas mulheres, suas contribuições para a ciência e os desafios enfrentados e superados por 23 mulheres cientistas que foram pioneiras no estudo da radioatividade durante as duas primeiras décadas do século XX. Essas mulheres criaram uma rede de apoio entre elas, um fenômeno classificado por Rayner-Canham e Rayner-Canham (1997) como *invisible college* (colégio invisível), em que as cientistas se comunicavam entre si tanto profissionalmente quanto socialmente, fato que acabou favorecendo a predominância de mulheres nesse campo de investigação durante o início do século XX. A Tabela 3 apresenta as principais cientistas e seus respectivos grupos de pesquisa de acordo com a pesquisa desenvolvida por esses autores.

Tabela 3 - As cientistas e seus grupos de pesquisa em radioatividade baseado em Rayner-Canham e Rayner-Canham (1997)

Grupo francês
Marie Curie (1867-1934)
Ellen Gleditsch (1879-1968)
May Sybil Leslie (1887-1937)
Catherine Chamié (1888-1950)
Stephanie Maracineanu (1882-1944)
Alicia Dorabialska (1897-1975)
Irène Joliot-Curie (1897-1956)
Grupo britânico
Harriet Brooks (1876-1933)
Fanny Cook Gates (1872-1931)
Jadwiga Szmids (1889-1940)
Ada Hitchins (1891-1972)
Grupo austro-alemão
Lise Meitner (1878-1968)
Stefanie Horowitz (1887-1942)
Marietta Blau (1894-1970)

Elizaveta Karamihailova (1897-1968)
Elizabeth Róna (1890-1981)
Ida Tacke Noddack (1896-1978)

Fonte: RAYNER-CANHAM; RAYNER-CANHAM, 1997.

Ao analisarmos a Tabela 4, é possível perceber que, além de Marie Curie, existiram outras mulheres cientistas que contribuíram para a ciência e para a radioatividade. Ainda assim, suas contribuições, descobertas e trajetórias foram ocultadas pela história da ciência. Por meio da historiografia que utiliza o recorte de gênero na ciência, é possível perceber uma valorização das contribuições das mulheres cientistas nesse campo de investigação. Além disso, sabemos que ao longo dos séculos houve inúmeras tentativas das mulheres de obterem igualdade profissional e produzirem conhecimento científico, embora suas lutas tenham sido menosprezadas por uma parte de sociedade que não concordava com a presença das mulheres na ciência e no mercado de trabalho.

Entre as diversas mulheres que desenvolveram estudos no campo da radioatividade e descobriram novos elementos químicos estão: a física austríaca Lise Meitner, que, juntamente com o químico Otto Hahn, descobriu um isótopo do elemento 91, o protactínio; a engenheira química alemã Ida Noddack, que, em colaboração com seu marido Walter Noddack, descobriu o elemento 75, o rênio; a física austríaca Berta Karlik, que, em parceria com sua assistente Traude Bernet, descobriu os isótopos 215, 216 e 218 do elemento 85, astato; e a física e química francesa Marguerite Perey, que descobriu o elemento 87, o frâncio. Por meio da biografia coletiva, entrecruzaremos as histórias dessas quatro cientistas e analisaremos os desafios enfrentados e superados por elas ao longo das suas trajetórias acadêmicas, bem como suas contribuições para a descoberta de novos elementos químicos da tabela periódica.

Indo além da história tradicional, daremos visibilidade às mulheres e suas descobertas de elementos químicos da tabela periódica. Veremos ao longo deste trabalho que as mulheres cientistas existiram e contribuíram para o desenvolvimento da tabela periódica. Logo, cabe aos historiadores e historiadoras das ciências trazerem à tona suas trajetórias e contribuições. A construção de novas narrativas sobre a tabela periódica, com

vistas à inclusão da contribuição de mulheres cientistas, torna-se necessária devido ao potencial e relevância dessa temática para a ciência e história da ciência, visto que, por muito tempo, essas narrativas foram desprezadas, principalmente em publicações em língua portuguesa.

1. LISE MEITNER: PROTACTÍNIO, FISSÃO NUCLEAR E MEITNÉRIO

Lise Meitner nasceu em Viena, no dia 7 de novembro de 1878, e foi a terceira de oito filhos do advogado Philippe Meitner e da pianista Hedwig Skovran Meitner. Seu pai a incentivou a estudar ciência e sua mãe a ensinou sobre música, suas duas paixões.

O anseio de Meitner em se tornar uma cientista parecia estar muito distante, pois, conforme destacado por Sharon McGrayne (1994), as mulheres eram proibidas de ingressar em escolas que preparavam os homens para as universidades. Ao completarem 14 anos, as jovens mulheres concluíam o período de educação escolar, pois, após esse período, era negado o acesso das jovens mulheres ao *gymnasium*, nível mais avançado de ensino (equivalente ao que conhecemos atualmente como Ensino Médio). Conseqüentemente, corroborando essa afirmação, Schiebinger (2001) pontua que, do século XII até o século XIX, as universidades excluía mulheres do espaço acadêmico (em alguns casos, até mesmo no século XX). Porém, há relatos de mulheres que estudaram e lecionaram em universidades a partir do século XIII. Além disso, elas não progrediam em áreas como física e matemática. Segundo a autora, as mulheres que almejavam prosseguir na carreira científica, uma vez que se submetiam ao posto de assistentes “invisíveis” dos seus maridos ou irmãos.

Ao completar 14 anos, Meitner viveu os seus “anos perdidos”, devido ao fato de ser proibida de ingressar em espaços acadêmicos. Os “anos perdidos” duraram nove anos. Como o acesso de mulheres à universidade não era permitido, era comum, naquela época, as jovens optarem por cursos voltados à administração de uma casa e ao cuidado com a família e marido (LIMA, 2019; MARQUES, 2015; SIME, 1986, 1998).

Uma alternativa para as mulheres que gostariam de ingressar no mercado de trabalho era ministrar aulas particulares. Esse foi o caminho escolhido por Meitner, que ministrou aulas particulares de francês. Outra alternativa para as mulheres que vivenciavam os entraves domésticos era pleitear junto aos professores universitários vagas como estudantes ouvintes. McGrayne (1994) sinaliza que, apenas em 1901, aos 22

anos, é que os “anos perdidos” chegaram ao fim, com Meitner ingressando na Universidade de Viena para estudar física, influenciada pelas descobertas recentes dos raios-X e da radioatividade e pela representatividade de Marie Curie.

Finalmente, no início do século XX, permitiu-se o acesso de mulheres à universidade. Elas precisavam ser aprovadas no *Matura*, uma espécie de vestibular da época, ainda que não tivessem cursado o *gymnasium*, sendo esse o caso de Lise Meitner. No que diz respeito ao exame que qualificou Meitner para ingressar na Universidade de Viena em 1901, Frisch (1970)¹⁰ aponta que ela estudou muito durante dois anos sob orientação do professor Arthur Szarvasy. Vale destacar que, das 14 meninas que participaram do *Matura* naquele ano, Meitner foi uma das quatro aprovadas. Sobre a presença das mulheres no ambiente acadêmico, Frisch (1970) afirma que Meitner sempre recordava que as mulheres eram majoritariamente vistas na universidade como aberrações. Em contrapartida, recordava-se também do apoio por parte de alguns professores.

Com relação aos primeiros anos em Viena, Meitner relata que não se recorda se ver seus professores se posicionando a favor da educação para mulheres no nível superior, visto que essa novidade ainda era muito recente e algumas pessoas eram contra a presença de mulheres nesses espaços. Além disso, Meitner (1964) afirma que, como não tinha certeza de que se tornaria uma cientista, manteve em aberto a possibilidade de ensinar em uma escola para meninas. Nessa afirmação, podemos fazer um paralelo com os papéis de gênero impostos pela sociedade, que afirmam ser a ciência um não lugar para as mulheres.

No que diz respeito às pesquisas desenvolvidas na Universidade de Viena, Meitner (1964) relata as dificuldades para desenvolver atividades experimentais, devido ao fato de os equipamentos estarem ultrapassados e as instalações do Instituto de Física Teórica estarem em condições precárias. A entrada parecia uma entrada de um galinheiro, de modo que, muitas vezes, pensou: “Se um incêndio começar aqui, poucos de nós sairemos vivos.” (MEITNER, 1964, p. 3). Outra passagem importante da fala de Meitner (1964) está relacionada com o fato de que, apesar da pretensão de seguir a carreira na área da física teórica, ela ingressou, por influência do físico Stefan Meyer, no novo campo da física – a radioatividade.

¹⁰ Obituário de Lise Meitner escrito por Otto Frisch em 1970. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsbm.1970.0016>. Acesso em: 10 de outubro de 2021.

Em 1905, Meitner se torna a segunda mulher a receber o doutorado em Física na Universidade de Viena, e, como tinha a intenção de expandir seus conhecimentos, buscou novas oportunidades de estudo em outras instituições. Foi rejeitada por Marie Curie e aceita por Max Planck (1858-1927) na Universidade de Berlim em 1907. Sime (1998) afirma que Meitner foi rejeitada por Marie Curie porque não havia um cargo disponível para ela no laboratório de Paris. McGrayne (1994) sinaliza que, quando Max Planck admitiu Meitner, a Universidade de Berlim aceitava a presença de mulheres nas aulas apenas como ouvintes. Somente a partir do ano de 1908 é que as mulheres foram aceitas nas universidades prussianas. Devido a esse fato, nos primeiros anos em Berlim, Meitner trabalhou sem remuneração em parceria com o químico Otto Hahn, no porão do Instituto de Química de Berlim, pois o químico estava procurando uma colaboradora em física.

Com relação a Berlim, Meitner (1954) relata que, apesar de ter sido recebida gentilmente por Planck, durante uma conversa com o físico alemão, ela percebeu que ele não tinha uma boa visão a respeito de estudantes mulheres, pelo menos naquele momento. Porém, ela ressalta que, posteriormente, Planck contribuiu de maneira significativa para seu desenvolvimento como pessoa e cientista.

“Mas você já é uma doutora! O que mais você quer?” Quando eu respondi que gostaria de ganhar algum dinheiro com a compreensão da física, ele apenas disse algumas palavras e não prosseguiu com o assunto. (MEITNER, 1954, p. 4, tradução nossa).¹¹

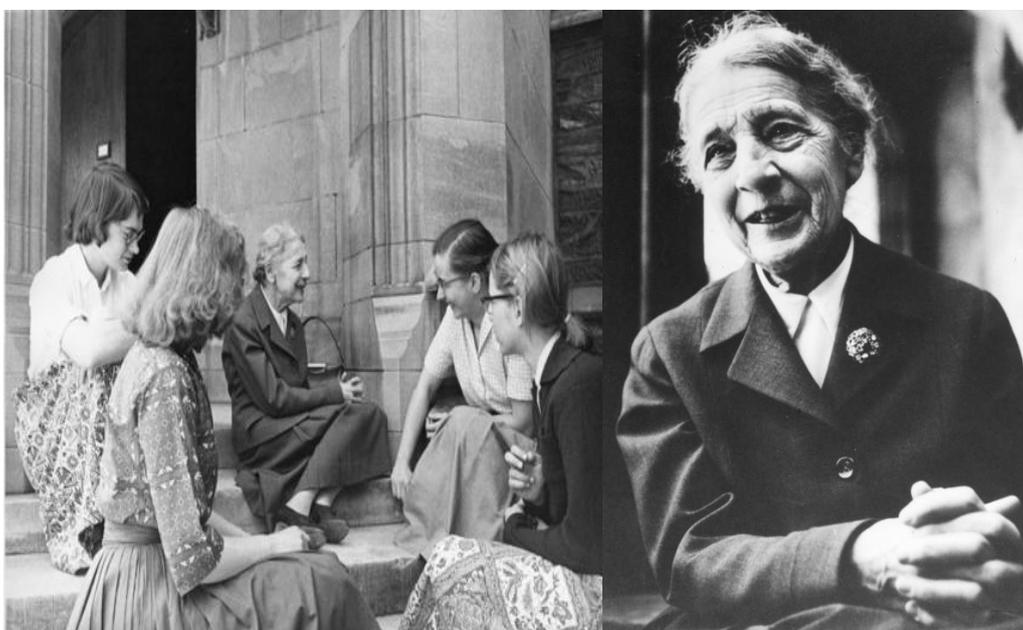
Durante os 31 anos em que Lise Meitner viveu em Berlim, ela trabalhou com radioatividade e relatou a boa convivência com a equipe e entre os departamentos do Instituto Kaiser Wilhelm até os anos de 1933. De acordo com Meitner (1954), durante esse período, os cientistas, funcionários e estudantes aprenderam juntos e desenvolveram diversos equipamentos. Apesar de possuírem pontos de vista políticos diferentes, existia um clima de solidariedade entre todos, fazendo com que o trabalho continuasse pelo menos até a sua partida da Alemanha devido à ascensão do Nazismo.

Apesar de trabalhar durante longos períodos da sua carreira com radioatividade e manipulação de material radioativo, Meitner e os cientistas que trabalhavam no seu laboratório não foram contaminados com a radiação. Isso se deve ao fato do rigor que a

¹¹ “But you are a Doctor already! What more do you want?” When I replied that I would like to gain some real understanding of physics, he just said a few friendly words and did not pursue the matter any further. (MEITNER, 1954, p. 4).

cientista tinha para evitar a contaminação. Nesse sentido, Frisch (1970) pondera que, apesar da sua rigidez e disciplina em seu local de trabalho e de ser temida por seus estudantes quando eles expressavam problemas pessoais, ela os acolhia com sua humanidade calorosa. Além disso, Meitner – Figura 3 – demonstrou sua preocupação com relação ao lugar das mulheres, em especial das mulheres cientistas, por meio de palestras e publicações, como no artigo intitulado *The Status of Women in the Professions* (O Status das Mulheres nas Profissões)¹², publicado na revista *Physics Today* em 1960, e em uma palestra em comemoração aos 50 anos da física, realizada no ano de 1963, em Viena, na Urania Volksbildungsanstalt¹³.

Figura 3 - Lise Meitner em 1959, com estudantes do Bryn Mawr College, Pensilvânia, EUA



Fonte: Arquivos visuais AIP Emilio Segrè¹⁴.

A respeito dos trabalhos científicos realizados por Meitner e a remuneração recebida ou não por eles, é possível perceber que há um conflito na literatura com relação ao período em que ela realizou trabalhos de forma não remunerada. Lima (2019) discute

¹² Nesse artigo, Meitner aborda os desafios das mulheres no mercado de trabalho. Disponível em: <https://physicstoday.scitation.org/doi/10.1063/1.3057062>. Acesso em: 31 de out de 2021.

¹³ Essa palestra foi traduzida para o inglês e publicada em novembro de 1964 no *Bulletin of the Atomic Scientists*, cujo título é *Looking Back* (Olhando para trás).

¹⁴ Imagens retiradas dos arquivos visuais de Emilio Segrè. Disponíveis em: <https://repository.aip.org/islandora/search/lise%20meitner?type=edismax&cp=nbla%3Asegre>. Acesso em: 10 de out de 2021.

a problemática que envolve o longo período em que Meitner trabalhou sem remuneração e a discrepância entre os salários de Meitner e Hahn. Quando comparados, o de Meitner era sempre inferior ao de Hahn.

O primeiro trabalho remunerado de Meitner ocorreu em 1912 no Instituto Kaiser Wilhelm, atual Instituto Max Planck. Max Planck ofereceu a Meitner um cargo de assistente; ela recebia um pequeno salário para organizar os seminários e corrigir os trabalhos dos estudantes de Planck. Em 1913, Meitner se tornou professora associada e recebeu um salário melhor, mas ainda inferior ao de Hahn, mesmo desenvolvendo trabalhos equivalentes. Apenas em 1926, com 48 anos, Meitner se tornou a primeira professora titular de física do Instituto Kaiser Wilhelm (LIMA, 2019; MARQUES, 2015; MCGRAYNE, 1994, 2001). A partir dessas informações, é possível perceber uma das questões que envolvem gênero e ciência: a dificuldade que as mulheres cientistas tinham em receber salários durante suas trajetórias acadêmicas ou remunerações equivalentes às dos seus colegas homens.

Um detalhe interessante observado na carreira de Meitner apontado por Frisch (1970) está relacionado ao fato de ela ter se tornado professora titular do Instituto Max Planck em 1926, mas não ter ministrado aulas expositivas. Outro episódio da carreira de Meitner apontado por Frisch (1970) nos mostra os desafios enfrentados por mulheres na ciência: uma publicação na imprensa alterou o título de uma palestra ministrada por Lise Meitner, considerando ser a nova temática mais plausível para uma docente. A temática inicial da palestra era Física Cósmica e foi alterada para Física Cosmética, ou seja, não se esperava de uma mulher cientista o desenvolvimento de pesquisas voltadas para física aplicada e sim para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas à beleza. Como afirmou Frisch: “O assunto, física cósmica, de sua palestra inaugural foi relatado como 'física cosmética' na imprensa (mais plausível com uma mulher!).” (FRISCH, 1970, p. 408, tradução nossa)¹⁵.

1.1. BUSCA PELO PRECURSOR DO ACTÍNIO

A corrida pela descoberta da “substância mãe do actínio”, o protactínio, teve início em 1913. A historiadora da ciência, Ruth Sime (1986), uma das principais biógrafas de

¹⁵ “The subject, cosmic physics, of her inaugural lecture was reported as 'cosmetic physics' in the press (more plausible with a female Dozent!).” (FRISCH, 1970, p. 408).

Meitner, revela que, diferentemente de outras descobertas de elementos químicos, essa pode ser analisada a partir das descrições relatadas por meio de cartas escritas por Meitner a Hahn, entre 1916 e 1918. Enquanto Otto Hahn esteve no exército durante a Primeira Guerra Mundial, Lise Meitner continuou as pesquisas em busca do novo elemento químico. Nessa época, existiam poucos estudos sobre as propriedades do actínio – a relação entre o actínio e o decaimento radioativo do urânio não era conhecida.

Devido ao fato de Hahn ter sido recrutado pelo exército no início da Primeira Guerra, Meitner realizou a maior parte do trabalho sozinha, desde as etapas de separações químicas até a análise com uso do eletroscópio. Em 1915, Meitner se ofereceu para trabalhar como enfermeira de raio-X nos hospitais do exército austríaco, dividindo seu tempo entre os experimentos do laboratório e os hospitais, voltando para Berlim apenas em 1916. Devido ao contexto de guerra, Sime (1986) chama a atenção para as dificuldades enfrentadas para desenvolver pesquisa, desde os altos preços para obter os materiais necessários para os experimentos até a escassez de equipamentos e de material humano (estudantes, assistentes e técnicos estavam em serviços militares).

A respeito dos desafios enfrentados na pesquisa realizada por Meitner e Hahn durante a Primeira Guerra Mundial, Frisch (1970) sinaliza que essa foi uma época muito angustiante e cansativa para Meitner, pois ela trabalhava muitas horas por dia no laboratório com equipamentos inadequados e lidava com muitos soldados poloneses feridos. No entanto, durante as folgas, Meitner voltava para Berlim para dar continuidade às medições das substâncias radioativas, sendo que, em alguns momentos, Hahn conseguia encontrá-la, pois suas folgas coincidiam. Além disso, Frisch (1970) afirma que as pausas na pesquisa, devido ao período em que Meitner e Hahn estiveram na linha de frente da guerra, contribuíram para a descoberta do precursor do actínio, pois, no estudo de substâncias radioativas, as medições em intervalos longos permitem observar se as atividades aumentam ou decaem. Porém, a derrota da Alemanha na guerra dificultou ainda mais as pesquisas sobre as propriedades do protactínio.

Com a intenção de isolar elementos radioativos da decomposição do urânio com base nos estudos realizados por Enrico Fermi, Frisch (1970) aponta que Meitner e Hahn uniram forças para encontrar elementos transurânicos, ou seja, elementos de número atômico maior que 92. Para isso, eles utilizaram diversas técnicas da química analítica, como a precipitação do irradiado e solução de sal de urânio acidificado com sulfeto de

hidrogênio de todos os elementos entre o polônio e urânio. Por meio dessas soluções, Meitner e Hahn afirmaram que em seus precipitados continham apenas transurânicos para serem isolados. Porém, Frisch (1970) sinaliza que a engenheira química Ida Noddack contestou a afirmação de Meitner e Hahn por meio de um artigo publicado em uma revista de pequeno impacto entre os cientistas e, por esse motivo, suas ideias foram desprezadas por mero pedantismo daqueles que leram sua publicação.

“É certo que uma química alemã, Ida Noddack, havia dito que, em sua opinião, a formação de elementos transurânicos não poderia ser considerada provada até que sua identidade com qualquer elemento entre hidrogênio e urânio fosse excluída; mas seu artigo, publicado em uma revista pouco lido por cientistas, foi descartado como mero pedantismo por aqueles que o leram e não teve influência em eventos posteriores.” (FRISCH, 1970, p. 412, tradução nossa)¹⁶.

Para iniciar a busca pelo precursor do actínio, Meitner e Hahn investigaram os sais de urânio e a pechblenda, um minério de urânio. Com isso, eles perceberam que a pechblenda continha maior quantidade da substância mãe e desenvolveram um método capaz de minimizar a contaminação radioativa, conseguindo separar o tântalo da pechblenda. Meitner e Hahn acreditavam que a substância mãe era quimicamente semelhante a esse elemento.

Conforme apontado por Sime (1986), no início de 1917, a dupla precisava de mais amostras de pechblenda para dar continuidade aos experimentos. Devido aos embargos iniciados pela Alemanha durante a Primeira Guerra Mundial, que proibiam a compra da pechblenda, Meitner entra em contato com seu amigo, Stefan Meyer, do Instituto do Rádio em Viena, e solicita algumas amostras do mineral. Meyer conseguiu enviar para Meitner apenas 1 kg do resíduo de urânio, que continha rádio e possivelmente tântalo.

Para o desenvolvimento dos experimentos, a cientista ainda precisava de mais amostras de pechblenda. Por conta disso, entrou em contato com um produtor alemão de rádio, o químico industrial Friedrich Oskar Giesel (1852-1927) da Buchler & Co., e conseguiu mais 100g do “resíduo duplo”, que não contém urânio e rádio. Como a composição do “resíduo duplo” era diferente das amostras enviadas por Meyer, o método

¹⁶ “Admittedly a German chemist, Ida Noddack, had said that in her opinion the formation of transuranic elements could not be regarded as proven until their identity with any element between hydrogen and uranium was excluded; but her paper, published in a journal little read by pure scientists, had been dismissed as mere pedantry by those who did read it, and had no influence on later events.” (FRISCH, 1970, p. 412).

utilizado no experimento não funcionou. Sime (1986) sinaliza que, por conta disso, Lise Meitner reajustou o seu método e, apenas em agosto de 1917, obteve bons resultados com as amostras de Giesel.

A terceira etapa da investigação, a fim de isolar o protactínio, teve início no final de 1917. Para que alcançassem êxito nessa etapa, Sime (1986) pontua que Meitner e Hahn utilizaram novas amostras de resíduos de rádio produzidas por Giesel e obtiveram um produto de tântalo fortemente radioativo e puro. A partir desses estudos, Meitner e Hahn publicaram, em março de 1918, um artigo na *Physikalische Zeitschrift* intitulado *The Mother Substance of Actinium, a New Radioactive Element of Long Half-Life* (A Substância mãe do actínio, um novo elemento radioativo de longo tempo meia vida). No artigo eles afirmam terem descoberto um novo elemento químico radioativo, o protactínio. Em junho de 1918, Meitner e Hahn foram reconhecidos pela descoberta do isótopo de protactínio-231. Esse elemento químico possui tempo de meia vida de 32.500 anos.

1.2. A DESCOBERTA DA FISSÃO NUCLEAR

Meitner e Hahn desenvolveram pesquisas sobre a radioatividade até o final das suas vidas. Durante alguns anos eles trabalharam em parceria, mas em outros momentos desenvolveram suas atividades individualmente. De acordo com McGrayne (1994), dois anos após a Primeira Guerra Mundial, Meitner e Hahn encerraram a parceria científica e ficaram 12 anos separados, pois já tinham realizado a descoberta do protactínio e podiam prosseguir em suas carreiras de forma independente. O retorno da parceria entre os pesquisadores ocorreu em 1934, devido ao fato de Meitner precisar de um químico para iniciar a maior experiência do século que culminou na descoberta da fissão nuclear.

McGrayne (1994) salienta que a equipe formada para as investigações do bombardeamento do urânio com nêutrons era composta por cinco pessoas: Meitner, Hahn, o químico alemão Fritz Strassmann (1902-1980), a química norte-americana Clara Lieber (1902-1950) e a técnica Irmgard Bohne¹⁷. Essa equipe de trabalho se tornou uma das mais experientes no assunto. Além disso, eles competiam com equipes rivais lideradas por Enrico Fermi, Ernest Rutherford e Irène Joliot-Curie.

¹⁷ Não foram encontradas maiores informações a respeito da técnica Irmgard Bohne. Esse fato pode estar relacionado com o apagamento histórico que as mulheres sofrem na ciência.

Além da corrida por uma grande descoberta da física moderna, Lise Meitner ainda corria contra o tempo devido à ascensão do nazismo e das leis antisemitas. No entanto, para fugir da perseguição nazista, no dia 13 de julho de 1938, Meitner deixou Berlim com destino à Holanda, de onde, posteriormente, partiu para a Dinamarca, local em que recebeu um cargo no Instituto de Copenhague a convite de Niels Bohr. Por fim, exilou-se na Suécia e trabalhou no Instituto de Pesquisa de Física, em Estocolmo, a convite do físico sueco Karl Manne Georg Siegbahn (1886-1978).

Durante o exílio, Hahn e Meitner se comunicavam por meio de cartas e faziam colaborações importantes sobre as pesquisas em andamento. Sendo assim, Otto Hahn solicitou a ajuda dela para compreender como os isótopos de rádio, ao serem bombardeados lentamente com nêutrons, se comportavam como bário. A partir dessa solicitação, Meitner iniciou os cálculos necessários para explicar uma das maiores descobertas do século, ou seja, resolveu o mistério envolvendo o motivo pelo qual o urânio, quando bombardeado com nêutron, produzia fragmentos de número atômico menor. Conforme apontado por McGrayne (1994) e Nanal (2017), a explicação da fissão nuclear ocorreu durante as férias do final do ano de 1938, na Suécia. Foi nesse contexto que Meitner e seu sobrinho, o físico nuclear Otto Frisch, chegaram à conclusão das experiências iniciadas por Hahn e Strassmann.

Em 11 de fevereiro de 1939, Meitner e Frisch publicaram na revista *Nature* o artigo intitulado *Disintegration of Uranium by Neutrons: a New Type of Nuclear Reaction* (Desintegração do urânio por nêutrons: um novo tipo de reação nuclear)¹⁸. Meitner e Frisch foram os primeiros a reconhecer que, ao bombardear átomos de urânio ($Z = 92$) com nêutrons, o urânio se dividia, produzia fragmentos de número atômico muito menor e liberava uma grande quantidade de energia.

Ao seguir as sugestões de Bohr a respeito do modelo da gota líquida, Meitner e Frisch realizaram os cálculos necessários para afirmarem que a fissão do núcleo do urânio havia ocorrido – sendo o bário ($Z = 56$) e o criptônio ($Z = 36$) os possíveis produtos dessa reação – e que, devido à cadeia de decaimento radioativo, seriam gerados novos elementos. De acordo com Nanal (2017), a partir da relação de equivalência massa-

¹⁸ Esse artigo de Lise Meitner e Otto Frisch foi reproduzido por Nanal, V. *Classics. Reson* 22, 323–325 (2017). Disponível em: <https://doi-org.ez10.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s12045-017-0466-1>. Acesso em: 10 de outubro de 2021

energia ($E = mc^2$) proposta por Albert Einstein (1879-1955), Frisch conseguiu demonstrar, experimentalmente, que o poder ionizante dos fragmentos e a energia liberada na fissão nuclear correspondiam à diferença da massa de urânio e dos produtos da reação. Parece, portanto, possível que o núcleo de urânio tenha apenas uma pequena estabilidade de forma que possa, após a captura de nêutrons, se dividir em dois núcleos de tamanhos aproximadamente iguais (MEITNER; FRISCH, 1939, p. 239, tradução nossa).

“Com base, entretanto, nas ideias atuais sobre o comportamento dos núcleos pesados, surge uma imagem inteiramente diferente e essencialmente clássica desses novos processos de desintegração. Por causa de seu empacotamento próximo e forte troca de energia, seria esperado que as partículas em um núcleo pesado se movessem de uma forma coletiva que tem alguma semelhança com o movimento de uma gota de líquido. Se o movimento for suficientemente violento com a adição de energia, essa queda pode se dividir em duas gotas menores.” (MEITNER; FRISCH, 1939, p. 239, tradução nossa)¹⁹.

Como abordado anteriormente, apesar das contribuições de Meitner para a descoberta da fissão nuclear, apenas Otto Hahn recebeu o Prêmio Nobel de Química de 1944. McGrayne (1994) afirma que, no discurso da entrega do Prêmio Nobel, Hahn enfatizou que apenas a química tinha resolvido o problema. No entanto, alguns autores como Frisch (1970), Rossiter (1993), McGrayne (1994) e Crawford, Sime e Walker (1997) trazem relatos de cientistas próximos a Hahn e Meitner que afirmam a participação e liderança de Meitner na equipe de trabalho. Os relatos também afirmam que, sem a contribuição dela, não seria possível chegar à conclusão dos estudos realizados. Meitner foi indicada ao Prêmio Nobel 49 vezes, sendo indicada 30 vezes ao Nobel de Física e 19 vezes ao Nobel de Química²⁰. Não foi, porém, laureada²¹.

Apesar de os trabalhos de Meitner sobre a fissão nuclear não terem sido reconhecidos e a mesma tendo recusado um convite para trabalhar com a bomba atômica durante a Segunda Guerra Mundial, a mídia atribuiu a ela a grande descoberta que

¹⁹ “On the basis, however, of present ideas about the behaviour of heavy nuclei, an entirely different and essentially classical picture of these new disintegration processes suggests itself. On account of their close packing and strong energy exchange, the particles in a heavy nucleus would be expected to move in a collective way which has some resemblance to the movement of a liquid drop. If the movement is made sufficiently violent by adding energy, such a drop may divide itself into two smaller drops.” (MEITNER; FRISCH, 1939, p. 239).

²⁰ Meitner foi indicada ao Prêmio Nobel de Física nos anos de 1937, 1940, 1941, 1943, 1945, 1946, 1947, 1948, 1949, 1954, 1955, 1956, 1959, 1961, 1964, 1965 e 1967. Ao Nobel de Química ela foi indicada nos anos de 1924, 1925, 1929, 1930, 1933, 1934, 1936, 1937, 1939, 1941, 1942, 1946, 1947 e 1948.

²¹ As informações a respeito das indicações de Meitner ao Prêmio Nobel estão disponíveis em: https://www.nobelprize.org/nomination/archive/show_people.php?id=6097. Acesso em: 26/07/2022.

culminou nas bombas atômicas lançadas em Hiroshima e Nagasaki nos dias 6 e 9 de agosto de 1945, respectivamente.

No obituário de Meitner, escrito por seu sobrinho, Frisch, em 1970, para a Royal Society, ele afirma que, desde a infância, Meitner sempre almejou se tornar física, devido ao seu interesse em compreender o funcionamento da natureza. Apesar de ter ficado amplamente conhecida após sua participação na descoberta da fissão nuclear como a “Mãe da Bomba Atômica”, Meitner era uma referência entre os físicos devido aos estudos pioneiros da radioatividade. Por conta desses estudos, Frisch (1970) destaca que Einstein apelidou Meitner de “Madame Curie da Alemanha”, devido ao fato de grande parte de suas pesquisas sobre radioatividade terem sido realizadas em Berlim.

No que diz respeito à bomba atômica, Frisch (1970) também pontua que, além de Meitner ter se recusado a participar do desenvolvimento da bomba, ela não acreditava ser possível a sua construção e temia que os estudos dessem certo. MacGrayne (1994) traz em seu livro um trecho de uma entrevista dada por Lise Meitner para a Saturday Evening Post, em que ela diz: “Eu nunca trabalhei no rompimento do átomo com a ideia de produzir armas mortais. Não se deve culpar a nós, cientistas, pelo uso que os técnicos destinaram a nossa descoberta. O que ainda dá margem para ansiedade, é claro, é o que a humanidade fará com esse conhecimento recém-adquirido, que poderia vir a ser usado para destruição em escala tremenda.” (MEITNER, 1964, p. 4, tradução nossa). No entanto, é importante lembrar que o Projeto Manhattan, programa de pesquisa e desenvolvimento da bomba atômica, foi liderado pelo físico estadunidense Robert Oppenheimer (1904-1967) e contou com a participação de cientistas de diversas áreas do conhecimento, como física, química, engenharia e matemática.

1.3. UMA REPRESENTANTE DA LUTA DAS MULHERES NA CIÊNCIA

Após a repercussão da fissão nuclear, Meitner foi convidada para inúmeros eventos científicos para palestrar sobre diversas temáticas, inclusive sobre a sua trajetória acadêmica. Durante sua passagem pelos Estados Unidos, a cientista recebeu o convite para ministrar uma palestra no Bryn Mawr College, em 15 de abril de 1959, que culminou na publicação do artigo intitulado *The status of women in the professions* (O Status das Mulheres nas Profissões), publicado na *Physics Today*, em 1960.

É importante ressaltar que Meitner se tornou uma importante representante na luta por emancipação das mulheres, e também pela igualdade educacional e profissional, principalmente no que diz respeito ao acesso de mulheres em carreiras científicas, espaços reconhecidos como masculinos por grande parte da sociedade da época. Sendo assim, Meitner (1960) aponta os principais problemas enfrentados por mulheres na academia, sendo alguns desses vivenciados por ela. Porém, antes do relato de sua vivência, a cientista fez uma breve contextualização histórica das lutas das mulheres, principalmente as feministas, para viabilizar o acesso feminino à educação.

No que diz respeito às lutas das mulheres e feministas da época, Meitner (1960) destaca que, para buscar igualdade profissional e jurídica das mulheres, foi necessário romper com diversos costumes então aceitos pela sociedade, e isso só se tornou possível mediante a luta pela emancipação feminina. Nesse sentido, a cientista afirma que os movimentos feministas, criados na Revolução Francesa, tiveram grande importância nas discussões em torno das demandas por igualdade entre homens e mulheres. Nesse contexto, a luta pela formação universitária e profissional das mulheres enfrentou grandes desafios, haja vista que a oposição, devido a velhos hábitos e tradições, não defendia a educação e profissionalização das mulheres, pois afirmava que, se isso ocorresse, a família seria destruída.

Apesar da disputa ideológica, as conquistas das mulheres foram sendo concretizadas em momentos e formas diferentes ao redor do mundo. Ao realizar um panorama das conquistas das mulheres nos últimos 100 anos, Meitner (1960) afirma que, principalmente as mulheres acadêmicas, apesar de ainda terem algumas questões para serem alcançadas, tiveram resultados satisfatórios, uma vez que a maioria das profissões ditas masculinas se tornaram acessíveis às mulheres.

No que diz respeito aos desafios enfrentados durante sua trajetória acadêmica, Meitner (1960) classifica-os como episódios de ajuda e assistência, e, também, momentos de preconceitos desencorajadores e até mesmo cômicos. A cientista relata o caso do químico Emil Fischer, que relutou em permitir que ela trabalhasse em seu laboratório com Hahn, assim como não permitiu sua entrada em salas de aula onde cientistas homens realizavam seus trabalhos experimentais. Dessa maneira, Meitner foi impedida de estudar radioquímica nos primeiros anos em Berlim. Vale ressaltar que, apesar desse e de outros episódios desafiadores, Meitner (1960) destaca a importância e apoio dos cientistas Max Planck e Emil Fischer para o desenvolvimento da sua carreira científica, pois ambos

deram a ela o passaporte para as atividades científicas, bem como contribuíram, de certa forma, na superação de alguns preconceitos contra mulheres cientistas.

Apesar das diversas conquistas das mulheres acadêmicas, Meitner (1960) reconhece que exemplos como Marie Curie, Irène Joliot-Curie e até mesmo o dela não representam as condições gerais das mulheres acadêmicas, afinal de contas, o preconceito e opressão de gênero ainda persistem, fazendo com que muitas mulheres ainda enfrentem dificuldades para alcançar cargos de liderança e até mesmo chegar a altos níveis do sistema educacional.

A partir das narrativas históricas da trajetória acadêmica de Meitner, é possível perceber o quanto ela foi afetada por questões que envolveram raça e gênero, e, também, o quanto demorou para ser reconhecida e valorizada enquanto cientista. Apesar disso, mesmo que tardiamente, Meitner foi reconhecida pelos trabalhos desenvolvidos e recebeu diversas homenagens, como os bustos que existem nas instituições da Alemanha e da Áustria, o elemento químico de número atômico 109, o meitnério (Mt), e um asteroide que leva o seu nome.

É importante destacar, também, que Meitner foi a primeira mulher a receber o Prêmio Enrico Fermi, em 1966, devido aos trabalhos realizados em parceria com Hahn e Strassmann. Meitner faleceu em 27 de outubro de 1968, em Cambridge, Inglaterra. Diferentemente de outros cientistas que trabalhavam com elementos radioativos, ela não teve nenhuma complicação de saúde relacionada com a exposição à radiação.

2. IDA NODDACK E A DESCOBERTA DO TECNÉCIO E DO RÊNIO

Ida Eva Tacke nasceu em 25 de fevereiro de 1896 em Lackhausen, Alemanha. Foi a terceira filha de Hedwig Danner, um empresário do ramo de produção de vernizes, e Adelbert Tacke. Concluiu os estudos equivalentes atualmente ao Ensino Médio em 1915. Em seguida, ingressou na Technische Hochschule, atualmente Technische Universität, em Charlottenburg, na Alemanha. Em 1918, obteve o título de Engenharia Química, e, em 1921, obteve o doutorado em Engenharia devido aos estudos desenvolvidos na área de química orgânica, estudando sobre os anidridos de ácidos graxos de alto peso molecular, com a tese *Die anhydride höherer aliphatischer Fettsäuren* (Anidridos de ácidos graxos superiores). Quando Tacke ingressou na universidade, fazia apenas seis anos que as mulheres tinham conseguido permissão para estudar nas universidades de Berlim.

Após obter o diploma de doutorado em 1921, aos 25 anos, Tacke trabalhou na Allgemeine Elektrizität Gesellschaft de 1921 a 1923, e depois na Siemens-Halske de 1924 a 1925. Em 1925, Tacke foi nomeada cientista visitante e iniciou os trabalhos no Physikalisch-Technische Reichsanstalt, laboratório de química da Universidade de Berlim chefiado pelo químico alemão Walter Noddack (1893-1960). Juntos, Tacke e Noddack (Figura 4) iniciaram os estudos para a busca de elementos ausentes da tabela periódica.

Figura 4 - Walter e Ida Noddack



Fonte: Tiggelen; Lykknes, 2012, p. 105.

Quando Tacke e Noddack decidiram encontrar novos elementos químicos, existiam apenas sete elementos químicos da tabela periódica ausentes, cujos números atômicos eram 43, 61, 72, 75, 85, 87 e 91. Sendo assim, eles decidiram focar os estudos nos elementos 43 e 75, devido ao fato de estarem localizados no mesmo grupo. Na busca por esses elementos, Tacke realizou, em tempo integral e sem remuneração, uma extensa revisão de literatura, enquanto Noddack realizava pesquisa no laboratório.

Após as pesquisas realizadas, Tacke e Noddack perceberam que, apesar de ocorrer uma mudança gradual com relação às propriedades dos elementos do mesmo grupo e os

demais metais de transição, muitas vezes os elementos não tinham propriedades semelhantes às do primeiro elemento do grupo. Essa observação explicou o motivo pelo qual os pesquisadores da época não conseguiram descobrir os elementos ausentes, pois eles utilizavam minérios de manganês para a descoberta dos novos elementos, na crença de que os elementos ausentes tivessem propriedades químicas semelhantes às do manganês.

Entre as poucas lacunas ainda existentes no sistema periódico dos elementos químicos, os mais interessantes são os abaixo do manganês. Na verdade, aqui faltam dois elementos: o eka-manganês com número atômico 43 e o dwi-manganês com número atômico 75. (NODDACK; TACKE; BERG, 1925, p. 3, tradução nossa)²².

A partir das pesquisas realizadas, Tacke e Noddack previram que os elementos de número atômico 43 (eka-manganês) e 75 (dvi-manganês)²³ tinham propriedades semelhantes aos seus vizinhos de forma horizontal, ou seja, tinham semelhança aos elementos: Z= 42, molibdênio; Z= 44, rutênio; Z= 74, tungstênio; Z= 76, ósmio; Z= 24, crômio. Por conta disso, concentraram os estudos em minérios contendo esses metais, e produziram centenas de amostras para análise dos comprimentos de onda das linhas de emissão de raios-x.

No ano de 1925, Tacke, Noddack e Otto Berg (1873-1939), químico alemão que trabalhava na Siemens-Halske, por meio do minério columbita, identificaram o dvi-manganês e deram o nome rênio para esse novo elemento, em homenagem ao rio Reno. Na história do rênio da tabela periódica proposta pela Royal Society of Chemistry²⁴, há a informação de que, em 1905, o químico japonês Masataka Ogawa (1865-1930) erroneamente afirmou que tinha encontrado o tecnécio; porém, ao serem reanalisados os espectros fotográficos de Ogawa, foi constatado que ele tinha encontrado o rênio.

Apesar de terem encontrado o rênio teoricamente, contemplando os físicos, foi apenas em 1929 que eles conseguiram isolar a primeira grama do rênio e publicar diversos artigos sobre suas propriedades químicas. Devido a essa descoberta, Tacke e Noddack

²² “Among the few still existing holes in the periodic system of the chemical elements the most interesting are those below manganese. In fact, here we miss two elements: the ekamanganese with atomic number 43 and dwimanganese with atomic number 75.” (NODDACK; TACKE; BERG, 1925, p.3).

²³ Os prefixos “eka” e “dvi” significam “primeiro” e “segundo” em sânscrito. Mendeleev utilizou esses prefixos para indicar as lacunas existentes na tabela periódica, ou seja, “eka” e “dvi” foram utilizados para indicar a ausência de uma ou duas lacunas do elemento que vem depois do prefixo.

²⁴ Informações históricas sobre o rênio. Disponível em: <https://www.rsc.org/periodic-table/element/75/rhenium>. Acesso em: 10/04/2022.

foram indicados ao Prêmio Nobel de Química em conjunto nos anos de 1933, 1935 e 1937. Walter foi indicado ao Nobel de Química nove vezes, nos anos de 1932, 1933, 1934, 1935 e 1937, sendo que nos anos de 1932 e 1934 foi indicado individualmente.²⁵ Ida foi indicada quatro vezes ao Nobel de Química, nos anos de 1933, 1935 e 1937, todas as vezes em conjunto com seu marido. Apesar de terem sido indicados ao Nobel, eles não foram laureados. Ida Noddack foi a terceira mulher a ser indicada ao Prêmio Nobel. As duas primeiras foram as cientistas Marie Curie e Lise Meitner.

No mesmo período em que afirmaram ter encontrado o dvi-manganês, Tacke e Noddack asseguraram que também tinham identificado linhas espectrais do eka-manganês. A esse elemento deram o nome de masúrio, em homenagem à Masúria, atualmente uma região localizada na Polônia. No entanto, como outros cientistas não conseguiram reproduzir os experimentos de Tacke e Noddack e identificar traços do masúrio, passaram a afirmar que eles estavam equivocados. Este erro custou a reputação de Tacke e Noddack perante aos seus pares (BRAZIL, 2021; HABASHI, 1997, 2009; OFFEREINS, 2011).

Em 1937, o químico italiano Carlo Perrier e o físico italiano Emilio Segrè foram creditados pela descoberta do elemento $Z= 43$, atualmente chamado de tecnécio, que é derivado do grego e significa artificial. Porém, a história do tecnécio da Royal Society of Chemistry destaca que uma possível descoberta desse elemento na década de 1920 não pode ser descartada²⁶, ou seja, a descoberta do elemento $Z= 43$ pode ter sido realizada por Tack e Noddak.

Com o intuito de reivindicar a descoberta do elemento $Z= 43$ aos cientistas Tecke, Noddack e Berg, o físico belga Pieter Van Assche publicou, em 1988, um artigo na Nuclear Physics intitulado *The ignored discovery of the element $Z= 43$* (A descoberta ignorada do elemento $Z = 43$). Após reanalisar os resultados experimentais da equipe, Assche (1988) afirma que não há razão para questionar a credibilidade das evidências experimentais. No entanto, ao realizar um levantamento histórico (que abrangeu 63 anos, desde 1925) sobre o elemento 43, o químico Kuroda (1989) revela que não há razão para se creditar ao casal Noddack e Berg a descoberta do elemento 43, e critica os argumentos

²⁵ Indicações ao Prêmio Nobel. *Nomination Archive. NobelPrize.org*. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/nomination/archive/list.php?prize=2&year=1932>. Acesso em: 06/05/2022.

²⁶ Informações históricas sobre o tecnécio - *Royal Society of Chemistry*. Disponível em: <https://www.rsc.org/periodic-table/element/43/technetium>. Acesso em: 10/04/2022.

apresentados no artigo publicado por Assche em 1988. Sendo assim, atualmente, apenas a descoberta do rênio é creditada aos Noddacks e Berg.

2.1. CASAMENTO X CARREIRA CIENTÍFICA

Ida Tacke e Walter Noddack se casaram em 1926. Durante os anos de casamento, Ida Noddack ocupou apenas cargos de pesquisa e, na maioria das vezes, não remunerados, bem como realizou suas investigações utilizando equipamentos ultrapassados e emprestados por Walter Noddack e colaboradores. De certa forma, ao optar pelo casamento, no contexto da Alemanha em guerra e nazista, Ida aceitou o abandono da carreira profissional remunerada como química. Por conta disso, Ida Noddack se dedicou, em período integral e sem remuneração, à revisão de literatura e pesquisas sobre espectroscopia de raio-X.

As carreiras de mulheres cientistas nesta época, dentre elas a de Ida Noddack, foram afetadas diretamente devido ao fato de que, durante a Primeira Guerra Mundial (1914-1918) e o Regime Nazista (1933-1945), existiam leis que proibiam mulheres casadas de trabalhar, pois acreditava-se que, assim, o problema do alto índice de desemprego seria amenizado. Já no governo nazista, além de se proibir as mulheres de exercerem algumas profissões e de ocuparem cargos de chefia, existia uma lei que exigia a demissão das mulheres após o casamento (RENTETZI, 2007; TIGGELEN; LYKKNES, 2012, 2019).

Apesar das diversas barreiras enfrentadas por mulheres cientistas ao optarem por casamentos com seus colegas de trabalho – sendo uma delas se tornar a assistente invisível do seu parceiro –, o caso de Ida Noddack não pode ser enquadrado nessa categoria de análise. Tiggelen e Lykknes (2012) apontam que Ida Noddack exerceu um papel de liderança nas pesquisas realizadas com Walter Noddack, pois há diversas publicações sobre novos elementos e geoquímica em que seu nome aparece como primeira autora, além de artigos em que consta como única autora. Estas, porém, foram observadas com menor frequência.

Apesar das publicações excluírem os detalhes da divisão do trabalho desenvolvido, a fim de analisar as carreiras científicas, os historiadores das ciências, na maioria das vezes, exploram os registros de publicações científicas com o intuito de identificar um padrão de colaboração e uma possível distribuição desigual do

reconhecimento entre chefes de laboratório e seus assistentes e colaboradores. Tiggelen e Lykknes (2012), ao analisarem as contribuições do casal Noddack, dividiram as publicações em sete categorias: Fotoquímica, Química Orgânica, Novos Elementos, Geoquímica, Química Analítica, Físico-química e Fisiologia Química. Antes de unirem forças na busca de novos elementos, Ida e Walter publicaram de forma individual e em parceria com seus respectivos orientadores e colaboradores nas áreas em que eram especialistas, Química Orgânica e Fotoquímica, respectivamente. Depois, na busca pelos elementos 43 e 75, publicaram na área de Novos Elementos – Ida ficou responsável pela revisão da literatura e espectroscopia de raios-X, e a parte analítica foi dividida entre Ida e Walter.

Depois da descoberta do rênio, Walter retornou seu trabalho em Fotoquímica, Físico-química e Geoquímica. Enquanto isso, Ida concentrou os estudos em Novos Elementos, mais especificamente nas pesquisas sobre as propriedades químicas no rênio, e posteriormente trabalhou na área de Geoquímica e Fisiologia Química. Tiggelen e Lykknes (2012) destacam que, até 1927, Ida aparecia como segunda autora nas publicações em parceria com Walter e Berg. No entanto, após esse período, ela se tornou a primeira autora, bem como publicou diversos artigos sozinha na área de Novos Elementos.

Em trabalhos colaborativos, devido aos estereótipos de gênero impostos pela sociedade, era comum para as mulheres cientistas realizarem trabalhos experimentais enquanto os homens empreendiam o trabalho teórico. Já que os trabalhos experimentais exigiam longos e exaustivos períodos no laboratório desenvolvendo trabalhos manuais, os homens, na maioria das vezes, rejeitavam esse posto. Além disso, ao analisarmos a divisão do trabalho de acordo com o gênero, é possível perceber a subvalorização das contribuições das mulheres, visto que, na maioria das vezes, são os seus parceiros que recebem um maior reconhecimento e prestígio profissional a partir do trabalho realizado em conjunto (SCHIENBINGER, 2001; SCOTT, 1995).

Os papéis desenvolvidos pelos Noddacks durante as pesquisas científicas fogem dos padrões de gêneros impostos para um casal colaborativo. Tiggelen e Lykknes (2012) perceberam que, na maioria das vezes, foi Ida quem tomou atitudes mais arriscadas em suas pesquisas, ao passo que Walter tinha uma atitude mais conservadora. Além disso, outra inversão do padrão comum das mulheres cientistas está relacionada com o fato de

que, quando necessário, Ida foi a responsável pelo desenvolvimento teórico e Walter o responsável experimental. Logo, o modelo de colaboração marido/professor e esposa/assistente não se enquadra para os Noddacks, visto que eles desenvolveram projetos em comum nos quais o papel de liderança foi alternando ao longo dos anos. Além das publicações com Walter Noddack, Ida Noddack realizou diversas publicações individuais e com outros colaboradores. Devido a esse motivo, a parceria científica dos Noddacks foi classificada por Ida Noddack como uma espécie de unidade de trabalho ou grupo de trabalho. Até onde temos conhecimento, a relação dos Noddacks no campo científico foi mais equânime e colaborativa.

Conforme Walter Noddack se deslocava para trabalhar em outras universidades, Ida o acompanhava e desenvolvia pesquisas no laboratório do marido enquanto colaboradora não remunerada. Em 1935, Walter foi nomeado professor titular de físico-química na Universidade de Freiburg, localizada em Berlim. Em 1941, o casal se muda para Strassburg, local em que Walter exerceu, até 1944, a função de professor e diretor do Instituto de Físico-Química e também diretor do Instituto de Fotoquímica Reich Universität. A Reich Universität era considerada uma universidade nazista. Devido a esse fato, ocorreu uma suposta associação do casal Noddack com o regime nazista. Além disso, mesmo existindo, nessa época, uma rejeição ao emprego de mulheres, foi nessa universidade que Ida recebeu uma posição remunerada enquanto pesquisadora (BRAZIL, 2021; HABASHI, 1997, 2009; OFFEREINS, 2011; TIGGELEN; LYKKNES, 2012).

Mesmo depois de ter sido comprovado o não envolvimento com o nazismo, ao final da Segunda Guerra Mundial, Walter encontrou dificuldade para encontrar outro posto de trabalho. No entanto, de 1946 até a sua morte em 1960, Walter foi o presidente de química da Philosophisch-Theologische Hochschule em Bamberg e criou um Instituto de Geoquímica, instituto privado no qual desenvolveu pesquisas em geoquímica e fotoquímica. Nesse período, Ida foi contratada, de maneira não remunerada, no Instituto de Geoquímica. Além disso, como estava cuidando de um problema de saúde, o progresso de suas pesquisas e sua carreira foi impedido. Durante muitos anos, Ida sofreu com pedras nos rins; por conta dessa enfermidade criou, juntamente com Walter, o campo de estudo em Fisiologia Química.

Apesar da união de mulheres cientistas durante o final do século XIX e início do século XX ter sido uma estratégia importante para o desenvolvimento das pesquisas

científicas desenvolvidas por elas (principalmente no campo da radioatividade), não há relatos de que Ida tenha feito parte de algum coletivo de mulheres cientistas da sua época. Após a morte de Walter, Ida continuou trabalhando no Instituto de Geoquímica. Em 1968, Ida se aposentou e se mudou para Bad Neuenahr, Alemanha, local onde faleceu dez anos depois. Os Noddacks não tiveram filhos; essa escolha pode ter contribuído para a produtividade científica do casal.

2.2. A PRIMEIRA CIENTISTA A PROPOR A IDEIA DA FISSÃO NUCLEAR

Os estudos realizados em 1934 pelo físico italiano, naturalizado estadunidense, Enrico Fermi (1901-1954) e seus colaboradores, que culminaram na formação de elementos transurânicos – elementos químicos artificiais com número atômico maior que 92, processo posteriormente denominado de fissão nuclear –, chamaram a atenção de Ida Noddack, pois ela constatou que as evidências experimentais de Fermi estavam incompletas. Sendo assim, no artigo publicado em 1934 na revista *Zeitschrift für Angewandte Chemie*, antes de qualquer outra pessoa, Ida Noddack traz a ideia de fissão nuclear ao criticar as conclusões de Fermi, afirmando o seguinte:

“Pode-se supor igualmente que, quando os nêutrons são usados para produzir desintegrações nucleares, ocorrem algumas reações nucleares distintamente novas que não foram observadas anteriormente com o bombardeio de prótons ou partículas alfa de núcleos atômicos. No passado, descobriu-se que as transmutações de núcleos só ocorrem com a emissão de elétrons, prótons ou núcleos de hélio, de modo que os elementos pesados mudam sua massa apenas uma pequena quantidade para produzir elementos próximos. Quando núcleos pesados são bombardeados por nêutrons, é concebível que o núcleo se quebre em vários fragmentos grandes, que certamente seriam isótopos de elementos conhecidos, mas não seriam vizinhos do elemento irradiado.” (NODDACK, 1934, p. 653, tradução nossa)²⁷.

Conforme abordado nos tópicos anteriores, após 5 anos dos trabalhos realizados por Fermi, os cientistas Hahn, Strassman, Meitner e Frisch foram considerados os pioneiros da descoberta da fissão nuclear. Porém, apesar de não ter o devido reconhecimento, não há dúvidas de que Ida Noddack também contribuiu para o conceito

²⁷ “One could assume equally well that when neutrons are used to produce nuclear disintegrations, some distinctly new nuclear reactions take place which have not been observed previously with proton or alpha-particle bombardment of atomic nuclei. In the past one has found that transmutations of nuclei only take place with the emission of electrons, protons, or helium nuclei, so that the heavy elements change their mass only a small amount to produce near neighboring elements. When heavy nuclei are bombarded by neutrons, it is conceivable that the nucleus breaks up into several large fragments, which would of course be isotopes of known elements but would not be neighbors of the irradiated element.” (NODDACK, 1934, p. 653).

de fissão nuclear, assim como Meitner (HABASHI, 1997; SANTOS, 2014; TIGGELEN, 2019).

A fim de expor a omissão e desvalorização do seu trabalho por parte de Hahn e Strassmann, Noddack publicou, em 1939, um artigo no *Die Naturwissenschaften* intitulado *Bererkung zu den Untersuchungen von O. Hahn, L. Meitner und F. Strassman über die Produkte, die bei der Bestrahlung von Uran mit Neutronen entstehen* (Comentário sobre as investigações de O. Hahn, L. Meitner e F. Strassman sobre os produtos que se formam quando o urânio é irradiado com nêutrons). Nessa publicação, Ida Noddack afirma que, apesar de saberem da sua proposta de fissão nuclear, eles não citaram os resultados do seu trabalho.

“[...]Chamado oralmente a atenção para essa omissão, O. HAHN recusou-se a citar meu trabalho, aparentemente porque ele considerava minha suposição de que o urânio poderia se fragmentar em fragmentos maiores sem sentido, já que os teóricos da época consideravam tais reações nucleares impossíveis. (Noddack, p. 211, 1939 tradução nossa)²⁸.

Nas notas do editor em resposta à publicação de Ida Noddack, Hahn e Strassmann pontuaram que a desintegração de um átomo em fragmentos menores tinha sido discutida por muitos cientistas, mas a ideia da fissão nuclear não poderia ser concluída sem evidências experimentais. No entanto, Hahn (1966), em sua autobiografia intitulada *Otto Hahn: A Scientific Autobiography* (Otto Hahn: uma autobiografia científica), destaca que, na época, ninguém prestou atenção na proposta de Ida Noddack. Sua sugestão estava tão fora de sintonia com as ideias então aceitas sobre o núcleo atômico que nunca foram seriamente discutidas (HAHN, 1966, p. 140, tradução nossa)²⁹.

É importante destacar que, de fato, as interpretações teóricas sobre fissão nuclear foram realizadas por duas cientistas, Ida Noddack e Lise Meitner. Em contrapartida, o reconhecimento e o Prêmio Nobel foram concedidos aos cientistas que realizaram os experimentos, Enrico Fermi e Otto Hahn. Fermi foi laureado em 1938 com o Nobel de

²⁸ “[...] Mündlich auf diese Unterlassung aufmerksam gemacht, lehnte O. HAHN ein Zitieren meiner Arbeit ab, offenbar weil er meine Vermutung, dab das Uran vielleicht in größere Bruehstücke zerfallen könnte, für unsinnig hielt, da den Theoretikern damals solche Kernreaktionen unmöglich ersehienen”. (Noddack, p. 211, 1939)

²⁹ “Her suggestion was so out-of-line with the then-accepted ideas about the atomic nucleus that it was never seriously discussed”. (HAHN, 1996, p. 140)

Física, pela identificação de novos elementos radioativos produzidos por irradiação de nêutrons e pela descoberta de reações nucleares efetuadas por nêutrons lentos³⁰.

Além de Otto Hahn e Strassman, Fermi e outros cientistas também rejeitaram o trabalho desenvolvido por Ida Noddack. Silva (2019) afirma que a comunidade científica tinha acesso às pesquisas de Ida Noddack, bem como Fermi e seu grupo de pesquisa. No entanto, eles continuaram defendendo os transurânicos. Dessa maneira, as possíveis razões para a rejeição ao trabalho de Noddack envolviam diversos fatores, como preconceito de gênero, desconfiança e interesses políticos e sociais.

Os principais fatores que podem ter influenciado o não reconhecimento de Ida Noddack no que se refere à fissão nuclear estão relacionados à influência negativa do casal Noddack devido à controvérsia que envolve o masúrio, a publicações científicas apenas em periódicos alemães, à formação em química (que contribuiu para o discurso de que esse seria um problema a ser resolvido pela física e não pela química) e a um possível envolvimento do casal com o regime nazista (OFFEREINS, 2011; TIGGELEN; LYKKNES, 2012, 2019).

Apesar do não reconhecimento da descoberta do masúrio e da fissão nuclear, Ida Noddack recebeu diversas honrarias e homenagens ao longo da sua trajetória, como a medalha Leibig da Sociedade Alemã de Química (em 1931), a medalha Scheele da Sociedade Sueca de Química (em 1934) e a atribuição do seu nome dado a uma rua de sua cidade natal.

3. BERTA KARLIK E OS ISÓTOPOS DO ASTATO

Berta Karlik nasceu em 24 de janeiro 1904 em Viena, Áustria. Foi a primogênita dos três filhos do casal Hofrat Carl Karlik e Karoline Karlik. Oriunda de uma família da alta sociedade vienense, recebeu educação primária em casa e foi incentivada a aprender a tocar piano, pintar e falar diversas línguas. Aos 19 anos, formou-se com distinção unânime na Reform-und Realgymnasium, escola apenas para mulheres.

No mesmo ano em que concluiu o que chamamos atualmente de Ensino Médio, Karlik se matriculou em 1923 na faculdade de filosofia da Universidade de Viena. Em 10

³⁰ Informações sobre laureados do Prêmio Nobel de Física. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/>. Acesso em: 05/05/2022.

de outubro de 1927 defendeu sua dissertação, intitulada *Über die Abhängigkeit der Szintillationen von der Beschaffenheit des Zinksulfides und das Wesen des Szintillationsvorganges* (Sobre a dependência da cintilação e a natureza do sulfeto de zinco e a natureza do processo de cintilação).

Em 1928 recebeu seu doutorado em Filosofia pela Universidade de Viena, e, no mesmo ano, foi aprovada no exame para formação de professores de matemática e física para escolas secundárias. Entre o período de 1929 e 1930, além de ser professora na escola secundária para meninas, iniciou as pesquisas científicas no Institut für Radiumforschung, em Viena. Durante os anos de 1930 e 1931, Karlik foi contemplada pela International Federation of University Women com a Crosby-Hall Scholarship para desenvolver pesquisas científicas sobre raios-X de estruturas cristalinas em Londres na Royal Institution of Great Britain, sob orientação do físico e químico britânico, ganhador do Prêmio Nobel de Física em 1915³¹, William Henry Bragg (1862-1942).

Durante o ano em que esteve no exterior, ela visitou e colaborou com diversas instituições científicas da Inglaterra, em especial o Laboratório de Cavendish, localizado em Cambridge, laboratório de referência, na época, nos estudos do rádio e fissão nuclear, liderado por Rutherford. Além disso, Karlik também visitou o Instituto Curie na França e conheceu pessoalmente Marie Curie. Em 1932 retornou para Viena.

Após se dedicar aos estudos sobre luminescência no Instituto de Pesquisa do Rádio de Viena, Karlik foi nomeada assistente de pesquisa em 1933. Por conta desses estudos, nesse mesmo ano, dividiu com a química nuclear húngara Elisabeth Róna (1890-1981) o prêmio Haitinger, concedido pela Academia Austríaca de Ciências. Ao longo da sua trajetória acadêmica, Karlik recebeu diversas bolsas de estudo, como a bolsa concedida pela Comissão Sueca para Pesquisa Marinha. Na Suécia, ela determinou a concentração de urânio e rádio na água do mar.

Karlik também recebeu diversas honrarias. Apenas para citar algumas: em 1951 recebeu a Medalha de Honra da cidade de Viena, a Medalha Wilhelm Exner da Associação Comercial Austríaca e o Commendeur Cross da Ordre des Palmes Académiques (do primeiro-ministro da França); em 1967 recebeu o Prêmio Erwin

³¹ Informações sobre o Prêmio Nobel de Física de 1915. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1915/summary/>. Acesso em: 05/05/2022.

Schrödinger, devido às notáveis realizações na área da radioatividade e física nuclear; e em 1973 tornou-se a segunda mulher, depois de Meitner, membra da Academia Austríaca de Ciências.

Durante os anos da Segunda Guerra Mundial, Karlik e sua assistente Trude Cless-Bernert (1915-1998) intensificaram os estudos que resultaram na descoberta dos isótopos do elemento 85, o astato. Por conta desse trabalho, ela recebeu o Haitinger de Química de 1947. Em um artigo publicado em 1946 na revista *Naturwissenschaften*, intitulado *Zur Entstehung des Isotops 85²¹⁸* (Sobre a formação do isótopo 85²¹⁸), elas relatam os processos analíticos utilizados na descoberta dos isótopos do astato:

“[...] A emanção de rádio foi dissolvida em ácido clorídrico quente. Os isótopos RaA e RaC foram precipitados com bismuto, RaB com chumbo como co-propulsor, enquanto 87²²² devem permanecer no filtrado. Dois métodos diferentes foram usados, ou seja, precipitação como hidróxidos e como sulfetos. Repetindo os processos químicos várias vezes muito rapidamente, a solução pode ser amplamente limpa de rádio A-B-C em pouco tempo e, se necessário, pode ser alcançado um enriquecimento correspondente de 87²²² no filtrado. Este último foi evaporado o mais rápido possível e sua radiação examinada em uma câmara de ionização conectada a um amplificador proporcional de quatro estágios com um oscilógrafo de loop”. (KARLIK; BERNERT, 1946, p. 23, tradução nossa)³².

Apesar de, em 1939, dois grupos terem chegado perto da descoberta do astato – o primeiro grupo composto por Horia Hulubei (1896-1972) e Yvette Cauchois (1908-1999), e o segundo grupo por Walter Minder (1905-1992) –, a Royal Society of Chemistry credita aos cientistas Dale R. Corson (1914-2012), Kenneth Ross MacKenzie (1912-2002) e Emilio Segrè (1959-1922) a descoberta, em 1940, do elemento 85 a partir do bombardeamento do bismuto com partículas alfa³³. Embora seja um elemento existente na natureza, somente é possível obtê-lo artificialmente (AFONSO, 2011, p. 252).

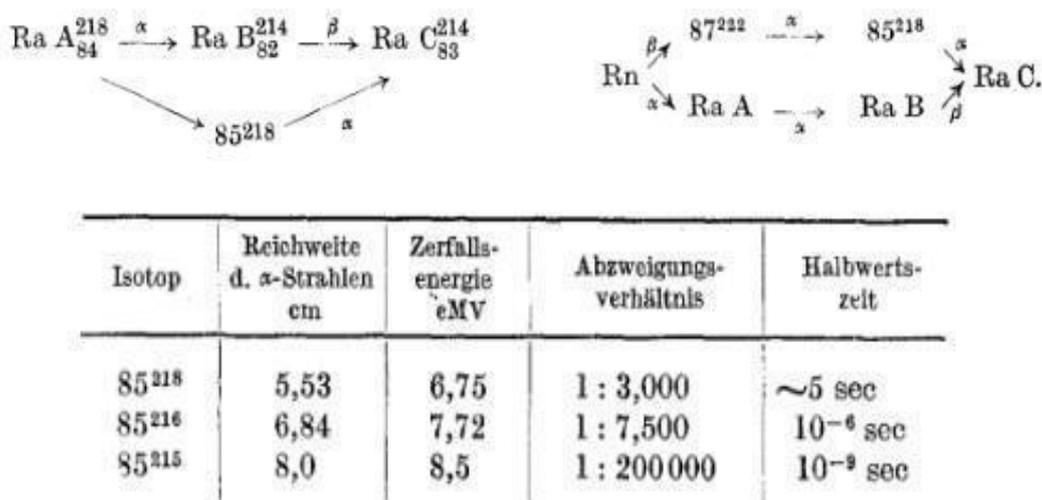
No artigo intitulado *Unsere heutigen Kenntnisse über das Element 85 (Ekajod)* (Nosso conhecimento atual do elemento 85 (Ekajod)), publicado na *Monatshefte für*

³² “[...] Radiumemanation wurde in heißer Salzsäure gelöst. Die Isotope RaA und RaC wurden daraus mit Wismuth, RaB mit Blei als Mitreibsubstanz ausgefällt, während 87²²² im Filtrat verbleiben müßte. Es wurden zwei verschiedene Verfahren, nämlich die Ausfällung als Hydroxyde und als Sulfide verwendet. Durch mehrfache sehr rasche Wiederholung der chemischen Prozesse konnte die Lösung in kurzer Zeit weitgehend von Radium A-B-C gereinigt werden und damit gegebenenfalls eine entsprechende Anreicherung von 87²²² im Filtrat erzielt werden. Letzteres wurde möglichst rasch eingedampft und seine -Strahlung in einer ionisationskammer, angeschlossen an einen vierstufigen Proportionalverstärker mit Schleifenoszillographen, untersucht”. (KARLIK; BERNERT, 1946, p. 23).

³³ Informações históricas sobre o astato. Disponível em: <https://www.rsc.org/periodic-table/element/85/astatine>. Acesso em: 10 de maio de 2022.

Chemie em 1947, Karlik cita as tentativas malsucedidas da descoberta do elemento 85 realizadas por Hulubei, Cauchois e Minder em 1939 e faz uma revisão geral dos resultados dos testes experimentais disponíveis até o momento. Karlik reafirmou nessa publicação que os três isótopos do astato foram encontrados em Viena, e, conforme apresentado na Figura 5, a cientista apresenta, no artigo supracitado, as possíveis reações do decaimento radioativo do rádio e radônio que originam o elemento 85^{218} , bem como uma tabela com informações relevantes dos isótopos conhecidos até o momento.

Figura 5 - Reação do decaimento radioativo e tabela com informações sobre os isótopos do elemento 85



Fonte: adaptado de Karlik, B. Unsere heutigen Kenntnisse über das Element 85 (Ekajod). *Monatshefte für Chemie* 77, 1947, p. 351. <https://doi.org/10.1007/BF00899023>.

Ao realizar estudos sobre a política e cultura imaterial da “Viena Vermelha”, época em que o Partido Social Democrata se manteve no poder de 1919 a 1934 e foram feitas diversas reformas sociais (entre elas as que passaram a admitir mulheres nas instituições acadêmicas), Rentetzi (2004) explora a participação das mulheres em pesquisas sobre radioatividade e o contexto político e ideológico da época. Com isso, é possível observar que políticas de gênero encorajaram mulheres a ingressarem no Instituto do Rádio. Vale ressaltar que estas cientistas não eram apenas técnicas ou assistentes invisíveis de laboratórios de seus colegas do sexo masculino; elas formaram seus próprios grupos de pesquisa e realizaram experimentos a fim de compreender os fenômenos químicos, físicos e biológicos de substâncias radioativas, bem como realizaram publicações na mesma proporção que seus colegas homens.

Com relação às políticas de gênero, Rentetz (2004) afirma que, em 1919, os sociais democratas em Viena tinham o objetivo de transformar a cultura da classe trabalhadora e a educação, apoiando os direitos das mulheres. Assim, as mulheres passaram a ter direito ao voto, ao ensino superior e a salários iguais aos dos homens. Com isso, devido aos movimentos trabalhistas e feministas da época, elevou-se o número de mulheres matriculadas nas universidades de Viena. No entanto, essas conquistas para as mulheres fizeram com que muitas delas, principalmente as acadêmicas, sacrificassem a maternidade e se submetessem a uma carga horária de trabalho excessiva, afetando diretamente suas vidas pessoais.

Rentezi (2004; 2007) afirma que, devido a questões políticas e sociais entre 1920 e 1930, o Instituto do Rádio continha um grande número de mulheres desenvolvendo pesquisas na área de radioatividade. Porém, durante a ascensão do nazismo, o Instituto do Rádio de Viena sofreu diversas alterações, como a demissão de cerca de um quarto dos pesquisadores devido às sanções antisemitas e a diminuição do número de funcionárias do sexo feminino. Além disso, durante a guerra, Gustav Ortner (1900-1984) substituiu Stefan Meyer (1872-1949), o ex-diretor do Instituto do Rádio, devido à herança judaica deste. Forstner (2019) aponta que, nesse período, ocorreu também a união entre partes do Segundo Instituto de Química da Universidade de Viena e o Instituto de Pesquisa do Rádio, que pertencia à Academia Austríaca de Ciências, para a criação do Institute for Neutron Research em 1943.

Por ser considerada por Ortner como discreta e politicamente desinteressada, Karlik foi autorizada a permanecer no Instituto do Rádio recebendo um salário regular. Possivelmente, foi o seu comportamento discreto que abriu portas para sua carreira científica no pós-guerra. Porém, esse tipo de comportamento era o que se esperava de uma mulher cientista, reforçando, de todo modo, os estereótipos de gênero na ciência.

3.1. UMA REPRESENTANTE DOS ESTUDOS NUCLEARES PACÍFICOS

Apesar de ter tido a oportunidade de deixar o país durante o regime nazista, Karlik decidiu permanecer em Viena, pois acreditava que a sua permanência contribuiria para melhorias do país. Essa afirmação pode ser constatada por meio de uma carta escrita por Karlik em 11 de setembro de 1938 para a radioquímica norueguesa Ellen Gleditsch (1879-1968) (RENTETZI, 2007, 2011).

“Acho que talvez alguns de meus amigos ingleses se perguntem por que não estou deixando a Alemanha em protesto. Cheguei à conclusão de que o protesto por parte de um indivíduo alemão é bastante inútil no momento e que mais se faz ficando e tentando melhorar as coisas dentro do país”. (KARLIK, 1938 apud RENTETZI, 2011, p. 164, tradução nossa)³⁴.

Após a guerra, Karlik (Figura 6) tornou-se ativa na Associação Austríaca de Mulheres Universitárias, sendo membro fundadora da Sociedade Austríaca de Física. Por ser politicamente consciente, apoiou seus colegas judeus que foram perseguidos durante o período nazista.

Figura 6 - Berta Karlik e Trude Cless-Bernert



Fonte: Rincón Educativo. (<https://rinconeducativo.org/eu/node/1727>).

Ao ser finalizado o processo de desnazificação das universidades austríacas, Karlik assumiu provisoriamente a liderança do Instituto do Rádio, para depois assumir novamente a direção. Após a aposentadoria de Stefan Meyer em 1947, Karlik foi nomeada

³⁴ “I think perhaps some of my English friends wonder why I am not leaving Germany in protest. I have come to the conclusion that protest on the part of a German individual is quite useless at the moment and that more is done by staying and trying to improve matters from within the country”. (KARLIK, 1938 apud RENTETZI, 2011, p. 164)

diretora do Instituto de Pesquisa do Rádio, cargo que exerceu até sua aposentadoria em 1974. No entanto, mesmo após sua aposentadoria, Karlik continuou trabalhando no instituto até a sua morte.

Em 1942, tornou-se professora remunerada da Universidade de Viena; em 1946, recebeu o título de professora associada; em 1950 foi nomeada professora extraordinária; e em 1956 foi a primeira mulher na Áustria a ser promovida a professora titular de Física Nuclear Experimental da Universidade de Viena. Para Ingrisich (2022) e Kniefacz (2022), o fato de a primeira professora catedrática só ter sido nomeada quase meio século depois da primeira mulher ter sido qualificada como professora da Universidade de Viena tem relações diretas com o regime nazista, que interrompeu o desenvolvimento das pesquisas e carreiras das mulheres pioneiras da ciência vienense.

Karlik e outras cientistas, como Elizabeth Rona (1890-1981), Elizaveta Karamihailova (1897-1968), Marietta Blau (1894-1970), Lise Meitner e Marie Curie, fizeram parte do que Rayner-Canham e Rayner-Canham (1997) classificaram como “colégio invisível”, termo utilizado à rede de apoio entre mulheres cientistas que se comunicavam de maneira social e profissional. Essa rede de apoio contribuiu para os avanços relevantes no campo da radioatividade.

Durante a década de 1950, Karlik se tornou um grande nome da física austríaca e uma importante representante dos estudos pacíficos do átomo. Ela liderou a adesão austríaca na CERN³⁵ – Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear. Além disso, foi uma das lideranças austríacas que incentivou o governo sobre o uso pacífico da energia nuclear (MAISEL, 2021; RAYNER-CANHAM; RAYNER-CANHAM, 1997; RENTETZI, 2007).

Karlik faleceu em 4 de fevereiro de 1990, com 84 anos, idade considerada avançada quando comparada às cientistas da sua época que trabalharam com elementos radioativos. Após sua morte, ela recebeu algumas homenagens: em 1998, um dos portões da memória³⁶ da Universidade de Viena recebeu o seu nome; em 2016, o artista Thomas Baumann construiu um monumento à sua pessoa (Figura 7), que foi instalado no pátio da

³⁵ História da criação da CERN, a Ciência da paz. Disponível em: <https://home.cern/about/who-we-are/our-history>. Acesso em: 10 de maio de 2022.

³⁶ Informações sobre a nomeação dos portões da Universidade de Viena. Disponível em: <https://geschichte.univie.ac.at/de/artikel/tore-der-erinnerung>. Acesso em: 12 de maio de 2022.

Universidade de Viena; e, em 2011, a Universidade de Viena criou três cátedras por meio do Programa Berta Karlik³⁷, que tem como objetivo promover o trabalho desenvolvido por mulheres cientistas, bem como contribuir para a igualdade de gênero na ciência.

Figura 7 - Monumento a Berta Karlik localizado no pátio da Universidade de Viena



Fonte: Arquivo privado Katharina Kniefacz, Viena, 2022. Autora: Katharina Kniefacz, disponível em: <https://geschichte.univie.ac.at/de/bertha-karlik>.

4. MARGUERITE PEREY E A DESCOBERTA DO FRÂNCIO

Marguerite Catharine Perey nasceu em 19 de outubro de 1909 em Villemomble, Paris. Era a filha mais nova dos cinco filhos de Émile Louis Perey e Anne Jeanne Perey, uma família protestante pertencente à classe média francesa. Após a morte do seu pai em 1914, sua família teve dificuldade financeira para se manter e financiar os estudos universitários de Perey e seus irmãos. Por conta disso, Perey estudou química na École d'Enseignement Technique Féminine, escola na qual se formou como técnica de química em 1929. Rayner-Canham e Rayner-Canham (2019) informam que Marie Curie tinha o

³⁷ Informações sobre o Programa Berta Karlik. Disponível em: https://fsp-fgg.univie.ac.at/aktuellesveranstaltungen/einzelansicht/news/650-jahr-jubilaem-universitaet-wien-programmschwerpunkt-geschlechtergerechtigkeit-2/?cHash=56429dab2e6cd28f6169ab5cf3ae3db9&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News. Acesso em: 12 de maio de 2022.

hábito de contratar as estudantes recém-formadas dessa escola técnica que tivessem obtido os melhores desempenhos.

Informações do Museu Curie³⁸ relatam que Marie Curie, ao abrir o seu laboratório para as mulheres, tinha a intenção de afirmar o lugar das mulheres na ciência e medicina. Para isso, não levava em consideração a nacionalidade, religião ou histórico familiar. No entanto, utilizou como critérios de seleção a seriedade e competência dessas mulheres. Rentetzi (2007) indica que, nos anos de 1906 a 1934, as mulheres representavam cerca de 25% a 30% dos profissionais do Instituto do Rádio de Paris.

Por meio de uma bolsa de estudo da União Mineira de Haut-Katanga³⁹, empresa que explorou jazidas de minério de urânio e colaborou com o Laboratório Curie, em 1929 Perey (Figura 8) foi contratada como técnica em química do Instituto do Rádio de Paris para exercer a função de assistente pessoal de Marie Curie e trabalhar nas pesquisas sobre a série radioativa do actínio. O actínio foi descoberto por Debierne em 1899⁴⁰, mas a série dos actínídeos ainda não havia sido estudada com profundidade. Sendo assim, Perey iniciou suas atividades no instituto a partir da purificação do actínio (²²⁷Ac) e concentração por meio das técnicas de cristalização, evaporação e precipitação fracionada (ADLOFF, 2011; ADLOFF; KAUFFMAN, 2005; RAYNER- CANHAM; RAYNER-CANHAM, 2019).

Com a morte de Marie Curie em 1934, Perey continuou seu trabalho com o actínio sob a orientação do químico André-Louis Debierne (1874-1949), o novo diretor do Instituto Rádio, e da química Irène Joliot-Curie (1897-1956). Foi então que, em 1938, Perey realizou uma descoberta inesperada, ao investigar o tempo de meia vida do ²²⁷Ac: ela identificou que havia uma radiação beta (β) que ainda não tinha sido identificada, com meia vida de 21 minutos, e que possivelmente seria um novo elemento, nomeado primeiramente como actínio K (AcK). Em 1938, após inúmeras análises químicas, ela chegou à conclusão de que se tratava de um metal alcalino, o eka-Cs, elemento ainda desconhecido da tabela periódica.

³⁸ Retrato de mulheres do laboratório de Marie Curie. Disponível em: <https://musee.curie.fr/decouvrir/expositions-temporaires/exposition-2014/quelques-portraits-de-l-exposition>. Acesso em: 15 de maio de 2022.

³⁹ Informações sobre as mulheres do Laboratório Curie. Disponíveis em: <https://musee.curie.fr/nous/nos-publications/les-femmes-du-laboratoire-de-marie-curie>. 15 de maio de 2022.

⁴⁰ Informações históricas sobre o actínio. Disponível em: <https://www.rsc.org/periodic-table/element/89/actinium>. Acesso em: 15 de maio de 2022.

Figura 8 - Marguerite Catharine Perey



Fonte: Museu Curie, coleção (ACJC).

No início do século XX, foram descobertos os elementos 84 (polônio), 86 (radônio), 88 (rádio) e 89 (actínio), restando apenas o elemento 85, atualmente chamado de astato, e o elemento 87, o frâncio. O frâncio foi o último elemento a ser identificado, completando finalmente as lacunas da tabela periódica proposta por Mendeleev. Em 1870, Mendeleev previu a existência do elemento de número atômico 87, localizado abaixo do céσιο, denominando-o eka-césio. De acordo com a Royal Society of Chemistry⁴¹, durante as décadas de 1920 e 1930, houve algumas alegações de cientistas que afirmaram ter encontrado o elemento 87 com base na observação de novas linhas em seus espectros de raios-X. Porém, essas alegações não foram aceitas por não serem capazes de comprovar a evidência desse elemento.

⁴¹ Informações históricas sobre o Frâncio. Disponível em: <https://www.rsc.org/periodic-table/element/87/francium>. Acesso em: 15 de maio de 2022.

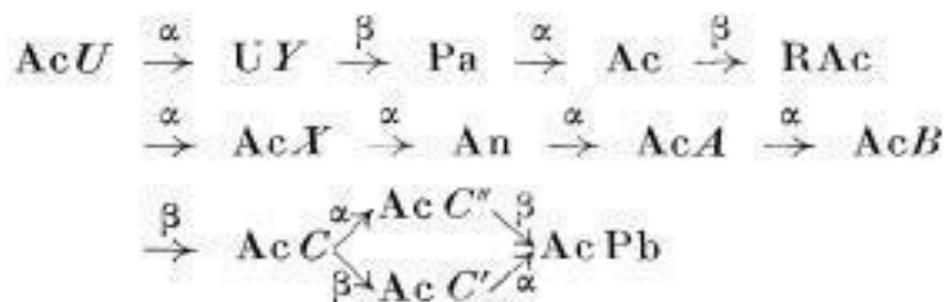
Então, em 1938, mesmo após a purificação de amostras de actínio de todas as impurezas radioativas, Perey ainda observou a presença de outro elemento e anunciou que se tratava da existência de um novo elemento, o elemento 87. Todavia, outros cientistas contestaram seus resultados; por isso, apenas em 1946 ela foi aceita como a descobridora do referido elemento.

O primeiro cientista que alegou erroneamente ter encontrado o elemento 87 foi, em 1925, o químico russo D. K. Dobroserdov (1876-1936), propondo a ele o nome russo, em homenagem ao seu país. Em 1927, o físico romeno Horia Hulubei (1896-1972) e a física francesa Yvette Cauchois (1908-1999) pensaram ter encontrado o elemento 87, e propuseram o nome moldávio, em homenagem à Moldávia, região da Romênia. Em 9 de janeiro de 1938, o físico francês Jean Perrin (1870-1942) apresentou os resultados de Perey na Academia de Ciências Francesa. Porém, após a apresentação da descoberta do elemento 87, o próprio Perrin criticou os resultados e afirmou que se tratava de um isótopo do moldávio (ADLOFF; KAUFFMAN, 2005; AFONSO, 2012; CHAPMAN, 2020).

Por ter descoberto o elemento 87, Perey tinha o direito de escolher um nome para ele, optando por frâncio, em homenagem à França. Rayner-Canham e Rayner-Canham (2019) relatam que, em um primeiro momento, Perey escolheu o nome catium, mas Irène Joliot-Curie sugeriu uma homenagem à França, ideia que acabou sendo acatada. Após a descoberta do frâncio, Perey se dedicou aos estudos das propriedades do frâncio e suas aplicabilidades médicas.

No artigo intitulado *L'élément 87: AcK, dérivé de l'actinium* (Elemento 87: AcK, derivado de actínio), publicado em 1939 no *Journal de Physique*, Perey mostra as propriedades, técnicas e equipamentos utilizados no processo de descoberta do novo elemento radioativo. Ainda nessa publicação, Perey relata que, a partir dos experimentos realizados, ela conseguiu destacar uma radiação α de 3,5 cm de curso, atribuível ao próprio actínio, dando, após essa desintegração, um novo corpo radioativo natural, o qual chamou de actínio K, cujo período era de 21 minutos. Esse novo elemento possuía propriedades alcalinas e deveria ser colocado na caixa 87 da tabela Mendeleev. A cientista apresenta também, nesse artigo, a cadeia radioativa de desintegração do actínio (Figura 9) e o processo experimental para encontrar o novo elemento, além de questionar os resultados das pesquisas realizadas por Hulubei.

Figura 9 - Reação de desintegração do actínio



Fonte: PEREY, 1939, p. 435. (<http://dx.doi.org/10.1051/jphysrad:019390010010043500>)

“[...] A corrente de ionização produzida pela radiação do actínio e seus derivados é medida por meio de um eletrômetro de quadrante e compensada por um quartzo piezoelétrico. Para as medidas de raios β , o produto a ser medido é colocado a 5 cm de uma câmara de ionização fechada por uma folha de alumínio com $2/100^{\circ}$ de milímetro de espessura. A ionização devido aos raios α é medida em uma câmara redonda na qual a radiação α é completamente utilizada. [...]” (PEREY, 1939, p. 436, tradução nossa)⁴².

Como Perey não tinha um título de nível superior, ela foi incentivada por seus supervisores, Debierne e Irène Joliot-Curie, a dar continuidade aos seus estudos acadêmicos durante a Segunda Guerra Mundial. Em 21 de março de 1946, obteve o doutorado pela Universidade de Paris, devido às pesquisas que culminaram na descoberta do frâncio. A tese de Perey foi intitulada *L'élément 87: Actinium K* (O elemento 87: Actínio-K).

Com a formação superior em Ciências, Perey se tornou pesquisadora independente qualificada no Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), no qual trabalhou durante o período de três anos, de 1946 a 1949. Ao deixar o CNRS, ela foi nomeada presidente de Química Nuclear da Universidade de Estrasburgo, cargo criado exclusivamente para ela. Nessa instituição, ela deu continuidade às pesquisas sobre o potencial do frâncio no combate ao câncer. Em 1957, tornou-se diretora do Departamento de Química Nuclear do Centro de Pesquisa Nuclear da Universidade de Estrasburgo. (ADLOFF; KAUFFMAN, 2005; YOUNT, 2008; SWABY, 2015).

⁴² “[...] Le courant d’ionisation produit par le rayonnement de l’actinium et de ses dérivés est mesuré au moyen d’un électromètre à quadrants et compensé par un quartz piézo-électrique. Pour les mesures des rayons β , on place le produit à mesurer à 5 cm d’une chambre d’ionisation fermée par une feuille d’aluminium de $2/100^{\circ}$ de millimètre d’épaisseur. L’ionisation due aux rayons α est mesurée dans une chambre ronde dans laquelle le rayonnement α est complètement utilisé. [...]” (PEREY, 1939, p. 436).

A dificuldade em preparar e isolar o frâncio, bem como de obter amostras suficientes de actínio, devido ao fato de o Instituto Curie manter a maior parte das amostras desse elemento, acabou inviabilizando a continuidade dos estudos sobre a utilização do frâncio no tratamento do câncer.

4.1. DE TÉCNICA EM QUÍMICA A QUÍMICA PREMIADA

Ao longo da sua trajetória científica, Perey recebeu diversas honrarias, prêmios e reconhecimento no meio acadêmico. No entanto, muitos desafios foram enfrentados e superados até atingir prestígio entre seus pares. Por meio de carta a Jean-Pierre Adloff, em 1968, ano em que se comemorava os 30 anos da descoberta do frâncio, Perey relembra os desafios enfrentados nesse período. Entre eles estão os julgamentos de outros cientistas por ser considerada muito jovem e por não possuir um diploma de nível superior.

“[...] O anúncio de um novo elemento foi criticado por Jean Perrin, que considerou a substância como um isótopo do elemento moldávio. Você mal pode imaginar quantas dificuldades que encontrei ao longo deste trabalho. Isso é quase normal, mas muitos obstáculos continuaram a surgir após o projeto concluído. Além disso, eu tinha apenas 29 anos de idade e detinha apenas o equivalente a um diploma de bacharel em química. Na minha situação, tudo isso era um fardo pesado para mim. Mesmo após a minha identificação do frâncio, a qual me trouxe algumas homenagens, eu também passei por momentos de lágrimas e decepções causadas por traços vis de caráter humano: manifestações de baixeza e deslealdade...[...]” (PEREY, 1968 apud ADLOFF; KAUFFMAN, 2005, p. 393, tradução nossa)⁴³.

Em 12 de março 1962, Perey foi a primeira mulher eleita como membro correspondente, para a seção de física, da Academia Francesa de Ciências⁴⁴, honraria negada a Marie Curie e Irène Jolie-Curie. Adloff e Kauffman (2005) discutem a indicação de Perey à Academia Francesa de Ciências como membro correspondente e sua

⁴³ “[...] The announcement of the new element was basely criticized by Jean Perrin, who considered the substance as an isotope of the stable element moldavium. You can hardly imagine how many difficulties I encountered in the course of this work. That's quire normal, but many obstacles continued to arise after the project was completed. Moreover, I was only 29 years of age and held only the equivalent of a bachelor's degree in chemistry. In my situation all this was a heavy burden for me. Even if the period following my identification of francium brought certain honors, I also went through moments of tears and deceptions caused by vile traits of human character: manifestations of baseness and perfidy...[...]” (PEREY, 1968 apud ADLOFF; KAUFFMAN, 2005, p. 393).

⁴⁴ Informações sobre os membros da Academia Francesa de Ciências. Disponível em: <https://www.academie-sciences.fr/fr/Liste-des-membres-depuis-la-creation-de-l-Academie-des-sciences/les-membres-du-passe-dont-le-nom-commence-par-p.html>. Acesso em: 18 de maio de 2022.

repercussão na sociedade francesa, bem como a misoginia no meio acadêmico, responsável por dificultar o acesso e o reconhecimento de mulheres cientistas.

Apesar de não existir nenhuma regra que impedisse a nomeação de mulheres à Academia Francesa de Ciências, nenhuma cientista tinha sido nomeada anteriormente. Adloff e Kauffman (2005) apontam que, meses antes da eleição de Perey, o matemático Arnaud Denjoy (1884-1974) assumiu a presidência da academia e propôs uma série de mudanças estruturais, sendo uma delas a inclusão de mulheres. Perey concorreu com P. Rouard, reitor da Faculdade de Ciências em Marselha, e obteve 48 votos de 61 eleitores, substituindo o professor da Universidade de Bruxelas Emile Henriot (1885-1961), eleito em 1947.

A eleição de Perey teve grande repercussão na mídia, devido ao fato de ela ser a primeira mulher a ocupar esse espaço, e também devido à descoberta do frâncio e seus desdobramentos no tratamento do câncer. As manchetes (Figura 10) retratavam sua infância difícil devido à perda precoce do seu pai aos 5 anos de idade, sua descoberta e sua doença, mas não especificavam o fato de que Perey tinha sido eleita como membro correspondente e não plena, condição que não lhe garantia uma cadeira na academia e outros direitos. Na verdade, a primeira mulher eleita à Academia Francesa de Ciências como membro plena foi, em 1979, a matemática e física francesa Yvonne Choquet-Bruyat (1923-1961). Ainda assim, pode-se dizer que a eleição de Perey abriu as portas para outras mulheres neste espaço.

Antes de ser eleita, Perey recebeu dois prêmios dessa instituição (em 1950 e 1960). Em 1960 ela recebeu o Grand Prix de la Ville de Paris. Foi indicada ao Prêmio Nobel de Química⁴⁵ cinco vezes, nos anos de 1952, 1958, 1961, 1965 e 1966, mas não foi laureada. A última honraria recebida por ela foi a *Commandeur dans l'Ordre National du Mérite*, em 1974. Devido à exposição a elementos radioativos, assim como ocorreu com outros membros do Instituto Rádio em Paris, ela sofreu durante muitos anos com o câncer. Em 13 de maio de 1975, aos 65 anos, em Louveciennes, França, ela faleceu. Perey não teve filhos e nunca se casou, dedicando-se integralmente às suas responsabilidades científicas.

⁴⁵ Informações sobre as indicações de Perey ao Prêmio Nobel de Química. Disponível em: https://www.nobelprize.org/nomination/archive/show_people.php?id=7110. Acesso em: 18 de maio de 2022.

Figura 10 - Manchete do Jornal Local, Nice-Matin, sobre a eleição de Perey à Academia Francesa de Ciências



Fonte: ADLOFF; KAUFFMAN, 2005, p. 396.

Com relação às doenças relacionadas à exposição à radiação, é importante destacar que, após a repercussão sobre a descoberta do rádio e os resultados das pesquisas referentes à propriedade terapêutica dos elementos radioativos, ocorreram grandes investimentos (públicos e privados) nas pesquisas desenvolvidas por Marie Curie e Pierre Curie. Por conta disso, o rádio se tornou uma substância de estimação da elite, ou seja, homens e mulheres da época guardavam frascos contendo brometo de rádio no bolso. Além disso, houve também inúmeras propostas de charlatões que atribuíram ao rádio diversas aplicabilidades medicinais, tornando essa indústria multimilionária (GOLDSMITH, 2006; LIMA; PIMENTEL; AFONSO, 2011; RAYNER-CANHAM; RAYNER-CANHAM, 1997).

Apesar dos alertas sobre os riscos de queimaduras quando expostos a substâncias radioativas, muitas pessoas pareciam seduzidas pelo perigo e não se importavam. Para alguns cientistas, o risco da exposição à radiação era visto como risco ocupacional. Mas, com o surgimento dos primeiros efeitos colaterais e estudos científicos a respeito da exposição à radiação, foram desenvolvidas normas para trabalhar com esses elementos, bem como gradativamente ocorreu o abandono das diversas aplicações comerciais à base de rádio, o fechamento de empresas e a concessão de indenizações aos clientes que se sentiram lesados com os produtos. Nesse sentido, percebe-se que as discussões sobre os efeitos biológicos da radioatividade geraram uma nova controvérsia em torno do emprego da radioatividade e dos elementos radioativos. Após 30 anos dos primeiros efeitos colaterais, as práticas utilizadas no início do século XX foram paulatinamente sendo descartadas (GOLDSMITH, 2006; LIMA; PIMENTEL; AFONSO, 2011; MALLEY, 2011; TRINDADE; BELTRAN; TONETTO, 2016).

5. HISTÓRIAS CRUZADAS: OBSTÁCULOS E DESCOBERTAS DAS NOSSAS PROTAGONISTAS

A partir da nossa análise, é possível perceber que a trajetória acadêmica das cientistas Lise Meitner, Ida Noddack, Berta Karlik e Marguerite Catherine Perey foi atravessada por diversas opressões, principalmente a de gênero. Devido a essas opressões, nossas protagonistas enfrentaram e superaram inúmeros obstáculos até alcançarem, mesmo que tardiamente, reconhecimento acadêmico por conta das suas descobertas e contribuições para a ciência.

Por meio das histórias cruzadas das quatro cientistas, percebemos que é possível entender o cenário da busca por novos elementos para a tabela periódica no contexto do século XX e se familiarizar com os métodos e equipamentos utilizados em cada descoberta. Também foi possível expandir a compreensão acerca dos fatos históricos dos países e laboratórios em que essas cientistas trabalharam, pois cada uma delas desenvolveu suas pesquisas em países e/ou contextos distintos. Nessa perspectiva, agrupamos alguns aspectos que ocorreram na vida dessas mulheres, os quais estão ligados a questões políticas, de raça, gênero e classe, nacionalidade, descoberta, prêmios, casamento e maternidade, conforme discriminado na Tabela 4.

Tabela 4 - Histórias cruzadas das nossas personagens

	NACIONALIDADE	DESCOBERTA	RAÇA	GÊNERO	CLASSE	INDICAÇÕES AO PRÊMIO NOBEL	CASAMENTO	FILHOS
Lise Meitner (1878-1968)	Austríaca	Descoberta do protactínio e fissão nuclear	Discriminação racial devido à sua origem judaica	Efeito Matilda; Segregação Territorial; Segregação Hierárquica; Segregação Institucional.	Classe média	Indicada 49 vezes ao Prêmio Nobel. (30 vezes na área de Física e 19 em Química). Não foi laureada.	Não	Não
Ida Noddack (1896-1978)	Alemã	Descoberta do rênio e primeira a propor a ideia de fissão nuclear	-	Segregação Territorial; Segregação Hierárquica; Segregação Institucional; Atingida por leis que, durante o regime nazista, proibiam mulheres casadas de trabalhar e receber salário.	Classe média	4 indicações ao Prêmio Nobel de Química. Não foi laureada.	Sim	Não
Berta Karlik (1904-1990)	Austríaca	Descoberta de isótopos do astato	-	Segregação Territorial.	Classe média alta	Não foi indicada ao Prêmio Nobel.	Não	Não
Marguerite Perey (1909-1975)	Francesa	Descoberta do frâncio	-	Segregação Territorial; Segregação Hierárquica; Segregação Institucional.	Classe média	Indicada 5 vezes ao Prêmio Nobel de Química. Não foi laureada.	Não	Não

Fonte: as autoras, 2022

O fato de as mulheres se formarem em Ciências naquela época, final do século XIX e início do século XX, pode ser considerado uma grande conquista. Nesse período, a ideia de uma educação avançada para mulheres era questionada. É importante salientar que a maioria das mulheres que receberam educação superior nessa época pertenciam às famílias de classe média alta, bem como grande parte delas não se casaram, sendo que as que se casaram optaram por matrimônios com seus colegas cientistas.

Ao olharmos para as carreiras das nossas protagonistas, percebemos que todas fizeram parte da classe média, justificando, assim (com exceção de Perey, que iniciou sua carreira como técnica em química), o acesso à universidade durante os primeiros anos em que essas instituições abriram as portas para as mulheres. McGrayne (1994) destaca que a maioria das mulheres cientistas dessa época tiveram apoio dos pais ou parentes que eram profissionais ou acadêmicos. Além disso, afirmamos que, devido à cultura androcêntrica, o casamento e os filhos foram dilemas presentes para essas mulheres que fizeram parte do contexto científico. Optando por eles, suas carreiras podiam ser impactadas pela alteração no rendimento de suas pesquisas (podendo até ocorrer o abandono total para se dedicarem à família em tempo integral) ou pelo risco de se tornarem assistentes invisíveis dos seus maridos (KELLER, 2001, 2006; SCHIENBINGER, 2001; TIGGELEN; LYKKNES, 2012). Sendo assim, apenas Noddack optou pelo casamento, e nenhuma das cientistas abordadas nesta dissertação tiveram filhos.

As histórias das nossas protagonistas também estão interligadas com o crescimento das investigações na área da radioatividade, ou seja, a escolha de iniciarem suas pesquisas no campo da radioatividade não foi uma coincidência. Esse campo de estudo surgiu no início do século XX; por ser uma área de investigação nova, não havia a predominância de cientistas homens, contando, em contrapartida, com a presença de muitas mulheres (GOLDSMITH, 2006; MCGRAYNE, 1994, 2001; RAYNER-CANHAM; RAYNER-CANHAM, 1997; RENTETZI, 2004). Esse fenômeno é classificado por Rossiter (1978, 1980) como segregação territorial. Nesse tipo de segregação, os campos de atuação de homens e mulheres são definidos, ou seja, as mulheres se agrupam em áreas menos concorridas e de baixo interesse dos homens.

Rayner-Canham e Rayner-Canham (1997) ressaltam que muitas mulheres cientistas dependiam do aceite de supervisores, mentores e colegas para o

desenvolvimento dos seus trabalhos. Por isso, apesar de existirem muitas mulheres desenvolvendo estudos sobre a natureza do átomo, a maioria delas foram negligenciadas pela história das ciências. Vale destacar que o papel do supervisor e mentor foi fundamental para as mulheres que estudavam a radioatividade, pois muitos cientistas notáveis desse campo aceitaram mulheres em seus laboratórios e institutos, como Ernest Rutherford, Marie Curie, Joseph J. Thomson e Frederick Soddy. Além disso, os institutos liderados por Marie Curie em Paris e Frederick Soddy em Viena eram os institutos com maior número de mulheres que desenvolviam pesquisas atômicas no início do século XX. O Instituto do Rádio em Viena e o Instituto de Marie Curie em Paris mantiveram uma boa relação, ao ponto de o governo austríaco realizar uma doação de toneladas dos resíduos da pecheblenda para fins científicos ao casal Marie Curie e Pierre Curie (GOLDSMITH, 2006; PUGLIESE, 2007, RENTETZI, 2007).

Outro fenômeno observado entre as mulheres que desenvolviam suas pesquisas no campo da radioatividade, no início do século XX, foi o “colégio invisível”, termo cunhado por Rayner-Canham e Rayner-Canham (1997) para a rede de mulheres que, de forma estratégica, compartilhavam informações sobre suas pesquisas ou até mesmo se reuniram socialmente. Essa rede de apoio favoreceu a predominância de mulheres nesse campo de investigação. Porém, dentre as quatro cientistas, não há relatos de que Ida Noddack tenha feito parte dessa rede de apoio. Rayner-Canham e Rayner-Canham (1997) e Rentetzi (2007) trazem relatos da amizade entre Meitner e Karlik, com troca de informações a respeito de suas pesquisas em radioatividade e suas vidas pessoais.

Rayner-Canham e Rayner-Canham (1997) observaram que a maioria das cientistas que desenvolviam pesquisas no campo da radioatividade eram viajantes, em busca de países e laboratórios que proporcionassem refúgio científico ou refúgio da perseguição nazista. Por conta disso, uma conexão que podemos observar entre as trajetórias acadêmicas de Lise Meitner, Berta Karlik e Ida Noddack é o declínio das suas pesquisas devido à ascensão do nazismo. Lise Meitner, por ser judia, interrompeu suas pesquisas e se exilou na Suécia; Berta Karlik reduziu o andamento das suas investigações por conta da guerra, mas continuou no Instituto do Rádio em Viena, devido ao seu desinteresse político e discrição; já Ida Noddack, por ser mulher, foi impedida de desenvolver suas atividades no laboratório, fazendo com que ela abrisse mão da sua pesquisa para auxiliar seu marido Walter Noddack na busca de novos elementos químicos

para a tabela periódica (apesar disso, foi durante a Segunda Guerra Mundial que Perey realizou os estudos do seu doutorado na Universidade de Paris).

Outro conceito que aqui se aplica, cunhado por Rossiter em 1980, é o de segregação hierárquica. Nesse fenômeno, é possível observar que, quanto maior for a escala de poder e prestígio de um cargo científico, menor será a presença de mulheres. Na época em que viveram nossas protagonistas, era muito difícil uma mulher alcançar os altos níveis da academia, ganhar uma bolsa de estudo e conquistar prestígio e notoriedade a ponto de construir um nome reconhecido na comunidade científica. Karlik foi uma exceção: beneficiou-se das políticas de gênero de Viena e, ao longo da sua trajetória, obteve diversas bolsas de estudos, liderou e desenvolveu suas próprias pesquisas, tornou-se professora remunerada da Universidade de Viena em 1942 e foi eleita diretora do Instituto de Pesquisa do Rádio de Viena em 1974. Não foi possível, porém, observar as mesmas oportunidades nas carreiras das outras cientistas aqui analisadas. Meitner, Noddack e Perey esperaram muito tempo para ocupar funções de prestígio e liderança no meio acadêmico.

Apesar de existirem relatos de que Meitner liderou a equipe durante os trabalhos desenvolvidos com Hahn, esta cientista passou anos da sua carreira sem um cargo, atravessando longos períodos sem receber remuneração pelos trabalhos desenvolvidos. Apenas em 1926 Meitner se tornaria professora titular do Instituto Max Planck, e, ainda assim, com salário inferior ao de Hahn. Ida Noddack seguiu praticamente toda a sua carreira científica como pesquisadora não remunerada; apenas entre o período de 1941 e 1944 ela exerceu uma posição de pesquisadora remunerada na Reich Universität. Mesmo após o seu doutorado em Ciências na Universidade de Paris em 1946, Perey só obteve um cargo de liderança na Universidade de Estrasburgo em 1949, instituição em que exerceu a função de presidenta de Química Nuclear, cargo criado especificamente para ela, tornando-se, em 1957, diretora do Departamento de Química Nuclear dessa mesma instituição.

O Efeito Matilda, outro fenômeno observado por Rossiter (1993), é o ato de menosprezar, invisibilizar e não reconhecer as contribuições de pesquisas desenvolvidas por mulheres cientistas e atribuir o feito aos seus colegas homens – tal como ocorreu com Meitner. Essa expressão é uma homenagem à feminista e sufragista Matilda Joslyn Gage (1826-1898), que realizava críticas à religião e à Bíblia, bem como lamentava as injustiças

científicas sofridas por mulheres, das quais também foi vítima. Além disso, o termo é uma crítica ao Efeito Mateus, enunciado por Robert K. Merton em 1968. O Efeito Mateus é um fenômeno social que reforça a estrutura de classe na ciência, a qual está sujeita aos mesmos fenômenos que a sociedade – os pesquisadores mais renomados tendem a receber mais reconhecimento e recursos financeiros do que os pesquisadores pouco conhecidos. O Efeito Mateus também faz referência ao evangelho de Mateus 13:12 “Porque àquele que tem, se dará, e terá em abundância; mas àquele que não tem, até aquilo que tem lhe será tirado”. Ao observar as trajetórias das nossas protagonistas, podemos afirmar que apenas Meitner sofreu o Efeito Matilda, no tocante à sua parceria científica com o químico Otto Hahn.

Apesar de todas as cientistas aqui citadas trabalharem em uma época em que não se tinha muito conhecimento a respeito dos riscos da exposição a elementos radioativos e dos cuidados que deveriam ser tomados no ambiente de trabalho durante a realização de experimentos, tal comportamento foi sendo alterado com o passar dos anos. Meitner, por exemplo, foi bastante cuidadosa para não se contaminar e manter o seu local e colegas de trabalho livres da radiação. Das nossas protagonistas, apenas Perey (assim como Marie Curie e outros cientistas do Instituto do Rádio em Paris) foi acometida por doenças relacionadas à exposição a fontes radioativas.

Diante das histórias cruzadas, utilizando o gênero como categoria de análise, foi possível observar opressões padronizadas que ocorreram ao longo das trajetórias científicas das quatro cientistas abordadas neste trabalho. Essas opressões estão ligadas diretamente ao gênero, à raça e à classe das nossas protagonistas. Por isso, concordamos com McGrayne (1994) quando esta autora afirma que, durante o século XX, muitas mulheres sobreviveram na ciência porque eram determinadas e apaixonadas pelo que faziam – apesar dos diversos obstáculos enfrentados, elas persistiram e estiveram envolvidas em importantes descobertas realizadas no período. Logo, suas trajetórias acadêmicas devem ser cada vez mais publicizadas, para que possamos compreender as discriminações e opressões que atravessaram suas carreiras, bem como os fatores sociais e históricos que as invisibilizaram.

CONCLUSÃO

Por meio da história das quatro mulheres cientistas abordadas neste trabalho e das contribuições feitas por elas para a construção da tabela periódica, foi possível compreender como se deu a busca e descoberta de novos elementos químicos em diferentes contextos e suas relações com a descoberta da radioatividade e dos elementos radioativos. Além disso, ao partirmos das histórias das cientistas que contribuíram com a construção da tabela periódica, pudemos apontar opressões que envolveram raça, gênero e classe sofridas por essas mulheres. A dificuldade de receberem os créditos individualmente por suas descobertas, a necessidade de trabalharem como colaboradoras de cientistas homens para desenvolverem suas pesquisas e a busca de linhas de pesquisa menos concorridas por homens, como foi o caso da radioatividade e elementos radioativos, são alguns exemplos.

Não há dúvidas de que o pioneirismo e a relevância das descobertas realizadas por Marie Curie influenciou e abriu as portas da academia para outras mulheres cientistas da sua época (inclusive as abordadas nesta pesquisa). Por conta disso, encontramos uma vasta literatura sobre a vida da polonesa que descobriu o rádio e polônio. No entanto, a trajetória acadêmica e as descobertas de outras cientistas ainda são pouco exploradas pela história da ciência. Logo, acreditamos que este trabalho pode contribuir para preencher parte dessa lacuna existente, no que diz respeito a narrativas históricas em língua portuguesa que abordam as contribuições das mulheres para a ciência e, mais especificamente, para a construção da tabela periódica.

Esperamos, assim, que este trabalho ofereça mais visibilidade às mulheres que ajudaram na construção da tabela periódica. Além disso, almejamos que, a partir das histórias cruzadas de Lise Meitner, Ida Noddack, Berta Karlik e Marguerite Perey, surjam novas narrativas históricas que abordem as contribuições de outras mulheres para a ciência.

REFERÊNCIAS

ADLOFF, J. P. Marguerite Catherine Perey (1909–1975), p. 181-185. In: **European Women in Chemistry**. Jan Apothier and Livia Simon Sarkadi. *Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA*, Boschstr. 12, 69469 Weinheim, Germany, 2011. ISBN: 978-3-527-32956-4

ADLOFF, J. P.; KAUFFMAN, G. B. **Francium (Atomic Number 87), the Last Discovered Natural Element**. *The Chemical Educator*, Vol. 10, N° 5, p. 387–394, 2005.

ADLOFF, J. P.; KAUFFMAN, G. B. **Marguerite Perey (1909–1975): A Personal Retrospective Tribute on the 30th Anniversary of Her Death**. *The Chemical Educator*, Vol. 10, N° 5, p. 378–386, 2005.

ADLOFF, J. P.; KAUFFMAN, G. B. **Triumph over Prejudice: The Election of Radiochemist Marguerite Perey (1909–1975) to the French Académie des Sciences**. *The Chemical Educator*, Vol. 10, N° 5, p. 378–399, 2005.

AFONSO, C. J. **Frêncio**. *Química Nova na Escola*, Vol. 34, N° 1, p. 43-44, 2012

AFONSO, J. C. **Astato**. *Química Nova na Escola*. Vol. 33, N° 4, p. 252-253, 2011.

ASSCHE, P. H. M. V. **The Ignored Discovery of The Element Z=43**. Nuclear Physics, North-Holland, Amsterdam, p. 205-214, 1988.

BARROS, J. D. **Histórias interconectadas, histórias cruzadas, abordagens transnacionais e outras histórias**. *Secuencia*, p.1-30, 2019.

BRAZIL, R. **Ida Noddack and The Trouble With Element 43**. Chemistry World, 2021. Disponível em: <https://www.chemistryworld.com/culture/ida-noddack-and-the-trouble-with-element-43/4013548.article>. Acesso em: 27 de agosto de 2021.

CHAPMAN, K. **Marguerite Perey and The Last Element in Nature**. Chemistry World, 2020. Disponível em: <https://www.chemistryworld.com/culture/marguerite-perey-and-the-last-element-in-nature/4012198.article>. Acesso em: 27 de agosto de 2021.

CITELI, M. T. **Fazendo Diferenças: Teorias Sobre Gênero, Corpo e Comportamento**. Estudos Feministas, 2001.

COSTA, M. C. **Ainda Somos Poucas: Exclusão e Invisibilidade na Ciência**. Cadernos Pagu, n. 27, p. 455-459, 2006.

CRAWFORD, E.; SIME, R. L.; WALKER, M. **A Nobel Tale of Postwar Injustice**. *Physics Today* 50, 9, 26-31, 1997. <https://doi.org/10.1063/1.881933>.

FILHO, P. C. de S.; GALAÇO, A. R. B. S.; SERRA, O. A. **Terras Raras: Tabela**

Periódica, Descobrimto, Exploração no Brasil e Aplicações. Química Nova, vol. 42, nº 10, p. 1208-1224, 2019.

FORSTNER, C. Berta Karlik and Traude Bernert: The Natural Occurring Astatine Isotopes 215, 216, and 218. In: TIGGELEN, BRIGITTE VAN; LYKKNES, ANNETTE. **Women in Their Element: Selected Women's Contributions to The Periodic System.** World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2019.

FRISCH, O. R. **Lise Meitner (1878-1968).** Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society, Vol. 16, pp. 405-420, 1970.

GOLDSMITH, B. **Gênio Obsessivo: O Mundo Interior de Marie Curie.** Companhia das letras, São Paulo, 2006.

HABASHI, F. **Ida Noddack and The Missing Elements.** *Royal Society of Chemistry, Education in Chemistry*, 2009. Disponível em: <https://edu.rsc.org/feature/ida-noddack-and-the-missing-elements/2020167.article>. Acesso em: 06/05/2022.

HABASHI, F. Ida Noddack: Proposer of Nuclear Fission. p. 217- 225. In: RAYNER-CANHAM, MARELENE, F.; RAYNER-CANHAM, GEOFFREY, W. **A Devotion to Their Science: Pioneer Women of Radioactivity.** McGill-Queen's University Press, Canada, 1997.

HAHN, O. **Otto Hahn: A Scientific Autobiography.** C. Scribner's Sons, p. 296, 1966.

INGRISCH, D. **Frauen in der Wissenschaft.** Universität Wien, 2018. Disponível: <https://geschichte.univie.ac.at/de/artikel/frauen-der-wissenschaft>. Acesso em: 10 de maio de 2022.

KARLIK, B. **Unsere heutigen Kenntnisse über das Element 85 (Ekajod).** Monatshefte für Chemie 77, p. 348-351, 1947.

KARLIK, B.; BERNERT, T. **Zur Entstehung des Isotops 85^{218} .** Naturwissenschaften 33, p. 23, 1946.

KELLER, E. F. **Qual Foi o Impacto do Feminismo na Ciência?** Cadernos Pagu, (27), p.13-34, 2006.

KELLER, E. F. **Reflexiones Sobre Género y Ciência.** Asparkía Ivestigació Feminista, nº. 12, p. 149-153, 2001.

KNIEFACZ, K. **Frauen an der Universität Wien 1878–2015.** Universität Wien, 2022. Disponível: <https://geschichte.univie.ac.at/de/themen/frauen-der-universitat-wien>. Acesso em: 10 de maio de 2022.

KRAGH, H. **Introdução a Historiografia da Ciência.** Porto Editora, coleção: História e Filosofia Da Ciência, 1ª edição, tradução Carlos Grigo Babo, 2003.

- KURODA, P. K. **A Note on The Discovery of Technetium.** *Nuclear Physics*, North-Holland, Amsterdam, p. 178-182, 1989.
- LEITE, S. B. **O Ano Internacional da Tabela Periódica e o Ensino de Química: das Cartas ao Digital.** *Química Nova*, Vol. XY, Nº. 00, 1-9, 2019.
- LIMA, B. S.; COSTA, M. C. **Gênero, Ciência e Tecnologia: Caminhos Percorridos e Novos Desafios.** *Cadernos Pagu*, n. 48, 2016.
- LIMA, G. M. DE; BARBOSA, L. C. A.; FILGUEIRAS, C. A. L. **Origens e Consequências da Tabela Periódica, a Mais Concisa Enciclopédia Criada Pelo Ser Humano.** *Química Nova*, Vol. 42, nº 10, 1125-1145, 2019
<http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170436>
- LIMA, I. P. C. **Lise Meitner e a Fissão Nuclear: caminhos para uma narrativa feminista.** Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Faculdade de Educação da Universidade Federal da Bahia, Salvador, p.181, 2019.
- LIMA, R. da S.; PIMENTEL, L. C. F.; AFONSO, J. C. **O Despertar da Radioatividade ao Alvorecer do Século XX.** *Química Nova na Escola*, v. 33, nº 2, Maio, 2011.
- LOPES, M. M. **Sobre Convenções em Torno de Argumentos de Autoridade.** *Cadernos Pagu*, n. 27, p. 35-61, 2006.
- LOPES, M. M.; COSTA, M. C. **Problematizando Ausências: Mulheres, Gênero e Indicadores na História das Ciências.** *Gênero nas fronteiras do sul*, p. 75-83, 2005.
- MAISEL, K. K. T. **Berta Karlik, o. Univ.-Prof. De. Phil.** Universität Wien, 2021. Disponível em: <https://geschichte.univie.ac.at/de/bertha-karlik>. Acesso em: 10 de maio de 2022.
- MALLEY, M. C. **Radioactivity: A History of Mysterious Science.** Oxford University Press, New York, New York, 2011.
- MARQUES, A. Lise Meitner. p. 49-72. In: SAITOVITCH, ELISA MARIA BAGGIO (Org.). **Mulheres na Física: Casos Históricos, Panorama e Perspectivas.** Editora Livraria da Física, 1ª Edição, p. 49-72, 2015.
- MCGRAYNE, S. B. **Mulheres Que Ganham o Prêmio Nobel em Ciências: Suas Vidas, Lutas e Notáveis Descobertas.** São Paulo: Marco Zero, 1994.
- MCGRAYNE, S. B. **Nobel Prize Women in Science: Their Lives, Struggles, and Momentous Discoveries.** Joseph Henry Press, Second edition, 2001.
- MEITNER, L. **Looking Back.** *Bulletin of The Atomic Scientists*, p. 2-7, 1964.
- MEITNER, L. **The Status of Women in The Professions.** *Physics Today*, 13(8), 16-21, 1960.

MEITNER, L.; FRISCH, O. **Disintegration of Uranium by Neutrons: a New Type of Nuclear Reaction.** Nature, Vol. 143, 1939.

NODDACK, I. **Bererkung zu den Untersuchungen von O. Hahn, L. Meitner und F. Strassman über die Produkte, die bei der Bestrahlung von Uran mit Neutronen entstehen.** Die Naturwissenschaften, p. 212-213, 1939.

NODDACK, I. **On Element 93.** *Zeitschrift für Angewandte Chemie*, Volume 47, p. 653 (September, 1934). This article was translated from German by H. G. Graetzer.
Disponível em: <https://www.chemteam.info/Chem-History/Noddack-1934.html>. Acesso em: 01/05/2022.

NODDACK, W.; TACKE, I.; Berg, O. **Die Ekamangane.** The Ekamanganese elements. Studiecentrum voor Kernenergie, 1925, Translated by G. Michiels and P. van Assche, 1988.

OFFEREINS, M. **Ida Noddack-Tacke (1896–1978).** In: Apotheker J.; Sarkadi, L. S. *European Women in Chemistry.* Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA, Boschstr. 12, 69469 Weinheim, Germany, 2011.

PEREY, M. **L'élément 87: AcK, dérivé de l'actinium.** *J. Phys. Radium*, 1939, 10 (10), pp.435-438, 1051/jphysrad:019390010010043500ff. jpa-00233698.

PUGLIESE, G. **Um Sobrevôo no “Caso Marie Curie”: um Experimento de Antropologia, Gênero e Ciência.** *Revista de antropologia, São Paulo, USP, v. 50, n° 1, 2007.*

RAYNER-CANHAM, G. F.; RAYNER-CANHAM, M. Marguerite Perey: The Discoverer of Francium. p. 428-438. In: TIGGELEN, BRIGITTE VAN; LYKKNES, ANNETTE. **Women in Their Element: Selected Women's Contributions to The Periodic System.** World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2019.

RAYNER-CANHAM, M. F.; RAYNER-CANHAM, G. W. **A Devotion to Their Science: Pioneer Women of Radioactivity.** McGill-Queen's University Press, Canada, 1997.

RENTETZI, M. Berta Karlik (1904–1990). p. 161-164. In: Apotheker, Jan; Sarkadi, Livia Simon. **European Women in Chemistry.** WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2011. ISBN 978-3-527-32956-4.

RENTETZI, M. **Gender, Politics, and Radioactivity Research in Interwar Vienna.** *The History of Science Society. Isis*, 95:359–393, 2004.

RENTETZI, M. **Trafficking Materials and Gendered Experimental Practices: Radium Research in Early 20th Century Vienna.** Columbia University, 2007.
Disponível em: www.gutenberg-e.org/rentetzi. Acesso em: 15 de maio de 2022

ROSSITER, M. W. **Sexual Segregation in The Sciences: Some Data and a Model.**

Signs, vol. 4, no. 1, University of Chicago Press, pp. 146–51, 1978.

<http://www.jstor.org/stable/3173331>.

ROSSITER, M. W. **The ~~Matthew~~ Matilda Effect in Science.** Social Studies of Science (SAGE, London, Newbury Park na New Delhj), v. 23, p. 325-341, 1993.

SANTOS, G. M. **A Tale of Oblivion: Ida Noddack and The ‘Universal Abundance’ of Matter.** *Notes & Records - Royal Society Journal of the History of Science*, p. 373-389, 2014.

SCHIENBINGER, L. **O Feminismo Mudou A Ciência?** Londa Schiebinger; tradução de Raul Fiker. Bauru, SP: EDUSC, 384 p.: il.; 21cm. (Coleção Mulher), 2001.

SCOTT, J. **GÊNERO: Uma Categoria Útil de Análise Histórica.** Educação & Realidade, v. 20, n. 2, p. 71-99, 1995.

SILVA, V. C. da. **Da Fissão Nuclear aos Elementos Transurânicos: Questões Epistemológicas no Caso Fermi-Noddack.** Revista Brasileira de História da Ciência, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 54-67, 2019.

SIME, R. L. **Lise Meitner and The Discovery of Nuclear Fission.** Scientific American, Vol. 278, nº 1, p. 80-85, 1998.

SIME, R. L. **The Discovery of Protactinium.** Journal of Chemical Education. Vol. 63, nº 8, p. 653- 657, 1986.

STONE, L. **Prosopografia.** Revista de Sociologia e Política, vol.19, nº 39, p.115-135, 2011.

SWABY, R. Marguerite Perey (1909-1975) Chemistry French. p. 141-143. In: **Headstrong 52 Women who Changed Science - and the World, B\ D\ W\ Y - Broadway Brooks, New York, 2015.**

TIGGELEN, B. V. Ida Noddack, the Eka-Manganeses and Nuclear Fission. p. 271-288. In: TIGGELEN, BRIGITTE VAN; LYKKNES, ANNETTE. **Women in Their Element: Selected Women's Contributions to The Periodic System.** World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2019.

TIGGELEN, B. V.; LYKKNES, A. Ida and Walter Noddack Through Better and Worse: an Arbeitsgemeinschaft in Chemistry. In: LYKKNES, A.; OPITZ, D. L.; TIGGELEN, B. V.; **For Better or For Worse? Collaborative Couples in The Sciences.** Series: Science networks historical studies, v. 44, Publisher: Springer, 2012.

TIGGELEN, V. B.; LYKKNES, A. **Celebrate The Women Behind The Periodic Table.** *Nature International Journal of Science*. 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-019-00287-7>. Acesso em: 19 de junho de 2019.

TIGGELEN, V. B.; LYKKNES, A. **The Women Behind the Periodic Table.** *Nature*, V. 565, p. 559-651, 2019. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-00287-7>.

TOMA, H. E. **Aitp 2019 - Ano Internacional da Tabela Periódica dos Elementos Químicos.** *Química Nova*, Vol. 42, n. 4, p. 468-472, 2019.

TRINDADE, L. dos S. P.; BELTRAN, M. H. R.; TONETTO, S. R. **Práticas e Estratégias Femininas: História de Mulheres nas Ciências da matéria.** *Editora Livraria da Física*, São Paulo, 2016.

WERNER, W; ZIMMERMANN, B. **Pensar a História Cruzada: entre empiria e reflexividade.** *Textos de História*, vol. 11, nº1/2, p. 89-127, 2003.

YOUNT, L. Perey, Marguerite Catherine (1909–1975) French chemist, physicist. p. 240-241. In: **A to Z of Women in Science and Math.** *Facts On File*, 2008.