Dos raios X à bomba atômica (1895–1945)

Os 50 anos que mudaram o mundo

Roberto Cesareo

Ilustrações
Antonio Alfonso Luciano

Embrapa

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Dos raios X à bomba atômica (1895–1945)

Os 50 anos que mudaram o mundo

Roberto Cesareo

Ilustrações
Antonio Alfonso Luciano

Embrapa Informação Tecnológica
Brasília, DF
2010

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Informação Tecnológica
Parque Estação Biológica (PqEB)
Av. W3 Norte (final)
CEP 70770-901 Brasília, DF
Fone: (61) 3448-4236
Fax: (61) 3448-2494
vendas@sct.embrapa.br
www.embrapa.br/liv

Coordenação editorial
Fernando do Amaral Pereira
Mayara Rosa Carneiro
Lucilene Maria de Andrade

Supervisão editorial
Maria Vicentini – Instituto de Estudos Avançados, USP/SC
Wesley José da Rocha – Embrapa Informação Tecnológica

Tradução dos originais em italiano
Telma Coimbra

Revisão científica
Sérgio Mascarenhas

Revisão de texto
Corina Barra Soares

Normalização bibliográfica
Celina Tomaz de Carvalho

Projeto gráfico e capa
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

1ª edição
1ª impressão (2010): 2.000 exemplares

Todos os direitos reservados
A reprodução não autorizada desta publicação, no todo
ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Informação Tecnológica

Roberto Cesareo.
Dos raios X à bomba atômica (1895-1945) : os 50 anos que mudaram o mundo / Roberto Cesareo; ilustrações, Antonio Alfonso Luciano. – Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2010.
543 p. : il. ; 16 cm X 22 cm

Tradução dos originais em italiano por Telma Coimbra.
Inclui biografias.
ISBN 978-85-7383-484-0

1. Física atômica. 2. História. 3. Nazismo. 4. Radioatividade. 5. Segunda Guerra Mundial. I. Luciano, Antonio Alfonso.

CDD 539.7

© Embrapa 2010

Autor

Roberto Cesareo
Instituto de Matemática e Física da Universidade de Sassari
Via Vienna 2, 0071 Sassari, Itália
Fone: +39 079-229481
Fax: +39 079-229482
cesareo@uniss.it

Agradecimentos

Muitos amigos e parentes leram os rascunhos deste livro. À medida que iam lendo, me encorajavam com conselhos e sugestões.

Meus agradecimentos a todos eles, especialmente a Maurizio Marabelli e Alfredo Castellano por sua entusiástica aprovação.

Ao professor Leberecht Frevert, colega de estudos em Göttingen, que me deu muitas informações sobre Heisenberg e conselhos úteis para a compreensão do seu comportamento durante o período do nacional-socialismo, tão obscuro para a Alemanha e tão difícil de ser compreendido pelos não alemães.

Ao professor Sérgio Mascarenhas, coordenador do Instituto de Estudos Avançados de São Carlos, da Universidade de São Paulo, que me convenceu a traduzir o livro para o português e a publicá-lo, tendo também coordenado todos os procedimentos, até sua revisão científica, a impressão e o lançamento.

A Telma Coimbra, que com paciência e dedicação traduziu o livro para o português.

Ao artista Antonio Alfonso Luciano, pelas belas ilustrações dos grandes vultos da história da ciência.

Aos colegas e amigos da Embrapa Instrumentação Agropecuária, em São Carlos, SP, e em particular a Sílvio Crestana, ex-diretor-presidente da Embrapa.

A Álvaro Macedo, chefe-geral da Embrapa Instrumentação Agropecuária.

A Fernando do Amaral Pereira, gerente-geral da Embrapa Informação Tecnológica, e a sua dedicada equipe, que se esmeraram nos trabalhos de edição deste livro.

Ao dr. Luiz Mattoso e ao Comitê Organizador da Nano-Agri 2010, pelo lançamento da obra e pela homenagem no referido Congresso Internacional.

E, finalmente, ao colega e amigo professor Oswaldo Baffa, coordenador do Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo em Ribeirão Preto, pela organização local do lançamento do livro.

Apresentação

Quando Wilhelm Conrad Röntgen descobriu os raios X, em 1895, não podia imaginar o quanto essa descoberta seria importante para a ciência no mundo. Sua personalidade introvertida, pouco afeita à vida pública, fê-lo preferir a sobriedade, mas a História mostrou, mais uma vez, que, quando um fato é extremamente importante para a humanidade, ele ganha vida própria, agindo independentemente da personalidade de seu autor. Assim foi com os raios X.

As aplicações dos raios X multiplicaram-se de tal maneira que hoje não seria possível imaginar a existência de diversas áreas da atividade humana sem as técnicas advindas do emprego desses raios. Entre essas áreas estão, com primazia, a medicina, a indústria, a metalografia e a cristalografia, para citar algumas. Técnicas como a tomografia, a transmissão direta e a difração de raios X promoveram avanços até mesmo na agricultura, um setor ao qual, aparentemente, os raios X não se aplicavam. A literatura, porém, vem, ao longo do tempo, confirmando o contrário, todas as vezes em que divulga os resultados obtidos com a utilização dos raios X no estudo do solo e de seus fenômenos, no estudo da madeira e das plantas.

Todo esse desenvolvimento tem um pano de fundo histórico que não pode ser esquecido, pois a História dá alma e substância às nossas criações. Esta obra tem esse intuito: manter vivos os fatos e seus atores. E se falamos de História, não podemos deixar de mencionar a participação do professor Cesareo na consolidação da Embrapa Instrumenta-

ção Agropecuária, tanto na condição de avaliador externo de seu primeiro planejamento estratégico, em 1992, quanto na organização, na montagem e na consolidação de suas linhas de pesquisa em tomografia do solo.

Pesquisadores de vulto desta Unidade, como Sérgio Mascarenhas, Sílvio Crestana e Paulo Cruvinel, trabalharam em seu laboratório em Roma antes mesmo da fundação desta Unidade, ou seja, há mais de 25 anos. A amizade firmada com o professor Cesareo fortaleceu-se a cada vez em que o professor, em visita a São Carlos, ministrava cursos, discutia projetos, fazia doação de equipamentos. Muitas teses de doutorado defendidas por diversos pesquisadores desta Unidade – como Crestana, Cruvinel, Álvaro Macedo, João Naime e Carlos Vaz –, beneficiaram-se desse convívio. São contribuições que ajudaram a mudar a agricultura, tanto a do País quanto a do mundo.

Assim, ninguém melhor do que o professor Cesareo para contar a história que está por trás da descoberta dos raios X. Seu profundo conhecimento sobre o assunto, sua longa experiência com a aplicação da radiação e sua capacidade de compartilhar tudo isso tornaram possível esse projeto. O leitor, com certeza, será presenteado com mais um produto da genialidade desse físico.

Boa leitura!

Álvaro Macedo da Silva
Chefe-Geral da Embrapa Instrumentação Agropecuária

Prefácio

Este livro nasceu em 1995, ano do centenário da descoberta dos raios X, em Würzburg. Os raios X me "acompanharam" durante quase toda a minha vida científica e daí veio meu interesse pela figura de seu descobridor: Wilhelm Conrad Röntgen. De sua vida pouco se sabia, ao contrário do que se verificava com outros grandes físicos, sobre os quais existem bibliotecas inteiras: basta pensar em Einstein, Madame Curie, Heisenberg, Fermi, entre outros.

Levado pela curiosidade sobre a forma como haviam sido descobertos os raios X, que, segundo constava, tinha sido obra do acaso, comecei a ler tudo que caía em minhas mãos sobre Röntgen. Rapidamente compreendi que ele não era, como se diria agora, uma celebridade da mídia. Era, isto sim, um físico experimental bem dotado intelectualmente e excessivamente sério. Tão reservado era que alegou mil razões para não ir a Estocolmo, capital da Suécia, receber o Prêmio Nobel com o qual tinha sido contemplado. Eu viria então a descobrir, pelos seus escritos (ele publicou pouquíssimo!), que ele não tinha descoberto os raios X por acaso, conforme se divulgara; ele já estava pronto e preparado para descobri-los. Depois, como costuma acontecer, o acaso coroou seus esforços.

Lendo sobre a figura de Röntgen, cruzei com outras personalidades interessantes e, algumas vezes, singulares da sua época: Lenard, Einstein, Bequerel, Madame Curie. E, partindo daí, cheguei aos grandes físicos da mecânica quântica e da física nuclear, esta última minha grande paixão. Figuras gigantescas, umas com personalidade insondável (como Heisenberg), e outras, abertas e expansivas (Einstein, Szilàrd).

E aprendi que a física não caminha conforme se descreve nos livros, em descobertas sucessivas, em invenções geniais. Pelo contrário, a física percorre caminhos marcados por experimentos fracassados, por grandes sacrifícios, por compromissos políticos, por erros humanos. Aprendi que, por trás do grande gênio da física que era Einstein, havia um homem com maus hábitos de higiene e violento com mulheres. Que Heisenberg, além de grande físico da mecânica quântica e do princípio da indeterminação, era um ótimo pianista, mas também um oportunista e um grande nacionalista, mesmo que nunca tenha aderido ao nacional-socialista. Que Fermi, embora não tivesse nenhum pendor para política, aderiu ao fascismo e gozou de seus privilégios, tendo depois se arrependido dessa decisão. A física, como se vê, não é apenas uma sequência de descobertas brilhantes; são vitórias alternadas por fracassos; são proezas feitas por pessoas geralmente geniais, mas que, como todos os seres humanos, têm virtudes e defeitos.

Em resumo, este livro, que começou timidamente, com pesquisas sobre os raios X e seus descobridores, depois de algum tempo fugiu ao meu controle e me apaixonou de tal forma que não conseguiria terminá-lo se não fosse a interferência do amigo Sérgio Mascarenhas. O mesmo que, tendo lido os rascunhos, me afiançou de que faria sua tradução para o português e sua impressão no Brasil.

Roberto Cesareo
Roma, 2010

Sumário

Introdução 13

Capítulo 1
Wilhelm Conrad Röntgen e a descoberta dos raios X 21

Capítulo 2
Philipp Lenard: uma figura singular de cientista e de nacional-socialista 47

Capítulo 3
Antoine Henri Becquerel e a descoberta da radioatividade 77

Capítulo 4
A descoberta do elétron 85

Capítulo 5
Maria Sklodowska Curie e a descoberta da radioatividade natural 93

Capítulo 6
James Chadwick e a descoberta do nêutron 115

Capítulo 7
Frédéric Joliot e Irène Curie: a descoberta da radioatividade artificial..... 125

Capítulo 8
Da radioatividade artificial à fissão nuclear 147

Capítulo 9
A física durante o nazifascismo 193

Capítulo 10
Werner Heisenberg: um gênio da física teórica,
mas também uma personalidade controvertida 255

Capítulo 11
A fundação da física na Universidade de São Paulo (USP) 301

Capítulo 12
Leo Szilàrd: uma figura singular de cientista 315

Capítulo 13
A "corrida" para a bomba atômica 351

Anexo 1
Conceitos básicos de física atômica e nuclear 377

Anexo 2
Urânio: um protagonista involuntário na história da física nuclear 383

Anexo 3
Cronologia dos acontecimentos que levaram à bomba atômica 397

Anexo 4
A bomba atômica soviética 421

Anexo 5
A bomba atômica japonesa 435

Anexo 6
Breves biografias dos maiores cientistas da física nuclear do século 20 439

Anexo 7
Instituições e siglas citadas 541

Introdução

A nossa história começa em uma sexta-feira, dia 8 de novembro de 1895, e tem como protagonista um professor de física da Universidade de Würzburg, na faixa dos 50 anos, Wilhelm Conrad Röntgen, e até aquele momento pouco conhecido no mundo científico internacional, embora já fosse um respeitado físico experimental na Alemanha.

Na tarde daquele dia, Röntgen, trabalhando com um tubo catódico, descobriu "eine neue Art von Strahlen" ("um novo tipo de radiação"), que ele chamou de X-Strahlen ("raios X"). Essa descoberta deu a Röntgen o Prêmio Nobel de Física de 1901 (primeiro ano em que foi entregue) e marca o início de uma nova era, não só para a física – particularmente a física atômica e nuclear – como também para a medicina, para as ciências em geral, para a indústria e para a arte.

A descoberta de Röntgen não foi acidental, ao contrário do que acontece nessa área. Ela resultou de anos de pesquisas preparatórias, realizadas por outros cientistas, além do próprio Röntgen (entre eles, Sir William Crookes, Julius Plücker, Johann Hittorf, George Stoney, Heinrich Hertz e, principalmente, Philip Lenard).

Philip Lenard é uma figura singular na física (conforme se lê no capítulo 2). Grande físico experimental, estudou com muita perspicácia e competência os raios catódicos e, como recompensa por esses estudos, recebeu, em 1905, o Prêmio Nobel de Física. Amargou, porém, uma forte decepção quando a descoberta dos raios X foi atribuída a Röntgen, a quem acusou de haver copiado a descoberta. Por volta de

1920, envolveu-se em uma forte discussão com Einstein a respeito do éter e da teoria da relatividade e, em seguida, a respeito da física quântica, acusada de ser de origem judia. Na década de 1930, inscreveu-se no Partido Nacional-Socialista e escreveu vários livros sobre a física "alemã". Morreu em 1947, terminada a II Guerra Mundial.

O anúncio da descoberta dos raios X por Wilhelm Conrad Röntgen, em dezembro de 1895, provocou um enorme interesse em todo o mundo, o científico e o não científico. Em Paris, Henri Poincaré fez um relato sobre o assunto na Académie des Sciences e salientou o fato de que os raios X provocavam fosforescência tanto na parede do tubo de vácuo quanto sobre um ecran externo revestido de material fosforescente. Quando Henri Becquerel ouviu, de Poincaré, a revelação da descoberta dos raios X e da comprovação da sua evidência através da fosforescência, pensou, imediatamente, em investigar outros materiais fosforescentes em condição de emitir raios semelhantes. Desse modo, descobriu a radioatividade natural emitida por sais de urânio, abrindo, desse modo, caminho para o nascimento da física nuclear. Henri Becquerel recebeu o Prêmio Nobel de Física, em 1903 (ver capítulo 3).

No final de 1891, Marya Sklodowska, que mudara da Polônia para a França, estabelecendo-se em Paris, onde pretendia estudar química na Sorbonne, deu prosseguimento às pesquisas de Becquerel. Formou-se na Sorbonne e, em 1896, casou-se com Pierre Curie, que já era um físico de sucesso.

Marie Curie, universalmente conhecida como Madame Curie, descobriu que existiam elementos químicos muito mais radioativos do que o urânio: o tório, o rádio e o polônio (os dois últimos descobertos pelo casal Curie). Pierre e Marie Curie foram agraciados com o Prêmio Nobel em 1903, e o dividiram com H. Becquerel. A união amorosa e científica entre os dois terminou com a dramática morte de Pierre, em 1906. Em seguida, em 1911, Madame Curie recebeu um segundo Prêmio Nobel, em Química, especificamente pela descoberta do rádio (ver capítulo 5).

Os diferentes tipos de radiação emitidos pelas substâncias radioativas (raios α, β e γ), suas origens "nucleares" e suas interações com a matéria foram estudados, praticamente na mesma época, por aquele que foi, provavelmente, o maior físico nuclear: o neozelandês (embora tenha trabalhado a maior parte do tempo na Inglaterra) Ernest Rutherford, agraciado, depois, com o título de Lord Rutherford of Nelson. Falaremos dele apenas rapidamente, uma vez que é um personagem bastante conhecido e sobre quem muito já se escreveu, especialmente na literatura anglo-saxã.

Antes disso, em 1897, Joseph John Thomson já havia identificado o elétron e dado continuidade aos estudos sobre a estrutura do átomo (ver capítulo 4), estudos esses que encontraram seu maior expoente em Niels Bohr, o qual, em 1913, definiu a estrutura orbital dos átomos, com considerações da mecânica semiclássica, mas usando a "constante de Planck", que, por sua vez, a havia introduzido em 1900, para explicar a emissão do corpo negro. J. J. Thomson recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1906.

Neste livro, não se falará nem de Bohr nem de Planck, mas, muitas vezes, no curso desta história, encontraremos esses dois grandes personagens, não só na física como também na política e na filosofia da física.

Em janeiro de 1932, James Chadwick, aluno de Rutherford, aproveitando-se dos experimentos e dos erros de Bothe e Becker e de Frédéric e Irène Joliot-Curie, deu outro grande salto na física nuclear, descobrindo o nêutron (ver capítulo 6). Essa descoberta tanto facilitou a definição do que era o núcleo quanto da radioatividade artificial induzida por nêutrons. Também Chadwick foi agraciado com o Prêmio Nobel de Física, em 1935.

Chega-se, então, a um grande ano para a física, 1934, quando Frédéric Joliot (aluno de Madame Curie) e Irène Curie (filha de Madame Curie e esposa de Joliot) descobrem a radioatividade artificial, induzida por par-

tículas alfa (ver capítulo 7). Poucos meses depois, Enrico Fermi e seus colaboradores descobrem a radioatividade induzida por nêutrons e, em outubro do mesmo ano, a desaceleração dos nêutrons pelos materiais hidrogenados (ver capítulo 8). O casal Joliot recebeu o Prêmio Nobel de Química em 1934; e Fermi, o de Física em 1938.

No mesmo ano, aconteceu uma história de menor importância, e, por isso, menos conhecida: Gleb Wataghin, físico ucraniano, mas educado na Itália, emigrou para o Brasil, tendo se instalado na cidade de São Paulo, onde foi um dos primeiros catedráticos da nascente Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, no Departamento de Física da Universidade de São Paulo (ver capítulo 11).

A pesquisa sobre a radioatividade induzida por nêutrons sobre os elementos pesados e, em particular, sobre o urânio passou, então, por um período menos intenso, por conta da complexidade dos problemas, até que, no final de 1938, em Berlin-Dahlem, Otto Hahn (outro aluno de Rutherford) e Fritz Strassmann descobriram a fissão do urânio, isto é, a divisão do núcleo de urânio em dois fragmentos. Esse fenômeno foi, alguns dias depois da sua descoberta, corretamente interpretado por Lise Meitner, colaboradora de Hahn, que tinha fugido da Alemanha por ser judia, e por Otto Frisch, sobrinho de Meitner. Hahn recebeu o Prêmio Nobel de Química em 1945 (ver capítulo 8).

A partir desse momento, a história sofre uma aceleração rápida e transfere-se quase completamente para os Estados Unidos, país onde havia se refugiado a maior parte dos cientistas europeus, fugindo do nazifascismo (ver capítulo 9). Sob o estímulo ideológico de Leo Szilàrd, um cientista poliédrico genial, que já em 1934 havia levantado a hipótese da fissão nuclear (ver capítulo 12), com o impulso profícuo de Enrico Fermi, que emigrara para os EUA, e se instalara na Columbia University de New York, somados à grande capacidade industrial dos Estados Unidos, chegou-se, num período relativamente curto, à identificação,

no urânio-235, do isótopo responsável pela fissão, e, no plutônio-239, de um outro isótopo (artificial, que é obtido irradiando-se urânio com nêutrons), fortemente físsil.

Em dezembro de 1942, graças principalmente a Fermi, foi construído, em Chicago, o primeiro reator nuclear. Dali surgiu o grande Projeto Manhattan, que envolveu a nata da ciência e da indústria americana, resultando, na primavera de 1945, na construção das primeiras bombas atômicas (ver capítulo 13).

Enquanto isso, na Alemanha, a "grande" física sucumbia, a partir de 1933, diante da perseguição promovida pelo nacional-socialismo, que rapidamente privou o país dos seus melhores cérebros (ver capítulo 9). O mesmo acontecia, embora em menor escala, também na Itália, onde Fermi tinha criado a primeira e única grande escola de física italiana, e de onde ele próprio e muitos dos seus colaboradores foram obrigados a emigrar por causa do facismo (ver capítulo 9).

Mesmo os físicos "arianos" sofreram com a ditadura nazista, entre os quais um grande gênio da física, Werner Heisenberg, que, no período de 1925 a 1928, deu uma formidável contribuição ao desenvolvimento da nova mecânica quântica, tendo, por isso, merecido, em 1932, o Prêmio Nobel de Física (ver capítulo 10). Quando, na Alemanha, a partir da primavera de 1939, foram compreendidas as potencialidades da fissão nuclear, foi imediatamente criada uma estrutura, chamada "Uranverein", subordinada a controle militar, cuja direção científica foi dada ao próprio Heisenberg, e da qual foram chamados a participar os melhores cérebros da física nuclear que tinham permanecido na Alemanha.

A falta de interesse por parte dos cientistas alemães, os erros científicos, os financiamentos escassos, ou tudo isso junto concorreu para que Alemanha, durante a guerra, sequer chegasse a completar a construção de um reator nuclear (ver capítulo 13).

Nos Estados Unidos, ao contrário, depois de uma primeira explosão-teste, em 16 de julho de 1945, realizada em Alamogordo, nos dias 6 e 9 de agosto do mesmo ano foram explodidas duas bombas atômicas: a primeira de U-235, sobre Hiroshima, e a segunda, de Pu-239, sobre Nagasaki. Essas explosões assinalaram o fim da guerra e também o fim, como disse alguém, da "inocência dos cientistas".

Com a explosão da bomba atômica sobre Nagasaki, em 9 de agosto de 1945, às 11 horas, termina também a nossa história, que durou cerca de 18 mil dias.

Concluindo, o período de 1895 a 1945 foi a era do ouro para a física. Nesse período, houve uma grande concentração de físicos e descobertas geniais. A física desse período pode ser comparada com o apogeu da arte no Renascimento Italiano. Grande parte dos gênios da física concentrou-se numa determinada área geográfica (Europa Central), assim como o Renascimento Italiano concentrou-se, em grande parte, na Toscana e áreas limítrofes.

Os 50 anos compreendidos entre 1895 e 1945 assinalam, também, o declínio da física europeia e o definitivo e extraordinário crescimento da física americana. Os dois fatos estão ligados entre si a partir da migração forçada, para os Estados Unidos, de uma grande parte dos físicos europeus, que ou eram judeus ou opositores aos regimes ditatoriais. As ditaduras infligiram danos irreparáveis à ciência europeia e, em especial, à física, que, então, vivia um período de grande florescimento.

Essa física frequentemente vem representada, especialmente nos livros escolares, por uma sequência de descobertas, feitas por cientistas geniais totalmente desligados da realidade e do ambiente que os circunda, sem outro interesse senão os seus estudos e as suas pesquisas. Nada mais falso! A história das grandes descobertas, e não só na física, deriva, antes de tudo e sempre, de uma contribuição de descobertas anteriores, muitas vezes pequenas, feitas por pesquisadores obscuros, que não chega-

ram a um resultado, ou, então, não compreenderam, a tempo, a própria descoberta. Assim, as grandes descobertas nascem quase sempre em um ambiente científico (mas também humano!) propício e, muito frequentemente, em uma grande "escola", que as estimulou e favoreceu.

Portanto, mesmo os grandes físicos, na maioria das vezes, tiveram que trabalhar duro para atingir resultados importantes, quase sempre em ambientes onde a inveja, a competição, os oportunismos e as maledicências eram normais. De forma especial, as físicas mulheres tiveram que aguentar essas dificuldades, além de combater o forte machismo dos ambientes científicos da época (veja-se, por exemplo, o caso de Lise Meitner).

Entre os grandes físicos, encontramos qualidades e defeitos comuns aos demais mortais. Existiram, entre eles, grandes amantes (pensemos, por exemplo, em Einstein, Houtermans, Feynman, Placzek, Scherrer), esportistas (Fermi, Heisenberg, Bohr, Joliot), notáveis músicos (Planck, Heisenberg, Einstein, Feynman, Weisskopf), políticos (Stark), informantes (Fuchs, Pontecorvo) e pacifistas (Szilàrd, Rotblat, Franck). Mas, geralmente, disso pouco se fala nos livros de física.

Um dos objetivos que estabelecemos de antemão neste livro foi o de tentar colocar em evidência os aspectos humanos dos grandes personagens da física. Outro objetivo foi o de escrever uma história da física que utilizasse o mínimo possível de teorias da física. Isso nem sempre foi possível; de fato, não há como falar de bomba atômica sem falar em fissão, assim como não é possível falar de fissão sem tratar dos nêutrons e de sua descoberta. E assim essa cadeia avança para trás, até chegar aos raios catódicos.

Esperamos que seja agradável a leitura deste livro, tarefa que só exige um conhecimento básico de física. De qualquer forma, no anexo 1, o leitor encontrará algumas noções básicas de física atômica e nuclear.

Capítulo 1

WILHELM CONRAD RÖNTGEN E A DESCOBERTA DOS RAIOS X

Pode-se dizer que a história da física moderna começou no dia 8 de novembro de 1895, uma sexta-feira. Naquele dia, um professor de física de 50 anos, Wilhelm Conrad Röntgen, que dava aulas na Universidade de Würzburg, pequena cidade ao norte da Baviera, homem metódico e reservado, até o momento pouco conhecido fora do mundo científico, contrariando o seu costume, atrasou-se para o jantar, no apartamento que ocupava no último andar do Instituto de Física.

Röntgen nasceu em Lennep, atualmente subúrbio de Remscheid, pequena cidade da Westfalia, a meio caminho entre Colônia e Düsseldorf, em 27 de março de 1845. O pai, Friedrich Conrad, era um industrial têxtil, e a mãe, Charlotte Constanze Frowein, era de origem holandesa. Alguns anos depois do seu nascimento, em 1848, a família transferiu-se para Apeldoorn, na Holanda, provavelmente por motivos econômicos.

Röntgen frequentou uma escola em Apeldoorn e em Utrecht, e sempre se mostrou um ótimo estudante. Porém, jamais conseguiu o diploma de "maturidade" (exame realizado ao final do Segundo Grau, para verificar se o aluno está emocional e intelectualmente maduro para ingressar na universidade), em virtude de um episódio que o marcou para sem-

pre. Estando o jovem Röntgen observando, por curiosidade, a caricatura de um professor da escola, foi flagrado por esse professor, que lhe atribuiu a autoria da caricatura. Para não denunciar um colega de escola, verdadeiro autor da caricatura, Röntgen calou-se e foi expulso, o que acontecia naquela época pelos motivos mais corriqueiros. Quando, no ano seguinte, ou seja, em 1864, Röntgen candidatou-se mais uma vez ao curso, encontrou, na Comissão de exame, o mesmo professor, que o reprovou.

Em 1865, frequentou dois semestres na Universidade de Utrecht como ouvinte e, em seguida, em novembro do mesmo ano, inscreveu-se no curso de engenharia do Instituto Politécnico de Zurique (que mais tarde tornou-se o famoso ETH), que não condicionava a inscrição à apresentação do diploma de maturidade, e exigia apenas um exame de admissão. Ali, conseguiu terminar os estudos de engenharia, enquanto, ao mesmo tempo, frequentava aulas de arte, literatura e história, que o interessavam de modo especial.

Em seguida, estimulado por August Kundt, conhecido professor de física experimental, inscreveu-se num curso de física, cujas disciplinas eram geralmente dadas no mesmo edifício do Politécnico. Em 1869, completou seus estudos, tendo, na ocasião, defendido uma tese sobre termodinâmica.

Nos anos que se seguiram, permaneceu em Zurique como assistente de Kundt. Em 1870, quando Kundt foi convidado a assumir uma cátedra de física na Universidade de Würzburg, levou Röntgen consigo, como assistente. Em 1870, Röntgen tentou obter sua livre-docência, mas a Universidade de Würzburg não lhe permitiu, por ele não possuir o diploma de licença do liceu (*Abitur*), como determinavam as leis da Baviera.

Em 1872, quando August Kundt mais uma vez o convidou a atuar como seu assistente, desta vez na nova Universidade de Estrasburgo, criada logo após a guerra franco-prussiana de 1870–1871, Röntgen, finalmente, conseguiu tornar-se livre-docente.



Wilhem C. Röntgen
(☆1845–✝1923)

Em janeiro de 1872, casou-se, em Apeldoorn, com Anna Bertha Ludwig, seis anos mais velha do que ele, moça que havia conhecido no período em que vivera em Zurique, em 1866. Ela era uma das três filhas de Johann G. Ludwig, proprietário do Café Zum Grünen Glas, que ficava nas proximidades da Escola Politécnica, ponto de encontro dos estudantes. O casal viveu, juntos, por mais de 50 anos, e, como não tiveram filhos, adotaram, em 1887, a filha de um irmão de Bertha, Josephina Bertha, que tinha 6 anos à época da adoção.

Em 1875, foi convidado a assumir um cargo de física na Academia Agrária (Hochschule), em Hohenheim, nas proximidades de Stuttgart. Porém, os limitados recursos financeiros dessa instituição não lhe permitiram desenvolver atividades de pesquisa. Por isso, aceitou com entusiasmo a proposta do seu protetor, professor Kundt, para transferir-se com ele para Estrasburgo, onde ocuparia o cargo de professor extraordinário, que, naquela época, na Alemanha, era a figura do docente subordinado ao professor ordinário, neste caso, o próprio Kundt.

Finalmente, em 1879, foi admitido como professor ordinário para ocupar a cátedra de física na Universidade de Giessen. Ali, como de costume, assumiu também o papel de diretor do instituto e fez uma primeira e importante descoberta relativa aos efeitos eletromagnéticos da polarização dielétrica (RÖNTGEN, 1885). Ele demonstrou esse efeito por meio de uma série de experimentos de difícil execução, por causa da pequenez do próprio efeito. Nesse caso, revelou notáveis atitudes de um cientista experimental engenhoso e meticuloso, papel com o qual sempre se identificou, tanto que, quando um jornalista lhe perguntou o que havia pensado quando vira as cintilações de luz provenientes do dispositivo fluorescente irradiado por um tubo catódico, respondeu: “eu não penso, eu pesquiso”.

No início dos anos 1980, Röntgen era já bastante conhecido na Alemanha por sua alta qualificação científica e por sua habilidade como cientista experimental.

No dia 1º de outubro de 1888, foi, enfim, convidado para assumir a cátedra de física, como sucessor de F. Kohlrausch, na mesma Universidade de Würzburg[1] – a Julius Maximilian Universität –, que 18 anos antes lhe havia negado a livre-docência. Ali, entre outubro de 1893 e setembro de 1894, foi também eleito reitor para o ano acadêmico 1893–1894. Terminada essa incumbência, começou a ter mais tempo para dedicar-se à pesquisa sobre os raios catódicos, que tinha começado havia mais ou menos um ano.

E agora voltemos àquela noite de sexta-feira, 8 de novembro de 1895. Quando Röntgen sentou-se à mesa para jantar, não abriu a boca para conversar com a mulher e a filha, Clara. Sua atenção estava totalmente voltada para o experimento que fazia. Logo depois do jantar, contrariando seus hábitos, retornou ao laboratório, para repensar e reavaliar o experimento que tanto o havia perturbado naquela tarde.

De fato, algumas horas antes, Röntgen, trabalhando com um tubo catódico, casualmente encontrou um novo tipo de radiação (*eine neue Art von Strahlen*", segundo as palavras do próprio Röntgen), produzido, como veremos, pela colisão de elétrons acelerados (raios catódicos) contra a parede do tubo.[2]

Foi nesse primeiro artigo que ele chamou os raios de X-Strahlen, raios X, para indicar raios de natureza desconhecida.

A descoberta de Röntgen assinala, de um lado, o início da física atômica, e, de outro, o início da radiologia e das aplicações médicas das radiações X.

---

[1] Essas contínuas peregrinações eram muito comuns no mundo acadêmico alemão; além disso, havia uma clara classificação relativa à importância das cadeiras acadêmicas.

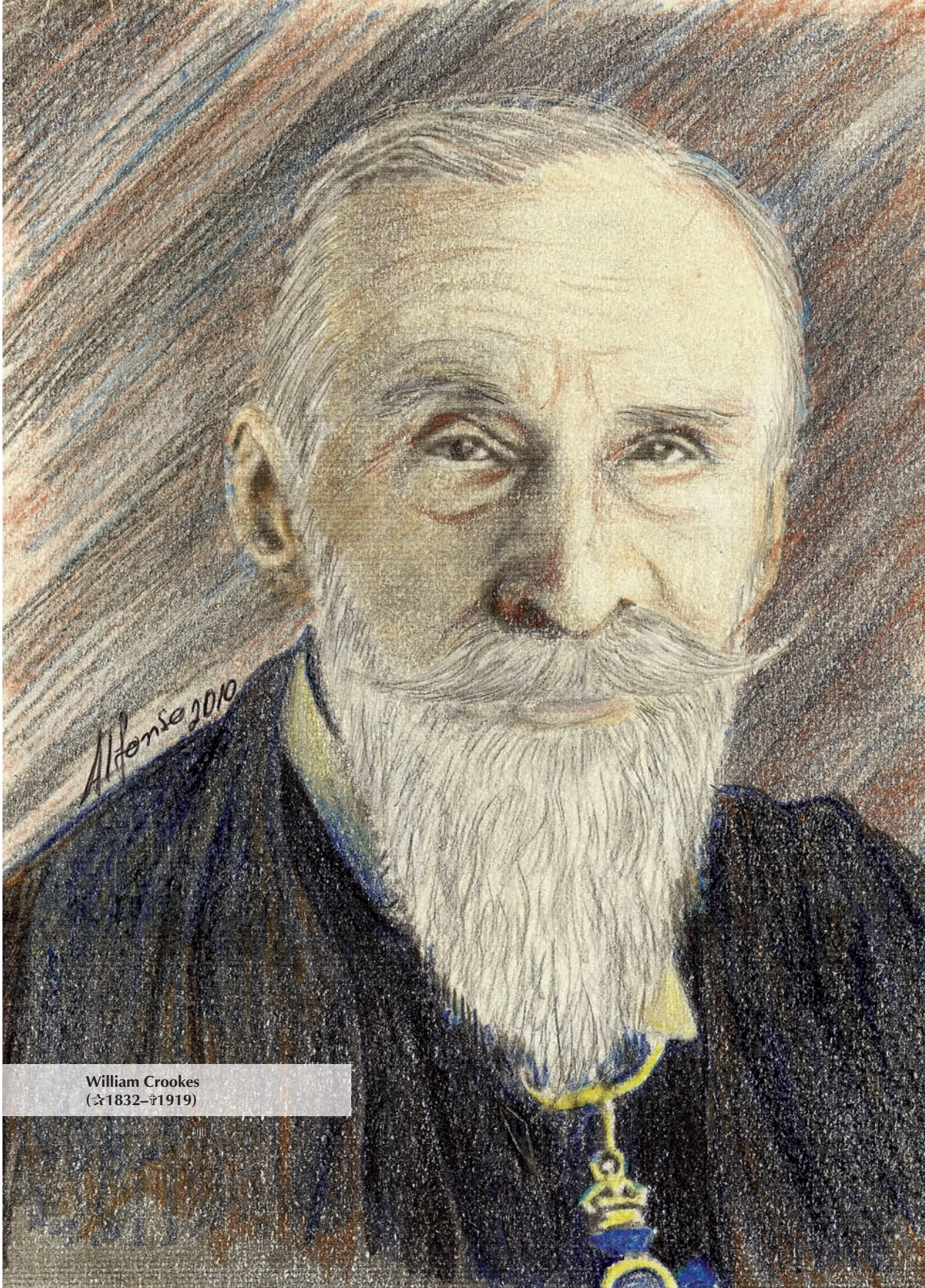
[2] Informações posteriores sobre os tubos catódicos e sobre os tubos de raios X são fornecidas no anexo 1 deste livro.

A descoberta, como algumas vezes acontece, foi, apenas em parte, uma obra do acaso, já que encontrou um cientista perfeitamente preparado para experimentá-la. Com efeito, muitos pesquisadores, antes de Röntgen, trabalhando com instrumentação análoga, especialmente com tubos catódicos, já haviam praticamente "esbarrado" na mesma descoberta. Certamente, muitos, antes dele, já haviam produzido raios X sem se aperceberem disso, mas somente Röntgen foi capaz de reconhecer, no experimento, um novo fenômeno. Para se compreender a descoberta dos raios X em todo o seu significado e importância, é oportuno recuar no tempo, cerca de 25 a 30 anos, e assim poder acompanhar, ao longo do tempo, o desenvolvimento dos tubos de vácuo, dos tubos de Geissler aos tubos de Hittorf, para, finalmente, chegar aos tubos de Crookes e aos de Lenard.

Comecemos pelos tubos de vácuo e de vidro inventados por Geissler, que receberam o seu nome. São realizados soldando-se delicados vidros decorados, de dimensões as mais diversas. Alguns, em parte, são feitos com vidros de urânio que, por fluorescência, colorem-se de verde quando são irradiados com radiação emitida por um eletrodo carregado negativamente. Os tubos de Geissler eram empregados principalmente para brincadeiras e divertimento.

Os tubos de Geissler foram parcialmente modificados por Sir William Crookes (1832–1919), ou seja, foram feitos de vácuos mais fortes, tornando-se mais adaptados a demonstrações práticas e a pesquisas em física (CROOKES, 1882).

Sir W. Crookes foi o primeiro a produzir raios catódicos, isto é, a radiação (depois reconhecida como elétrons) emitida por um catodo de tungstênio tornado incandescente pela passagem de corrente elétrica e acelerada por uma elevada diferença de potencial entre o próprio catodo e um segundo eletrodo chamado anodo, submetido a tensão positiva e colocado depois do catodo.



William Crookes
(☆1832–✝1919)

Quando é aplicada uma elevada diferença de potencial entre o catodo e o anodo (que geralmente é um anel metálico colocado entre o catodo e a cruz), os raios catódicos são acelerados pela diferença de potencial e irradiam a parede de vidro recoberta ou constituída por material fluorescente. A radiação que encontra a cruz é absorvida, de modo que sobre o bulbo de vidro aparece uma imagem com a sombra da cruz.

Entre 1850 e 1860, Julius Plücker mostrou que os raios catódicos são desviados por um campo magnético aplicado entre dois eletrodos colocados dentro do tubo catódico, e observou efeitos de fluorescência provocados pelos raios catódicos (ERNEST, 1933). Isso sugeria a hipótese de que os raios catódicos poderiam ser partículas carregadas. Depois, essa hipótese foi explicitamente comprovada por C. F. Varley.

Na década de 1960, Johann Hittorf (1824–1914), professor na Universidade de Münster, estudou os raios catódicos e desenvolveu, em especial, um tubo catódico com um vácuo mais forte, descobrindo, entre outras coisas, que, colocando-se um corpo sólido depois do catodo, esse eliminava o efeito de fluorescência sobre as paredes do tubo (HIEBERT, 1995). Em 1874, George Johnstone Stoney estabeleceu que a carga dessa hipotética partícula carregada estava compreendida entre 1×10^{-19} e 2×10^{-19} Coulomb, e propôs o nome de "eletrina", que, em 1891, mudou para "elétron" (STONEY, 1891). Em 1881, Herrmann Ludwig von Helmholtz sugeriu a ideia de que fosse uma carga mínima de eletricidade (KOENIGSBERGER, 1901) e, em 1890, Arthur Schuster calculou a relação entre a carga e a massa da partícula que constituía os raios catódicos (MILLIKAN, 1963). Enfim, no final de 1897, Joseph John Thomson "descobriu" o elétron (THOMSON, 1897) (ver capítulo 4).

Depois, o próprio von Helmholtz sugeriu que, com base na teoria das ondas eletromagnéticas de Maxwell, deveriam existir, na natureza, radiações invisíveis de alta frequência (STOJANOVIC; JAKSIC, 1987). Essas radiações deveriam interagir pouco com a matéria e teriam, por-

tanto, forte poder de penetração. Também levantou a hipótese de que poderiam estar presentes nos raios catódicos, a elevadas tensões.

Entre 1888 e 1894, Philipp Lenard, uma figura singular da física alemã e Prêmio Nobel em 1905 (ver capítulo 2) (LENARD, 1894), dedicou-se inteiramente ao estudo dos raios catódicos, com o objetivo de descobrir a radiação prevista por von Helmholtz. Não a encontrou; em vez disso, produziu, com certeza, os raios X.

Fracassou nessa pesquisa pela primeira vez, em 1888, por causa de vácuos não suficientemente fortes, que provocavam um descarga de tensão muito baixa para poder produzir raios X em condição de superar o bulbo de vidro do tubo catódico. Fracassou uma segunda vez, em 1893, quando era assistente de Hertz. Naquela ocasião, esvaziou o tubo a pressões inferiores e, portanto, pôde trabalhar com maiores tensões. Porém, em 1892, tinha desenvolvido um tubo catódico com uma fina janela de alumínio, para permitir a eventual saída da radiação e para poder estudá-la ao ar livre.

Lenard demonstrou que, nesse caso, os raios catódicos produzidos estavam em condição de superar a janela e de produzir fluorescência nos cristais de sulfato de cálcio ou de pentadecilparatolilcetona, que funcionavam como reveladores. Nesse caso, Lenard observou uma intensa fluorescência a poucos centímetros do tubo, e ocasionais escurecimentos de uma chapa fotográfica coberta por papelão preto. Todavia, ele não estava preparado para esse novo evento, isto é, para a descoberta dos raios X.

Em 1894, P. Lenard, como conclusão dos seus estudos, publicou um trabalho fundamental sobre os raios catódicos (PERRIN, 1897), no qual sustenta, entre outras coisas, que os raios catódicos viajavam com a velocidade da luz. No entanto, essa hipótese foi desmentida por Joseph John Thomson que, em 1894, anunciou ter medido uma velocidade de $1{,}9 \times 10^7$ cm/s para os raios catódicos. Enfim, em 1895, Jean Baptiste

Perrin mostrou que os raios catódicos são carregados de uma carga negativa (SELINGER, 1995).

Se Lenard tivesse podido continuar suas pesquisas sobre raios catódicos, teria, certamente, identificado os raios X. Infelizmente para ele, em janeiro de 1894, Heinrich Hertz morreu inesperadamente e Lenard teve que substituí-lo e assumir as funções de diretor do Laboratório de Física em Bonn. Além disso, incumbiu-se da publicação, em três volumes, das últimas pesquisas de Hertz. A seguir, em 1895, aceitou o cargo de professor ordinário em Breslau, onde não existiam equipamentos adaptados para continuar suas pesquisas. Quando, finalmente, se transferiu para o Instituto Técnico de Aachen e pôde voltar a trabalhar com os raios catódicos, no início de 1896, já era muito tarde, porque os raios X já tinham sido descobertos.

Essa era a situação quando Röntgen começou a trabalhar com os tubos de vácuo. Convém lembrar que ele se transferira para Würzburg para ocupar a cátedra de física, como sucessor de Kohlrausch, em 1º. de outubro de 1888. Como ele mesmo disse na única entrevista que concedeu à imprensa:

> [...] há tempos estava muito interessado no problema dos raios catódicos emitidos por um tubo de vácuo, de acordo com os estudos de Hertz e Lenard. Acompanhei com atenção os estudos deles e os de outros cientistas sobre esse assunto e me prometi, assim que tivesse tempo, dedicar-me a estas pesquisas. Finalmente, encontrei este tempo em outubro de 1895. (DAM, 1986, p. 413).

Mas é certo que Röntgen começou muito antes dessa época a trabalhar experimentalmente com os raios catódicos. A primeira indicação precisa sobre isso remonta a 4 de maio de 1894, quando ele solicitou um tubo de Lenard à empresa Müller-Runkel, de Braunschweig. Essa empresa foi persuadida pelo próprio Lenard a construir esses tubos, e a solicitação de Röntgen provavelmente foi a primeira a ser atendida depois daquela primeira encomenda, gratuita, feita para atender Lenard.

Na mesma data, Röntgen escreveu uma carta a Lenard pedindo-lhe informações sobre as finas folhas de metal que ele, Lenard, usava como janela do tubo para transportar ao raios catódicos para fora dele. Na mesma carta, declarou que pretendia "observar as radiações invisíveis de alta frequência dos raios catódicos (previstas por von Helmholtz)". Lenard respondeu-lhe falando sobre as dificuldades para fazer essas folhas e inseri-las no tubo catódico, mas lhe enviou, assim mesmo, dois exemplares. Mais tarde, Lenard observaria, com amargura, que, com essa ajuda que lhe tinha dado, estava cooperando para a descoberta dos novos raios (ver capítulo 2).

É provável, portanto, que Röntgen já tivesse trabalhado com os tubos de Crookes (ou de Lenard), uma vez que, naquela época, eles eram comuns nos laboratórios. O certo é que, no outono de 1895, ele já havia repetido todos os experimentos de Lenard, e estava, assim, pronto para realizar outros.

O plano de trabalho de Röntgen era simples e claro: eliminar tudo o que pudesse perturbar ou mascarar a radiação que pretendia identificar. Consequentemente, propunha a si mesmo: a) trabalhar com um tubo catódico a um vácuo suficientemente forte, de modo a ter raios catódicos com uma tensão elevada; b) fazer os raios catódicos serem absorvidos completamente pelas paredes do tubo; e c) bloquear a luminescência produzida sobre as paredes do tubo, usando um papelão preto.

Assim, operando e observando atentamente o dispositivo fluorescente que funcionava como revelador, com a sala completamente no escuro, teria podido certamente notar traços de fluorescência sobre um dispositivo fluorescente colocado do lado de fora do tubo.

Foi exatamente isso que fez Röntgen no dia 8 de novembro de 1895. Cobriu o tubo com o papelão preto e fechou completamente as pesadas cortinas que cobriam as janelas do laboratório. Abaixou o interruptor da bobina de Rühmkorff, produzindo uma série de impulsos de raios

catódicos de alta frequência. Então, olhou atentamente ao redor, para conferir que não havia qualquer réstia de luz na sala. Mas, como queria apenas verificar esse detalhe, não colocou nenhum "revelador fluorescente" fora do tubo.

O acaso o ajudou, pois ele, inadvertidamente, tinha deixado um dispositivo fosforescente sobre uma mesa, a uma distância de 1 m do tubo. Os seus olhos daltônicos e acostumados ao escuro notaram um clarão de luz pulsante em um canto, sobre uma mesa próxima ao tubo, onde tinha deixado o dispositivo fluorescente. Pensou que pudesse ser um raio de luz refletido por qualquer objeto do laboratório. Abaixou, então, o interruptor e o clarão desapareceu. Fechou-o novamente, e o clarão reapareceu. Olhou melhor e compreendeu que o clarão vinha precisamente do dispositivo fluorescente de platinocianureto de bário que havia usado como revelador. Pareceu-lhe certo que o clarão estava ligado ao funcionamento do tubo. Assim, colocou um papelão preto entre o tubo e o dispositivo e depois mais outro, e então um livro grosso, e mais outro, e ainda um pedaço de madeira de 2,5 cm. O clarão permanecia. Pegou, então, o dispositivo e o aproximou, e depois o distanciou do tubo. O clarão aumentava ou diminuía, mas, de qualquer forma, continuava visível. Repetiu o experimento uma segunda e uma terceira vez, sempre com os mesmos resultados.

Tudo isso acontecia naquela tarde de 8 de novembro, quando chegou tarde para o jantar, para desapontamento de sua mulher, Bertha. Depois do jantar continuou a trabalhar, colocando, uma após outra, as finas chapas de Al, Cu, Pb e Pt. Somente os dois últimos elementos absorveram completamente a radiação.

Colocou, então, um disco de chumbo diante do dispositivo e, para sua grande surpresa, viu, sobre o dispositivo, não só a sombra do disco, mas também a de seus dedos. Retirou então o disco de chumbo e colocou toda a sua mão diante do dispositivo. Viu, assim, o esqueleto da sua mão, e isso, podemos bem imaginar, o impressionou enormemente.

É claro que Röntgen foi ajudado pela sorte, ou seja, pela combinação de três fatores: por ter colocado o ecran de platinocianureto de bário na linha dos raios X produzidos pelo tubo; por ter escolhido involuntariamente o ecran mais indicado para o experimento, ou seja, o bário, uma vez que o bário tem uma grande eficiência de fluorescência exatamente na zona de energia dos raios X que ele deve ter produzido; e, enfim, por ser daltônico, o que lhe dava uma extraordinária sensibilidade à escuridão. Mas, convém insistir, Röntgen tinha se preparado maravilhosamente para esse evento.

Como já foi dito, muitos pesquisadores antes dele devem ter, inconscientemente, produzido raios X sem se aperceberem disso. Com certeza, M. Faraday já havia produzido raios X. Crookes certamente os produziu. De fato, ele tinha desenvolvido o protótipo daquele que seria depois o tubo de raios X. Usou um catodo côncavo para focalizar os raios catódicos sobre o anodo de platino-irídio, otimizando, assim, involuntariamente, a eficiência de produção de um tubo radiogênico. Além disso, durante suas pesquisas, já havia percebido que placas fotográficas ficavam nebulosas quando colocadas próximo aos tubos durante uma descarga de raios catódicos. Por esse motivo, chegou a reclamar disso aos produtores das placas, restituindo-lhes aquelas defeituosas. Certamente, Lenard havia produzido raios X, e lamentou, por longo tempo, não lhe ter sido atribuída a paternidade da descoberta.

De qualquer forma, os únicos que poderiam demonstrar ter produzido raios X antes de Röntgen foram A. W. Goodspeed e W. N. Jennings (SELIGER, 1995). Realmente, em 1890, Arthur W. Goodspeed, da Universidade da Pensilvânia, deixou, inadvertidamente, duas moedas sobre uma placa fotográfica colocada junto a um tubo de Crookes. Quando revelaram a placa, aqueles cientistas não conseguiram explicar as sombras circulares das duas moedas e colocaram a placa de lado.

Em um artigo publicado no *Bologna della Scienza,* com o título *Mas quem descobriu os raios X?,* o autor, Ruggero Rangoni, sustenta que,

em Bolonha, um colaborador do físico Augusto Righi, seu antepassado Ugo Rangoni, teria obtido a radiografia de uma mão, graças aos raios Röntgen, alguns meses antes da descoberta dos mesmos raios pelo próprio Röntgen[3]. Para demonstrar a sua hipótese, Ruggero Rangoni mostra a foto da radiografia de uma mão, com uma legenda escrita à mão, por Ugo Rangoni, na qual se lê: "[...] realizada com raios Röntgen atravessando a mão do subscrito mecânico Rangoni Ugo; primeira radiografia feita em Bolonha pelo ilustre professor A. Righi, em 27 de outubro de 1895" (RANGONI, 2002). Ainda que essa informação seja tardia, a data inscrita na parte debaixo da radiografia é um dado surpreendente.

Algumas questões não ficaram completamente esclarecidas na descoberta dos raios X por Röntgen, em virtude, principalmente, da natureza reservada de Röntgen. Mas é conhecido, com certeza, o dia da divulgação da descoberta dos raios X, por Röntgen: foi em Würzburg, numa sexta-feira, 8 de novembro de 1895, no Instituto de Física, que existe até hoje. A essa descoberta, em grande parte casual, seguiram-se semanas de trabalho frenético, que o levou, enfim, a escrever, em 28 de dezembro de 1895, e a imediatamente publicar, no *Relatório da Sociedade Físico-Médica de Wüzburg*, seu famoso trabalho *Über eine neue Art Strahlen* (*Sobre um novo tipo de radiação*). Algum tempo depois, Boltzmann sugeriu chamar o novo tipo de radiação de raios Röntgen.

Ruggero Rangoni, ao perceber a dificuldade de tornar confiável a data de descoberta (27 de outubro de 1895) colocada na radiografia da mão de seu antepassado Ugo Rangoni, propôs uma nova versão para a descoberta. Segundo ele, Röntgen teria feito sua descoberta pelo menos 2 anos antes de divulgá-la, mas, por puro escrúpulo científico, quis aprofundar-se na pesquisa antes de torná-la pública. Para sustentar essa

---

[3] "Agradeço ao colega, professor Franco Casali, por me propor este 'enigma'" (professor Roberto Cesareo, em entrevista realizada com o professor Casali no dia 17 de março de 2002).

hipótese, Rangoni reproduz o seguinte texto, escrito por Aristide Busi, pioneiro da radiografia médica, em 1912:

> O anúncio oficial da descoberta dos raios X foi feito por Röntgen em dezembro de 1895, em um relatório apresentado por ele à Sociedade Físico-Médica de Würzburg, mas, segundo o que afirma o dr. T. S. Middleton, atualmente médico em Chicago, que participou dos experimentos, Röntgen fez a sua descoberta pelo menos dois anos antes, por puro acaso; mas, antes de difundi-la, quis, com o escrúpulo digno de um verdadeiro cientista, estudá-la a fundo, sem deixar-se levar pela ambição e pelo desejo de fama. Esse momento de sorte foi-lhe proporcionado pela fotografia, arte pela qual ele tinha verdadeira paixão. (RANGONI, 1912, citado por BUSI, 2002, p. 16).

A interpretação de Ruggero Rangoni é sugestiva, mas não é confiável. Com efeito, Röntgen deve ter começado a trabalhar com os raios catódicos a partir de 1894. A prova disso é que, em maio de 1894, Röntgen escreveu a Lenard, então o maior estudioso dos raios catódicos, pedindo detalhes sobre os tubos de Lenard. Realmente, este último tinha conseguido, pouco tempo antes, colocar os raios catódicos "fora" do tubo, por meio de uma fina janela de alumínio, e Röntgen lhe escrevera interessado em conseguir algumas dessas folhas de alumínio.

Ao mesmo tempo, ele solicitou à empresa Müller-Runkel um desses tubos e pediu a intercessão de Lenard para conseguir que essa empresa fizesse o tubo seguindo determinadas instruções. Röntgen confessaria depois:

> [...] há muito tempo estava interessado no problema dos raios catódicos emitidos por um tubo de vácuo, segundo os estudos de Hertz e de Lenard. Acompanhei com atenção seus estudos e também os dos outros cientistas sobre esse assunto e me prometia, assim que tivesse tempo, dedicar-me a essas pesquisas. Enfim, encontrei este tempo em outubro de 1895. [Antes Röntgen estava muito absorvido pelo seu cargo de reitor.]. (SELINGER, 1995, p. 26).

Não há, pois, nenhum motivo plausível para que Röntgen tenha adiado a divulgação do fato. O escrúpulo científico aventado por Rangoni não justificaria que o cientista esperasse 2 anos para concluir as pesquisas e divulgá-las. De fato, vimos que, no dia 8 de novembro de 1895, Röntgen não só descobriu os raios X como se propôs, ato contínuo, a

completar as pesquisas, o que fez em um período de menos de 50 dias, e insistindo para que fossem publicadas imediatamente. De qualquer forma, a locução "raios Röntgen", não criada pelo autor, mas usada por Rangoni, começa a aparecer somente em meados de 1896.

A afirmação do Dr. Middleton também parece ser pouco plausível, Röntgen, como dissemos, era muito reservado, mas também ciumento de seus experimentos, tanto que, geralmente, não mantinha informados nem mesmo seus colaboradores. Assim, permitir que um médico americano participasse deles não parece fato digno de crédito.

A hipótese mais plausível para a foto de Ugo Rangoni é mais simples: a data não seria 1895, mas 1896. Sabe-se, com certeza, que, no início de 1896, Röntgen fez, pessoalmente, cerca de 80 resumos da sua publicação *Eine neue Art von Strahlen* usando a radiografia da mão da sua mulher Bertha, feita no dia 22 de dezembro de 1895. Enviou esses resumos aos maiores físicos europeus e, entre eles, provavelmente a Augusto Righi, na época muito conhecido na Europa. Righi tinha todos os aparelhos para repetir o experimento de Röntgen e, obviamente, o fez utilizando a mão de um colaborador.

Uma prova que comprova essa hipótese é dada pelo próprio Augusto Righi. No seu pequeno volume *Le nuove vedute sull'intima struttura della materia*, publicado pela editora Zanichelli, em 1908, A. Righi inclui a lista de suas publicações científicas de 1872 a 1907. Por essa relação pode-se, perfeitamente, acompanhar a evolução das pesquisas de Righi. De 1894 a 1895, ele se dedicou ao estudo das propriedades elétricas da matéria e, em especial, em 1895, às faíscas elétricas e às oscilações elétricas. Em 1896, suas pesquisas mudam inesperadamente para os raios de Röntgen, como ele os chamava, aos quais dedicou-se inteiramente por todo o ano. Na publicação n. 133, observou, por exemplo: "[...] o autor obtém, com o método dos pós de Lichtenberg, as sombras dos ossos da mão, semelhantes àquelas obtidas por outros meios por Röntgen" (RIGHI, 1908, p. 23).

Naquela época, Augusto Righi possuía todos os aparelhos necessários para repetir o experimento de Röntgen: em 1880, trabalhou com os tubos de Crookes; em 1893, estudou a distribuição dos potenciais junto ao catodo; no mesmo ano, descreveu tubos que emitem os raios X, embora contendo gás menos rarefeito do que o habitual. Portanto, é natural que, estimulado pelo trabalho de Röntgen, tenha querido reproduzi-lo antes de aprofundar as suas pesquisas. Finalmente, é interessante observar que as pesquisas de Righi sobre os raios X limitaram-se ao ano de 1896, não existindo indicações de que ele tenha continuado com elas, pelo menos até 1907.

É bem verdade que não se pode excluir uma suposição taxativamente, nem mesmo a fantasiosa hipótese de R. Rangoni, mas parece ser muito pequena a probabilidade sugerida por ele.

Retornando a Röntgen, muitos detalhes relativos à descoberta permanecem incertos. Uma questão muito discutida diz respeito ao tubo que ele teria usado no dia da grande descoberta, 8 de novembro de 1895. Mesmo no manuscrito relativo a sua primeira comunicação, enviado à imprensa no dia 28 de dezembro de 1895, não há especificação do material utilizado. Reportemo-nos a um trecho dele:

> Lässt man durch eine Hittorf'sche Vakuum Röhre, oder einen genugend evakuirten Lenard'schen, Crookes'schen oder ähnlichen Apparat die Entladungen eines grösseren Ruhmkorff's gehen, und bedekt den Lenardschen Apparat (no manuscrito corrigido depois com Röhre!) mit einem ziemlich engen anliegenden Mantel aus dünnen schwarzen Carton, so sieht man in den vollständig verdunkelten Zimmer einen in der Nähe des Apparates gebrachten, mit Bariumplatincyanür angestrichenen Papierschutz (?) bei jeder Entladung hell aufleuchten, Fluoreszenz, gleichgültig ob die angestreichene oder die andere Seite des Schirmes […] (RÖNTGEN, 1897, p. 137-147).[4]

---

[4] Deixando-se descarregar uma bobina de Ruhmkorff através de um tubo de vácuo de Hittorf, ou através de um aparelho de Lenard ou de Crookes, ou semelhante, bem vazio, e envolvendo-se o aparelho de Lenard com um fino papelão preto, bem apertado, então se observará, a cada descarga, a luz de fluorescência sobre uma folha de platinocianeto de bário colocada nas proximidades do aparelho, estando a sala completamente escura [...] (RÖNTGEN, 1897, p. 137-147, tradução nossa).

Como se lê, Röntgen cita vários tipos de tubos (de Hittorf, de Lenard e de Crookes), todos eles capazes de produzir raios X. Embora não indique o tubo utilizado, ele afirma que a superfície da parede do tubo que é mais fluorescente e onde batem os raios catódicos pode ser considerada a fonte primária dos raios X. Isso nos leva a excluir, da experiência, o tubo de Lenard, uma vez que, sendo provido de uma folha de alumínio, não emite luz de fluorescência.

Uma outra questão diz respeito à tensão aplicada ao tubo. Na sua primeira comunicação, Röntgen mostra uma tabela com as espessuras de platina, chumbo, zinco e alumínio, que produziram, aproximadamente, a mesma absorção. Com base nessa tabela, Spiers calculou uma tensão de alimentação de cerca de 100 kV, principalmente baseando-se no fato de que a platina mostrou uma absorção maior, mesmo sendo de número atômico inferior (SPIERS, 1896). Isso seria explicado com base no fato de que, a 100 kV, uma grande parte da radiação emitida estaria compreendida entre 78 keV e 88 keV, que correspondem à descontinuidade fotoelétrica da platina e do chumbo, respectivamente. Portanto, o valor de 100 kV mostra-se aceitável.

Depois da grande descoberta e antes da sua primeira comunicação, enviada para publicação no dia 28 de dezembro do mesmo ano, na *Physikalisch-medizinische Gesellschaft zu Würzburg* (SELIGER, 1995), em poucas semanas e trabalhando freneticamente, Röntgen explorou vários aspectos do fenômeno descoberto, como o efeito luminoso da fluorescência, a absorção dos raios X pelos vários materiais e a sua dependência da espessura, da densidade e do elemento químico, o escurecimento das chapas fotográficas, a ausência de refração, etc. Passou dias e noites no laboratório trabalhando, comendo e algumas vezes dormindo, preocupado e quase angustiado que alguém pudesse precedê-lo na descoberta que, naquele momento, parecia-lhe fácil e óbvia demais, podendo, então, ser realizada por qualquer pessoa.

Pouco antes do Natal de 1895, havia praticamente terminado as suas pesquisas. Enfim, no dia 22 de dezembro, levou sua mulher, Bertha, ao laboratório e fez as duas famosas radiografias da mão dela. Durante as férias de Natal, escreveu, com inusitada rapidez, o manuscrito do seu primeiro trabalho sobre os raios X. No dia 28 de dezembro, pediu ao seu amigo Karl Lehmann, presidente da Sociedade Físico-Médica de Würzburg, que convencesse o editor da revista da Sociedade Físico-Médica a incluir o manuscrito do seu artigo nos *Autos da Sociedade*, no número de dezembro, embora o trabalho não tivesse sido apresentado na reunião de dezembro. Como a revista já estava praticamente pronta, o artigo foi inserido, mas não foi possível incluir a radiografia da mão de sua mulher, Bertha. Todavia, nos três dias seguintes, fez um grande número de cópias da radiografia e as inseriu nos resumos do trabalho e enviar tudo aos maiores cientistas europeus.

No dia 1º de janeiro de 1896, tendo em mãos as cópias dos resumos, passou todo o dia a preparar e a expedir cerca de uma centena de envelopes. Depois, comentou com a esposa – "so, nun kann der Teufel losgehen[5]" –, referindo-se com certeza à preocupação, finalmente superada, de que alguém pudesse chegar à descoberta antes dele (pensaria em Lenard?).

No dia 23 de janeiro de 1896, fez outra radiografia, que ficou igualmente famosa: a de Albert von Kölliker, professor de anatomia na Universidade de Würzburg.

O envio dos resumos com a radiografia da mão da mulher produziu, provavelmente, a primeira e maior disseminação de notícias da era moderna, e rapidamente suscitou um enorme alvoroço em todas as grandes capitais da física. É interessante notar como, então, o Correio funcionava bem. Já no dia 2 de janeiro, o físico de Perugia, Enrico Salvioni,

---

[5] Agora pode até acontecer o fim do mundo.

agradecia pelo resumo recebido.Vale a pena lembrar que, em 1896, foram publicados cerca de 1.000 trabalhos sobre os raios X. Além de tudo, a notícia da descoberta foi rapidamente divulgada pela imprensa, inicialmente pela vienense *Die Presse*, no dia 5 de janeiro de 1896, e depois, nos primeiros 15 dias de janeiro, pelo *Evening Standard*, pelo *Manchester Guardian*, pelo *Matin*, pela *Frankfurter Zeitung*, pelo *New York Times* e pela *Wiener Zeitung*. No dia 23 de janeiro, o trabalho de Röntgen foi publicado, em inglês, na *Nature*, e, em 14 de fevereiro, na *Science*, também em inglês.

Mas Röntgen, tímido e reservado que era, perturbou-se com aquela inesperada notoriedade, ampliada pela imprensa, e recusou numerosos convites para fazer conferências e seminários.

Seu temperamento esquivo fê-lo recusar todo tipo de convite para participar de congressos e conferências, à exceção de três ocasiões, quando foi praticamente obrigado a aceitá-los. A primeira, em setembro de 1879, ao apresentar-se como professor ordinário em um congresso de física, em Baden-Baden. A segunda, em janeiro de 1896, atendendo a um convite do imperador Frederico Guilherme II, para fazer uma conferência em Berlim, no Palácio Imperial. Röntgen dirigiu-se a Berlim, onde, no dia 12 de janeiro de 1896, fez uma conferência, com demonstração, diante do imperador. Participou, em seguida, de um jantar oficial, momento em que foi condecorado pelo imperador, com a Cruz de 2ª Ordem da Ordem da Coroa da Prússia. E a terceira, em apresentação oficial da sua descoberta, no dia 23 de janeiro de 1896, em Würzburg, na reunião da Physikalisch-medizinische Gesellschaft zu Würzburg.

Recebeu, depois, condecorações, honras e reconhecimentos, que culminaram com a atribuição do Prêmio Nobel de Física, em 1901. Todavia, Röntgen jamais fez a conferência prevista pelo edital do prêmio. Apresentou todas as desculpas imagináveis para postergá-la para o ano seguinte. Quando, enfim, se sentiu pronto, embora desanimado de ir

para Estocolmo, proferir a conferência, que já havia preparado, recebeu uma carta do Comitê do Prêmio Nobel (provavelmente compreenderam com quem estavam lidando!). Ela informava que tudo estava pronto para sua vinda a Estocolmo, e que a tal conferência, embora aguardada, não era condição obrigatória para receber o prêmio[6].

Finalmente, Röntgen foi a Estocolmo, onde, no dia 10 de dezembro de 1901, recebeu o prêmio das mãos do príncipe herdeiro, Gustavo (mais tarde, rei Gustavo V). Ao contrário dos outros premiados, disse poucas palavras de agradecimento, prometendo, para o ano seguinte, fazer a tal conferência. Depois, recebeu a medalha do Nobel pelos Correios. No Relatório dos Prêmios Nobel de 1901, ficou registrado que lhe haviam concedido o Prêmio Nobel, mas que ele não tinha feito a *Nobel Lecture*.

Em relação ao nome a ser dado aos novos raios encontrados por Röntgen, em sua primeira comunicação, chamou-os de raios X (X-Strahlen). Foi von Kölliker, na mesma reunião de 23 de janeiro de 1896, a propor o nome de raios de Röntgenstrahlen (raios Röntgen), proposta renovada por Boltzmann. Atualmente, esses raios são universalmente conhecidos por "raios X", com exceção dos países de língua germânica, onde são chamados de Röntgenstrahlen (raios Röntgen).

Em maio de 1896, aparece a primeira revista médica dedicada aos raios X: *Archives of Clinical Sciagraphy,* depois chamada *Archives of the Röntgen Ray*. No ano seguinte, foram fundados *Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen* e o *American X-ray Journal*, e, ainda em 1896, na *Science*, um médico da Universidade da Pensilvânia propunha a seguinte questão: é lícito que um cirurgião faça certas operações sem antes examinar a área a ser operada com os raios X?

---

[6] No volume dos Prêmios Nobel de 1901 que contém as conferências feitas pelos premiados, no lugar do relatório de Röntgen, aparecem os dizeres: "no lecture was delivered by professor W. Röntgen".

Em 1896, foram publicados, em todo o mundo, cerca de 1.044 trabalhos sobre os raios X. O primeiro, em 27 de janeiro, foi o de Jean Perrin. A ele se seguiram publicações provenientes de todo o mundo científico. Trabalhava-se freneticamente com os raios X em todos os laboratórios importantes, de Paris a Cambridge, de Bolonha a Manchester. Pode-se concluir afirmando que a descoberta dos raios X pelo "físico" Röntgen revolucionou a Medicina e trouxe enormes benefícios à humanidade. Curiosamente, cerca de 70 anos depois, foi também um físico (A. M. Cormack) e um engenheiro (G. Hounsfield) a dar uma outra contribuição fundamental à Medicina, com a descoberta da tomografia de raios X.

Muito rapidamente, foram também observados os primeiros efeitos prejudiciais dos raios X sobre o corpo humano, em particular sobre a pele. De fato, já em março de 1896, aparece um artigo de um médico na Lancet, no qual relatava queimaduras provocadas pelos raios X. Naquela época, era bastante frequente e até mesmo rentável organizar demonstrações públicas de fluoroscopia X. Uma das pessoas mais ativas nesse setor foi Edison, que tinha desenvolvido ecrans fluorescentes e tubos X, e fazia demonstrações públicas. Um assistente seu, gravemente irradiado, morreu em 1904. Com certeza, por esse motivo, Edison depois abandonaria completamente esse campo.

O uso terapêutico dos raios X iniciou-se quase imediatamente, e já em 1896 foram relatadas algumas publicações sobre o assunto.

É interessante observar ainda que Röntgen continuou a trabalhar por um tempo relativamente curto com os raios X, e que, ao todo, publicou apenas cinco trabalhos sobre esse assunto. De fato, deixou de trabalhar com os raios X na segunda metade de 1897. Na sua última comunicação, afirma que os raios X não podem ser desviados, o que Arthur Compton, cerca de 25 anos depois, demonstrou não ser verdadeiro. Temos ainda a observar que ele era praticamente um pesquisador isolado,

não tendo jamais criado uma escola. Não poderia, por isso, competir por muito tempo com as mais capacitadas escolas de física europeias e americanas.

Em 1900, graças a uma solicitação do governo bávaro, Röntgen aceitou um pedido da Ludwig-Maximilian Universität de Munique, para transferir-se para lá, afim de dirigir o Instituto de Física. Nesse local, dedicou-se ao estudo de algumas propriedades dos cristais e sobre o efeito das radiações sobre eles, mas novas figuras estavam surgindo, que trouxeram novas revoluções para a física, a exemplo de Max Planck com os quanta, Albert Einstein com a teoria da relatividade, e ainda Sommerfeld, de Broglie, Schrödinger, Born e outros.

Röntgen mostrou notável previdência na Universidade de Munique. Empenhou-se em convencer Arnold Sommerfeld, "o pai da mecânica quântica", a ocupar a cátedra de física teórica, e, quando esse veio para Munique, deram-se razoavelmente bem. Alguns anos depois, dedicou-se a convencer Lorentz a transferir-se para a Universidade de Munique, tendo ido, com esse propósito, à Holanda, mas suas tentativas foram infrutíferas. Era razoavelmente nacionalista e esse traço do seu caráter emerge claramente durante a I Guerra Mundial, quando assinou, junto com muitos cientistas, um documento a favor do Exército, com o qual se justificava a invasão da Bélgica. Era também antissemita, e isso se comprova em uma carta escrita para Sommerfeld, no dia 12 de abril de 1912, na qual se refere à solicitação de um parecer, feita pelo próprio Sommerfeld, sobre a habilitação de Paul Ehrenfest. Assim escreve Röntgen:

> Posso dizer-lhe claramente aquilo que penso e que fiquei sabendo sobre ele. Suas características são típicas de um judeu: genialidade, excessos críticos e dialéticos. A pergunta que agora faço ao senhor é: acredita que, sob sua orientação e através de sua influência, Ehrenfest possa desenvolver-se como um indivíduo produtivo no ambiente físico? (SELINGER, 1995, p. 27).

Depois de uma longa doença, em 1919, morreu sua mulher, Bertha, e, em 1920, Röntgen deixou a direção do instituto.

Röntgen morreu em Munique, no dia 23 de fevereiro de 1923, em decorrência de um carcinoma intestinal. Suas cinzas foram colocadas no túmulo da família, em Giessen.

Referências

CROOKES, W. **Strahlende materie oder der vierte aggregatzustand**. Leipzig: [s.n.], 1882.

D'ALBE, E. E. F. **The life of Sir William Crookes**. London: T. Fisher Unwin, 1923.

DAM, H. J. W. The new marvel in photography. **McClure's Magazine**, [New York], v. 6, n. 5, p. 402-415, 1896.

ERNST, W. **Julius Plücker**: eine zusammenfassende darstellung seines debens und wirkens als mathematiker und physiker auf grund unveröffentlichter briefe und urkunden. Bonn: Scheur, 1933.

GOODSPEED, A. W. Experiments on the Roentgen x-rays. **Science**, Washington, v. 3, p. 236-237, 1896.

HIEBERT, E. N. Electric discharge in rarefied gases: the dominion of experiment: Faraday, Plücker, Hittorf. In: KOX, A. J.; SIEGEL, D. M. (Ed.). **No truth except in the details**: essays in honor of Martin J. Klein. Dordrecht: Kluwer, 1995. p. 95-134.

KOENIGSBERGER, L. **Hermann von Helmholtz**. Braunschweig: Vieweg, 1901.

LENARD, P. Über Kathodenstrahlen in Gasen von atmosphärischen Druck und im äussersten Vakuum. **Annalen der Physik und Chemie**, [Berlin], v. 287, n. 2, p. 225-267, 1894.

MILLIKAN, R. A. **The electron**. Chicago: The University of Chicago Press, 1963.

PERRIN, J. B. Rayons cathodiques et rayons X. **Annalen der Physik**, Leipzig, 1897.

RANGONI, R. Ma chi há scopeerto i raggi X. **Jornal Bologna della Scienza**, Bologna, 27 out. 2002.

RIGHI, A. **Le nuove vedute sull'intima struttura della materia**: discorso pronunciato in Parma… Bologna: Nicola Zanichelli, 1908

RÖNTGEN, W. C. Über eine neue Art von Strahlen (vorläufige Mitteilung). **Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Gesellschaft Würzburg**, Würzburg, p. 137-147, 1895.

RÖNTGEN, W. C. Versuche über die elektromagnetische wirkung der dielektrischen polarisation. **Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften Physikalisch-Mathematische Klasse**, Berlin, p. 198-202, 1885.

SELIGER, H. H. Wilhelm Conrad Röntgen and the glimmer of light. **Physics Today**, Melville, v. 48, v. 11, p. 25-31, 1995, 25-31.

SPIERS, F. W. A note on Röntgen's X-ray absorption measurements in 1895. **British Journal of Radiology**, London, v. 59, n. 707, p. 1109-1110, 1986.

STOJANOVIC, V.; JAKSIC, M. **H. L. von Helmholtz mentor of H. Hertz and W. Wien**. <www.phys.bg.ac.yu/bpu5/proceedings/Papers>. Acesso em: 2 fev. 2002.

STONEY, G. J. On the physical units of nature. **Phylosophical Magazine**, London, v. 11, p. 381, 1891.

THOMSON, J. J. Cathode Rays. **Phylosophical Magazine**, London, v. 44, p. 293, 1897.

Literatura recomendada

GLASSER, O. Glasser: **Wilhelm Conrad Röntgen und die Geschichte der Röntgenstrahlen**. Berlim: Springer Verlag, Berlim, 1931.[7] Reeditado posteriormente em 1959 e 1995.

PETERS, P. E. Peters: W. C. Röntgen: – an european scientist. **Physica Medica**, [Pisa], v. 11, p. 85,XI (1995) 85.

RÖNTGEN, W. C. Über eine neue Art von Strahlen (zweite Mitteilung). **Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Gesellschaft Würzburg**, Würzburg, p. 11-17, 1897.

RÖNTGEN, W. C. Weitere Beobachtungen über die Eigenschaften der X-Strahlen (dritte Mitteilung). **Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften Physikalisch-Mathematische Klasse**, Berlin, p. 392-406, 1897.

ROSENOW, U. F. Rosenow: Notes on the legacy of the Röntgen rays. **Medical. Physics**, Melville, v. 22, n. 11, p. 1855-1867, (1995).

[7] A mais completa biografia de Röntgen.

Capítulo 2

PHILIPP LENARD: UMA FIGURA SINGULAR DE CIENTISTA E DE NACIONAL-SOCIALISTA

Philipp Lenard não é conhecido fora do mundo da física e, provavelmente, nem o é entre os físicos e os cientistas em geral das últimas gerações. Todavia, Lenard deu uma contribuição fundamental à física nos primórdios do século 20, particularmente ao estudo dos raios catódicos, realizado entre 1888 e 1894, pelo qual foi agraciado, em 1905, com o Prêmio Nobel.

Não obstante os sucessos acumulados e a fama conquistada, Lenard entristeceu-se com a descoberta dos raios X por Röntgen e indispôs-se com Joseph John Thomson (o "descobridor" do elétron) sobre certas metodologias experimentais, atacou furiosamente Albert Einstein em razão de uma física que não conseguia mais entender, implicou com a "física judia", isto é, com os físicos da mecânica quântica, que, aliás, nem sempre eram judeus, e, enfim, aderiu ao Partido Nacional-Socialista de Hitler, obtendo honras, mas comprometendo definitivamente sua reputação de grande físico experimental, posição que havia conquistado na juventude.

Philipp Eduard Anton Lenard nasceu em 7 de junho de 1862, na cidade de Prozsony, depois chamada de Pressburg (pertencente ao Impé-

rio Austro-Húngaro) e atualmente Bratislava, na Eslováquia. A família Lenard era originária do Tirol, vizinho a Innsbruck. O pai, Philipp, era comerciante de vinhos, e a mãe chamava-se Antonie Baumann.

Desde muito cedo, revelou um grande talento para as ciências, em especial para a pesquisa experimental, primeiro para a química e depois para a física. No ginásio, conheceu um professor de física, Virgil Klatt, que compartilhava a sua paixão pela física experimental. Esse professor, que tinha estudado em Viena com Stefan, organizou, entre outras coisas, um notável laboratório de física (LENARD, 1986). O jovem Lenard ofereceu-se para ajudá-lo e poder, assim, entrar em contato com aparelhos que o fascinavam. Como ele mesmo conta (LENARD, 1986), em 1880, comprou, numa livraria, um livrinho escrito por William Crookes sobre a "matéria irradiante", que tratava de descargas elétricas nos gases[8]. O mesmo livrinho mexeu também com Klatt, que imediatamente solicitou um tubo de descarga em Viena.

Como era necessário um gerador de tensão para esse tubo, pôs-se a construir um transformador, adaptado a esse objetivo, enrolando as bobinas. Foram enroladas três: uma grande, uma média, cujo secundário, segundo Lenard, tinha 40 km de comprimento, e uma pequena. A média de Lenard, que sempre a levava consigo nas suas peregrinações, tendo servido a todos os experimentos fundamentais sobre raios catódicos no período de 1893 a 1898. Nessa mesma época, Lenard também aprendeu a construir e a usar bombas de vácuo e como soprar o vidro para os seus tubos.

Em 1881, estudou Ciências na Technische Hochschule (Instituto Técnico Superior, praticamente equivalente a cursos universitários de curta duração), em Budapeste e em Viena.

---

[8] Trata-se do pequeno volume *W. Crookes: Radiant Matter*, que foi recentemente reimpresso e colocado à venda pela Borderland Sciences – www.borderlands.com/catalog/fenergy.htm. Lenard leu esse livro na tradução alemã. O livro tem trechos com livre acesso em: <http://www.electrotherapymuseum.com/Library/SirWilliamCrookes/>

Em 1883, estudou física em Heidelberg, com Hermann Quincke e Robert Bunsen. Continuou seus estudos em Berlim e, em seguida, terminou-os em Heidelberg, com uma tese sobre as "oscilações das gotas de água que caem" (LENARD, 1887), que tinha começado em Berlim, por sugestão de Hermann von Helmholtz.

Em 1887, tornou-se assistente de Quincke, em Heidelberg. Ali, onde permanecerá até 1890, iniciou seu primeiro período de efetivo trabalho.

Quincke o sobrecarregou com tarefas didáticas, com as quais aprendia muito, mas, nas noites e nos domingos, Lenard dedicava-se à sua atividade preferida: a pesquisa experimental. Em especial, a construir e a aperfeiçoar bombas de vácuo, a estudar o comportamento dos filamentos de tungstênio em um campo magnético (LENARD, 1889) e os espectros de emissão de fósforos de terras raras irradiados com raios catódicos. Desde então, procurou trazer os raios catódicos para fora do tubo, tendo experimentado com uma "janela" de quartzo de 2,4 mm de espessura, mas não obteve sucesso. Trabalhou também com fenômenos de luminescência. Quincke sempre foi pródigo em lhe dar conselhos e sugestões, e Lenard lembrava-se desse primeiro período em Heidelberg com muito prazer (LENARD, 1986).

Depois de 3 anos, Heidelberg e a Alemanha começaram a ficar pequenas para Lenard, que, então, em 1890, decidiu passar 6 meses na Inglaterra, com seus amigos Catchpool e Howard, os quais, por sua vez, tinham estudado em Heidelberg com Quincke. Naquela época, estavam, o primeiro, em Sheffield, e o segundo, em Liverpool. Lenard passou também algum tempo em Londres, onde aprendeu muita coisa de eletrotécnica. No entanto, de uma forma geral, Lenard considerou frustrante sua estada na Inglaterra. Em seguida, conseguiu um cargo de assistente em Breslau, onde permaneceu por apenas 1 ano.

Em 1891, transferiu-se para Bonn, como assistente de Heinrich Hertz (1857–1894), que, conquanto fosse ainda muito jovem, já era um fa-

moso cientista e professor, e aluno de von Helmholtz. Lenard foi para Bonn cheio de expectativas, convencido de poder aprender muito com os conselhos e as ideias de um cientista cujos trabalhos ele conhecia bem e a quem venerava. Frustrou-se, porém, em seguida, quando se deu conta que Hertz praticamente não frequentava o instituto (a não ser nas atividades de laboratório do primeiro ano), sendo-lhe, pois, de pouca ajuda. Além disso, foi proibido de usar determinados aparelhos sem uma prévia autorização. Talvez por isso, Lenard tenha se dedicado a sua atividade preferida, a de construir aparelhos, especialmente eletroscópios e eletrômetros para medir a eletricidade associada a quedas d'água. Em Bonn, em 1892, obteve sua livre-docência, com uma tese que teve por título *Über die Elektrizität der Wasserfälle* (*Sobre a eletricidade de uma queda d'água*) (LENARD, 1892). Naqueles anos, estando também interessado nos fenômenos de fosforescência e de luminescência, conseguiu dar uma explicação microscópica à fosforescência. Além disso, depois de obter a livre-docência, voltou a trabalhar com grande alento com os raios catódicos, estudo ao qual dedicou os 6 anos seguintes. Nesse setor, deu uma contribuição fundamental (LENARD, 1894), que o levou, em 1905, a ganhar o Prêmio Nobel de Física.

Lenard dedicou-se, de modo especial, a medir a velocidade dos raios catódicos e a um problema que tinha começado a explorar em Heidelberg, isto é, o de transportar os raios catódicos para fora dos tubos de Crookes. Anteriormente, o próprio Hertz tinha demonstrado que os raios catódicos atravessavam finas folhas de ouro, prata e alumínio colocadas dentro de um tubo catódico (HERTZ, 1892), e Lenard lembra-se de uma vez em que Hertz lhe mostrou, experimentalmente, como isso ocorria. Essa foi, aliás, a única vez em que Hertz lhe mostrou o que estava fazendo. Assim, Lenard ficou motivado a retomar a experiência em Heidelberg, ou seja, a de transportar os raios catódicos para fora. E Hertz, em julho de 1892, o estimulou a medir a absorção dos raios catódicos por folhas metálicas. Lenard abandonou, então, o estudo das medidas de velocidade, trocando-o pelo do transporte dos raios catódicos.

Durante a viagem de verão que sempre fazia a sua casa natal, parou em Nuremberg, onde havia um florescente artesanato de ouro, para encomendar finas folhas de alumínio. No retorno das férias, começou a usar esses finos discos de alumínio, primeiro com velhos tubos, e depois com outros tubos soprados para essa finalidade, nos quais a folha de alumínio era colocada sobre um anel de platina na saída dos raios catódicos, tendo sido feito um furo no vidro do tubo. Como material fosforescente para revelar os raios catódicos usou, na maior parte das vezes, pentacerilparaetilcetona. Desta vez, as tentativas foram bem-sucedidas e Lenard conseguiu transportar os raios catódicos através dessas finas janelas de alumínio, depois chamadas de "janelas de Lenard", suficientemente espessas para conservar o vácuo no tubo, mas suficientemente finas para permitir a passagem dos raios catódicos (LENARD, 1894).

A famosa "janela de Lenard" permitiu-lhe estudar detalhadamente os raios catódicos do lado de fora de um tubo de vácuo. Mediu, por exemplo, a absorção de diferentes materiais, tendo compreendido que isso dependia da massa: mesma absorção para massa igual. Hertz, ao tomar conhecimento dos resultados, ficou admirado e o aconselhou a enviar rapidamente uma comunicação a Helmholtz, para a Academia de Ciências de Berlim. Pediu-lhe, porém, para ler a comunicação antes de ela ser enviada. Lenard assim se referiu na sua autobiografia (LENARD, 1986, p. 142):

> [...] no dia 3 de janeiro de 1893, a comunicação estava pronta, mas, quando cheguei à casa de Hertz, foi-me comunicado que ele tinha ordenado que não queria ser perturbado, a não ser por motivos urgentes. Uma vez que julguei que não o fosse, renunciei às suas sugestões, que tanto haviam me agradado.

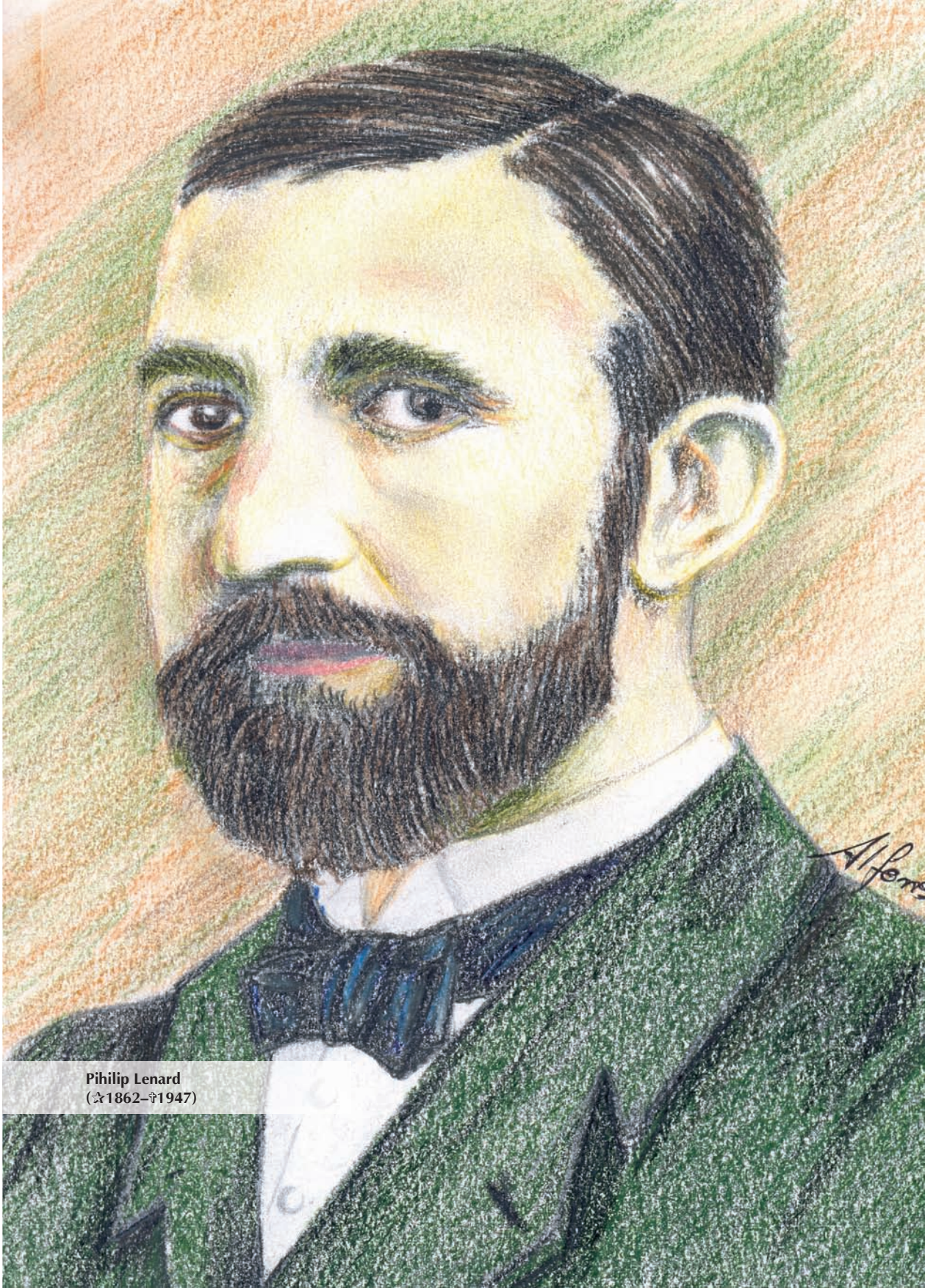
As medidas dos raios catódicos ocuparam-no intensamente por todo o verão de 1893, não obstante tivesse que colaborar com Hertz na redação de um livro sobre mecânica, ao qual Hertz dava prioridade. Assim mesmo, encomendou, de uma firma especializada em soprar vidros, a Müller-Unkel, de Braunschweig, tubos de descarga adaptados para a janelinha de alumínio.

O novo tubo, que lhe chegou no fim de outubro de 1893, foi utilizado imediatamente. Ele funcionava muito bem quando era submetido ao vácuo certo, e trabalhava também a tensões razoavelmente altas. Infelizmente, mantinha o vácuo apenas por um tempo relativamente curto e, além do mais, as impurezas que se formavam no catodo não podiam ser eliminadas sem abrir o tubo. Por esse motivo, Lenard devolveu o tubo à firma de Braunschweig.

Entrementes, solicitou, então, a Hertz autorização para comprar outro tubo, que se prestasse a acelerar suas medidas. Mas esse o advertiu, de uma forma ríspida: "Sim, mas só se não custar caro". A contragosto, Lenard teve que admitir que o tubo custava caro, e a conversa encerrou por aí. Lenard chegou a atribuir esse comportamento de Hertz a alguma indisposição física (com efeito, ele morreu poucos meses depois), mas também sabia que ele era avarento (era a sua parte judia prevalecendo, sustentava Lenard). Além do mais, Hertz não gostava de ser perturbado. Concluiu, então, que, por muito tempo, ficaria sem o segundo tubo e também sem o primeiro.

Lenard percebia, amargamente, que aquele era um momento decisivo para a história da física: "aquele tipo de tubo, que abriu para Röntgen a estrada da descoberta dos raios X, a mim foi negado" (LENARD, 1986). Embora Lenard tivesse sua parcela de razão, ele dramatizava a situação. Na verdade, nunca ficou provado que Röntgen tenha utilizado exatamente o tubo de Lenard para a sua descoberta, e não havia nenhuma certeza de que Lenard teria necessariamente descoberto os raios X, se forem considerados os múltiplos aspectos casuais que favoreceram Röntgen na descoberta, aspectos que, talvez, não se repetissem para Lenard (SELINGER, 1995).

Seus estudos sobre os raios catódicos foram repentinamente interrompidos com a morte prematura de Hertz, no dia 1º. de janeiro de 1894. Por esse motivo, teve que dedicar-se à direção do Instituto de Física de Bonn e à redação dos volumes que continham os últimos estudos de Hertz.



Pihilip Lenard
(☆1862–✝1947)

No mesmo ano, isto é, em 1894, por ironia da sorte, Röntgen lhe escreveu comunicando que tinha encomendado um tubo de Lenard à empresa Müller-Unkel, e aproveitou para pedir que ele, Lenard, lhe fornecesse as finas folhas de alumínio que usava na saída do feixe dos raios catódicos. Lenard lhe respondeu dando-lhe conselhos e sugestões, e fornecendo-lhe alguns exemplares de janelas.

Em outubro de 1894, foi convidado a assumir o cargo de professor extraordinário em Breslau, onde já havia estado como assistente, e de onde não guardava boas lembranças. De fato, essa sede não dispunha de equipamentos para que pudesse dar continuidade a suas pesquisas com os tubos de vácuo. Assim, permaneceu ali só por um ano. Em outubro de 1895, aceitou o convite para voltar a trabalhar em Aachen, na Technische Hochschule, em um grau inferior àquele que ocupava em Breslau. Aí se dedicou por alguns meses às radiações mais penetrantes que, algumas vezes, surgiam durante as descargas, mas sem sucesso.

No início de 1896, seu "chefe", o professor Wüllner, mostrou-lhe um trabalho enviado por Röntgen, no qual ele relata haver descoberto os raios X, tendo já publicado a primeira comunicação a respeito (RÖNTGEN, 1898).

Lenard ficou amargurado com a leitura desse trabalho, e com razão: primeiro, porque compreendeu que ele próprio estivera muito perto de fazer aquela descoberta, mas não o fizera; e segundo, porque ele havia ajudado Röntgen, fornecendo-lhe as janelas de alumínio e dando-lhe vários conselhos sobre como utilizar os tubos. Além disso (ele confessou), sentia-se desprezado pelo fato de Röntgen não lhe ter mandado uma cópia de seu trabalho (na realidade, Röntgen a enviou com alguns dias de atraso); ademais, desagradou-lhe profundamente o fato de Röntgen ter falado genericamente do uso de vários tubos – de Crookes, de von Hittorf, de Lenard –, sem citar, explícita e particularmente, o seu (tubo de Lenard), que, segundo ele, fora o utilizado por Röntgen quando

descobrira os raios X (isso não ficou comprovado, desconhecendo-se, porém, os motivos que levaram Röntgen a manter esse mistério).

Lenard acreditava piamente, e sempre o afirmou, ter sido ele, de certo modo, a descobrir os raios X, e que Röntgen teria sido, simplesmente, a "parteira" do evento. A sensação (ainda que errônea) de ter sido lesado amargurou o resto de sua vida, a tal ponto que jamais usou, nos seus trabalhos, o termo "Röntgenstrahlen", como faziam todos os físicos de língua alemã. No seu lugar, usava o termo "Hochfrequenzstrahlen" (radiações de alta frequência)[9].

Ficou, de qualquer forma, surpreso com a leitura do artigo, e também frustrado de não ter sido ele a ver os tais raios. Profundamente desolado, preparou-se para algumas verificações experimentais. Pegou, em seguida, os tubos de Crookes e as chapas de platinocianeto de bário como reveladoras (como foi feito por Röntgen), mas nada viu[10]. Então, pegou o seu tubo, que lhe tinha sido restituído pela empresa Müller-Unkel, e que até então não havia mais usado, e viu, finalmente, um efeito notável. Isso o levou a concluir que Röntgen usara aquele tipo de tubo para a descoberta dos raios X, mas que não quisera declará-lo explicitamente. Verdadeira ou falsa, essa convicção aumentou nele a certeza de ter sido, no mínimo, coautor da descoberta dos raios X. Conforme ele mesmo disse

> [...] era a primeira vez que alguém chegava antes de mim [...]
>
> [...] Lembro-me de ter acordado uma manhã com uma sensação semelhante àquela que deve ter uma mãe quando lhe é tirado um filho antes mesmo que ela possa vê-lo, filho que agora anda pelo mundo com um outro nome" (LENARD, 1986).

---

[9] Frequentemente, Lenard exprimia seu ressentimento em relação a Röntgen referindo-se a ele pelas letras iniciais do seu nome, WC (que tanto significam Wilhelm Conrad quanto banheiro).

[10] Tempos depois, em Heidelberg, repetiu o experimento e encontrou algum efeito, embora pequeno (LENARD, 1986).

Lenard, que devia ser um pouco paranoico, se pôs a investigar Röntgen e as características da sua descoberta, à procura de pontos fracos. O primeiro que apontou foi a reserva de Röntgen (efetivamente excessiva), que jamais quis dar detalhes da sua descoberta, principalmente do tubo que usou (e que Lenard estava convencido de que era o seu!). Ele só não entendia por que Röntgen continuava a encomendar tubos de Hittorf, os quais, segundo ele, não lhe serviam para nada, a não ser para continuar a esconder o uso que fazia do tubo de Lenard (1986).

Todas essas desilusões foram, pelo menos em parte, compensadas em 1896, por belas notícias: a mais importante, em junho de 1896, era a de que lhe fora conferido, junto com Röntgen, o prestigioso Prêmio Baumgartner, da Academia Vienense. Além do mais, recebeu outros prêmios e medalhas da Royal Society de Londres, do Institut de France de Paris e da Accademia delle Scienze Italiana. Todos esses reconhecimentos, recorda-se Lenard, impressionaram muito o professor Wüllner, que tratou de ajudá-lo de todos os modos nas suas pesquisas. A seguir, o professor o indicou como o melhor diretor de instituto que conhecera. Em setembro de 1896, foi convidado por Lord Kelvin a ir a Liverpool para participar da reunião da British Association for the Advancement of Science, da qual se tornara um entusiasta, em particular pelo tratamento que lhe era dado.

Pouco depois, em setembro de 1896, foi convidado a assumir, como professor extraordinário de física teórica (ninguém sabe por que física teórica, uma vez que Lenard era físico experimental!), na cidade de Heidelberg, e, assim, continuava a peregrinação (como já observado, fato muito comum no mundo acadêmico de então) de Lenard pela Alemanha. Assim, retornou àquela cidade com a idade de 34 anos, em um ambiente que conhecia bem, e ali preparou-se, também, para encontrar uma esposa, como ele mesmo afirmou, fora do ambiente acadêmico.

Reconhecendo, então, que os ambientes que frequentava estavam, geralmente, repletos de moças, aproximou-se de uma delas, Katharina

Schlehner, de quem ficou noivo na Páscoa de 1897. Casaram-se no outono do mesmo ano. No fim desse ano, publicou um importante trabalho: *Sobre as propriedades eletrostáticas dos raios catódicos* (LENARD, 1898).

Em 1898, Lenard entrou em colisão com Joseph John Thomson, físico inglês e Prêmio Nobel, por conta do emprego de métodos de pesquisa que Lenard julgava não confiáveis. Esse episódio o levou a desenvolver um grande ódio pelos ingleses, que aumentou com o passar dos anos, em especial durante a I Guerra Mundial.

Sua estada em Heidelberg como professor extraordinário não durou muito, porque, no fim de 1898, recebeu um convite para transferir-se para Kiel, como professor ordinário e como diretor do Instituto de Física. Ele aceitou, mesmo tendo recebido, concomitantemente, um convite para permanecer em Heidelberg como professor ordinário (mas seu mestre, Quincke, disse-lhe claramente que sua presença não era desejada no restrito Conselho de Faculdade, constituído apenas por professores ordinários). Ele achou o Instituto de Física de Kiel pouco convidativo; entrementes, estava começando a construção de um novo instituto. Em Kiel, Lenard ficou por 9 anos, período que avaliaria como muito produtivo.

Retomou, então, os estudos iniciados por Hertz (1887) (que os retomaria em 1889), não tendo, porém, chegado a resultados conclusivos do fenômeno que atualmente é conhecido como efeito fotoelétrico, isto é, a extração de raios semelhantes aos raios catódicos de metais sob luz ou radiação UV. Na mesma época, tendo J. J. Thomson descoberto que os raios catódicos eram elétrons, Lenard concluiu que os elétrons extraídos tinham velocidade bastante inferior àquela dos elétrons dos raios catódicos. Esses resultados foram apresentados no recinto da entrega do Prêmio Baumgartner, em outubro de 1899 (LENARD, 1900).

A teoria do efeito fotoelétrico foi depois enunciada por Einstein em 1905, com base na teoria quântica de Planck. Aliás, Lenard jamais perdoaria

Einstein pela forma como explicou (embora de maneira involuntária) o efeito elétrico, que fazia crer que a descoberta estava associada exclusivamente ao nome de Einstein, e não ao seu.

Em seguida, no fim do ano de 1900, ele conseguiu concentrar esses elétrons por meio de um campo magnético e medir sua presença por meio dos usuais ecrans fosforescentes, o que simplificava muito as coisas, permitindo-lhe continuar seus estudos, em especial com os gases. Além disso, em 1903 e 1904, estudou com minúcia as propriedades fosforescentes de algumas substâncias (em especial oito metais de Ca, Sr e BaS, com diversas concentrações).

No período em que viveu em Kiel, nasceram seus dois filhos: Ruth, em 1898, e Werner, em 1900.

Enquanto isso, em 1901, aconteceu um episódio infeliz para Lenard. Por ocasião da primeira entrega do Prêmio Nobel, em 1901, o Comitê da Física sugeriu que o prêmio fosse dado *ex equo* a Röntgen e a Lenard, mas a Academia Real de Estocolmo decidiu dá-lo somente a Röntgen. Provavelmente, isso não foi um erro, pois a descoberta dos raios X era de tal importância para toda a ciência que, sem dúvida, seu descobridor mereceria um prêmio.

Em 1903, Lenard enunciou o assim chamado "Dynamidenmodell" do átomo, com base no qual concluiu que o átomo é vazio em sua maior parte.

Em 1905, obteve, finalmente, e por merecimento, o Prêmio Nobel de Física, "pelas suas descobertas sobre os raios catódicos". No dia 28 de maio de 1906, Lenard faz, em Estocolmo, uma Conferência-Nobel sobre os raios catódicos (Über Kathodenstrahlen). Nessa conferência, descreveu a evolução dos seus estudos (mas não só isso) sobre os raios catódicos, inclusive a descoberta do elétron e a dos raios X.

Um pouco antes, tinha ficado gravemente doente, com uma inflamação das glândulas linfáticas do pescoço. O cirurgião que consultou em Kiel

optou por uma cirurgia imediata, que o deixou com os músculos do pescoço completamente rígidos, pelos meses seguintes, limitando muito os movimentos do pescoço. Além disso, o pescoço doía muito e Lenard frequentemente era sujeito a indisposições e desmaios. Procurou, então, um renomado cirurgião de Heidelberg, V. Czerny, que decidiu reoperá-lo no dia 6 de junho de 1905. Desta vez, a cirurgia foi exitosa, ainda que a incisão, que ia da orelha ao peito, demorasse muito tempo para cicatrizar. Entre temporadas na montanha e na praia, a recaída da doença e os repousos obrigatórios, passaram-se cerca de 2 anos para que Lenard finalmente se recuperasse completamente (LENARD, 1986).

Em 1907, foi novamente convidado a trabalhar em Heidelberg, como professor ordinário e diretor do Instituto de Física, substituindo Quincke, que tinha se aposentado.

Em setembro de 1907, transferiu-se para Heidelberg, onde o casal alugou um apartamento, na prestigiosa zona do castelo. A família permaneceria em Heidelberg até a aposentadoria de Lenard.

A partir de 1910, dedicou-se à construção do novo Instituto de Física e Radiologia (atendendo os desejos de um grande financiador), que surgiu ao longo do famoso Philosophenweg, então, na periferia de Heidelberg. O edifício, construído segundo os critérios mais modernos, e equipado com os mais refinados aparelhos, terminou em março de 1913, e foi inaugurado em 24 de maio do mesmo ano. O custo total do edifício foi de 684.000 marcos, somados a aproximadamente 100.000 marcos, para a aquisição dos equipamentos. Em setembro de 1912, os Lenard transferiram-se para a vizinhança do novo instituto e alugaram um apartamento na Neuenheimer Landstrasse.

Vale a pena lembrar que uma boa parte da atividade da física desenvolve-se até hoje nesse edifício.

Lenard só sairia de Heidelberg em data próxima a sua morte, indo morar em Messelhausen, cerca de 50 km ao sul de Würzburg, em 1947.

Para ali tinha sido transferido, em parte, nos últimos anos da guerra, o "seu" Instituto de Física.

O ano de 1914 assinala uma reviravolta para o ultranacionalista Lenard, que até então havia se dedicado preponderantemente à pesquisa, colaborando proficuamente e sem problemas com pesquisadores judeus. Naquele ano, no qual se inicia a Grande Guerra, Lenard começou uma guerra pessoal contra os ingleses, começando por devolver todas as honrarias britânicas que recebera. Publicou um libelo com o título: *England und Deutschland zur Zeit des grossen Krieges*[11] (LENARD, 1914), no qual mesclou críticas ao físico inglês Thomson, com afirmações genéricas anti-inglesas, do tipo: "não é novidade que a Inglaterra tenha sido quase sempre um monstro político".

Em 4 de outubro subscreveu um documento – *Aufruf an die Kulturwelt* (*Apelo ao mundo da cultura*) –, que foi assinado por 90 cientista alemães, no qual era justificada a invasão da Bélgica e se negava a culpa da Alemanha pelo início da guerra. Assinaram-no os maiores cientistas alemães, mas alguns, como Plank, a seguir, se arrependeriam.

Einstein não assinou o documento, estando, aliás, descomprometido com essa obrigação por ter cidadania suíça. Ao contrário, procurou propor, embora sem sucesso, um contradocumento. Por sua vez, Lenard passou a envolver-se cada vez mais com a política, assumindo posições decididamente reacionárias e descuidando da pesquisa.

Carl Ramsauer, seu fiel colaborador desde o tempo de Kiel, assim explicou a "metamorfose" de Lenard:

> [...] no começo, Lenard não se preocupava absolutamente com política, tanto que eu o considerava o homem mais apolítico entre os que eu conhecia. Isso se explicava, em parte, por causa de sua total dedicação à ciência e, em parte, por causa da sua origem húngara [...] Em relação aos assuntos militares, incluindo o serviço militar obrigatório, tinha a mais profunda rejeição. (RAMSAUER, 1949, p. 31).

---

[11] *A Inglaterra e a Alemanha na Grande Guerra.*

Isso até à I Guerra Mundial, depois – continua Ramsauer,

> [...] Lenard, de repente, mudou completamente. Posso, inclusive, estabelecer exatamente a noite em que isso aconteceu. No dia seguinte à declaração de guerra da Inglaterra à Alemanha, encontrei-o no instituto em um estado de grande excitação patriótica, quase como se alguma coisa dentro dele tivesse se soltado em razão daquela declaração de guerra. Esse seu estado manteve-se inalterado durante toda a guerra. (RAMSAUER, 1949, p. 32).

Na derrota da Alemanha, em 1918, o "governo soviético" de Munique e a República de Weimar endureceram as suas posições nacionalistas e antissemitas, levando-o a extremas posições nacional-populares.

Outro momento crucial na vida científica (e não só nela) de Lenard foi aquele relativo ao litígio com Einstein na década de 1920 (HERMANN, 1977). Até então, suas relações com Einstein eram ótimas, conforme mostram os seguintes fatos. Em 1905, Einstein publicou seu famoso trabalho sobre a interpretação teórica do efeito fotoelétrico. Nesse trabalho, faz referência às medidas anteriores de Lenard. Pouco depois, Lenard enviou-lhe cópia de uma sua publicação recente e Einstein respondeu, agradecendo sua atenção. Em seguida, Einstein disse a um aluno, que estava prestes a trabalhar com Lenard: "[...] é um grande mestre e uma grande mente! É verdadeiramente um gênio" (HERMANN, 1977, p. 37). Enquanto, em uma carta de 1909, Lenard retribuiu o elogio, definindo-o como "um profundo pensador".

As coisas começam a mudar quando Lenard começou sua pesquisa com éter e gravitação. De fato, no dia 4 de junho de 1910, fez uma conferência sobre éter e matéria na Academia de Ciências de Heidelberg, cujo texto seria publicado com algumas complementações em 1911. Tendo tomado conhecimento da conferência e, provavelmente, depois de ter lido seu conteúdo, Einstein assim se exprimiu, em comentário feito a um aluno: "[...] a sua recente conferência sobre o confuso éter parece-me quase infantil" (HERMANN, 1977, p. 59). Por seu turno, em carta endereçada a Sommerfeld, ainda em 1913, Lenard afirmava que gostaria de solicitar uma cátedra de física teórica, e que estava pensando

em indicar Einstein para ocupá-la. Em 1918, Lenard entrou de cabeça no debate sobre a teoria da relatividade, publicando um artigo sobre os *Princípios da relatividade, éter, gravitação,* que não era polêmico, mas no qual rejeitava completamente a teoria da relatividade. Einstein respondeu com um "diálogo galileano", no qual um crítico e um relativista discutem os respectivos pontos de vista. Lenard tomou posição contra os argumentos de Einstein.

As coisas precipitaram-se em 1920. Em agosto desse ano, Lenard foi convidado, por um certo Paul Weyland, a participar de um congresso antirrelatividade, em Berlim, organizado por uma suposta Sociedade Alemã para a Conservação de uma Ciência Limpa, fundada por Weyland. Nesse congresso, do qual Lenard não participou, as teorias de Einstein e sua própria figura foram atacadas de todos os modos. Em resposta às acusações, Einstein publicou, no diário berlinense *Berliner Tageblatt*, um duríssimo artigo com o título *A minha resposta sobre o Congresso Antirrelatividade.* Entre outras coisas, assim se referiu a Lenard:

> [...] admiro Lenard como mestre da física experimental; mas, no que se refere à Física teórica, ele, até o momento, não deu nenhuma contribuição e suas manifestações relativas à teoria da relatividade são de tal superficialidade que nem ao menos considero oportuno responder-lhe. (HERMANN, 1977, p. 57).

As palavras de Einstein feriram Lenard profundamente, o qual, conquanto não tivesse participado da conferência, tinha se solidarizado com a iniciativa de Weyland. Arnold Sommerfeld, então presidente da Sociedade Alemã de Física, procurou de todas as formas fazer as pazes entre eles, escrevendo tanto para Lenard como para Einstein. O primeiro respondeu-lhe que Einstein só poderia pôr fim ao litígio se fizesse uma retratação formal na imprensa. Não é conhecida a resposta de Einstein, mas, certamente, ele não deve ter se retratado. No entanto, parece certo que ele se arrependeu de ter escrito aquele artigo e, provavelmente, também daquela frase excessivamente dura. Tanto é verdade que assim se expressou a Max Born: "De quando em quando, cada um de nós deve dar a sua contribuição para o altar da estupidez [...] E eu fui ao

extremo com o meu artigo". E a Sommerfeld: "[...] teria sido melhor não ter escrito aquele artigo". (HERMANN, 1977, p. 57).

Em 23 de setembro de 1920, em um Congresso de Cientistas Alemães[12], em Bad Nauheim, Lenard e Einstein encontraram-se pela primeira e última vez e discutiram, aparentemente de forma pacífica, sobre éter e teoria da relatividade em geral. As respostas de Einstein sobre alguns importantes quesitos sobre a relatividade não satisfizeram Lenard. Cumpre lembrar que as hipóteses de Lenard sobre um éter, uréter, etc., estavam erradas e foram completamente esquecidas.

Em seguida, Lenard colocou-se novamente contra Einstein e sua teoria da relatividade, justificando sua oposição com motivações de física teórica associadas a raciocínios antissemitas. Nos anos que se seguiram, a hostilidade de Lenard concentrou-se na origem judia de Einstein, tendo chegado ao ápice em uma segunda conferência, em Leipzig, no verão de 1922, quando alguns alunos de Lenard distribuíram um folheto vermelho, que atacava o trabalho de Einstein, definido como "física judaica". Werner Heisenberg (1984), àquela época com 22 anos, que estudava em Munique, como aluno de Sommerfeld, estava lá e tinha esperanças de ser apresentado a Einstein. Ele assim descreveu o episódio:

> [...] ao entrar na sala da Conferência, um jovem enfiou na minha mão um folheto vermelho que, mais ou menos, dizia que a teoria da relatividade era uma especulação judaica ainda a ser demonstrada, imerecidamente propagada pelos jornais judeus a favor de Einstein. A princípio, pensei que fosse obra de um daqueles desequilibrados que, de tempos em tempos, frequentam tais reuniões. Mas, quando soube que aquele pequeno panfleto vermelho estava sendo distribuído por um dos mais respeitados físicos experimentais alemães (refere-se a Lenard), obviamente com a sua aprovação, esvaiu-se uma das minhas maiores esperanças. Também a ciência podia ser envenenada pela paixão política. (HEISENBERG, 1984, p. 87).

---

[12] Em Bad Nauheim, Lenard apresentou os últimos resultados sobre a queda de gotas de água (LENARD, 1921). Pode-se perceber que os temas de pesquisa de Lenard eram, naquela época, completamente distantes dos temas "mais modernos" da física (p. ex., relatividade e física atômica).

Lenard levou avante seu plano "ariano" e, em 1922, escreveu, referindo-se certamente a Einstein, aliás, jamais designado pelo nome:

> Eu amo a clareza em todos os sentidos e não aceito a atitude de certos matemáticos que em todas as ocasiões fazem referência a sua raça; é uma característica típica dos judeus levarem para um plano pessoal e ao nível de litígio cada questão específica que venha a ser colocada para eles. (HEISENBERG, 1984, p. 89).

A seguir, sustentou abertamente a hipótese de que Einstein teria copiado uma parte da sua teoria: aquela relativa à deflexão da luz quando passa próximo a um corpo massivo, conforme conceituada pelo astrônomo "ariano" Johann Soldner, que viveu durante o século 19; e a relativa à equivalência massa-energia, conceituada por um físico austríaco que também era ariano – Friedrich Hasenöhrl. Retomaremos esse assunto no capítulo 9, dedicado à física durante o nazifascismo.

Entrementes, uma tragédia abateu-se sobre a família Lenard. O filho, Werner, morreu com apenas 22 anos, em fevereiro de 1922, em consequência de uma infecção renal que, provavelmente, se arrastava por anos, de forma latente. Philipp Lenard atribuiu a morte também à desnutrição sofrida pelo filho durante a guerra e ao fato de não ter recebido um tratamento médico adequado.

Em 27 de junho de 1922, o assumido antissemitismo de Lenard levou o político social-democrata Carlo Mierendorff, apoiado por estudantes e trabalhadores, a ocupar o Instituto de Lenard. É que Lenard havia se recusado a hastear a bandeira a meio mastro em respeito à morte de Walther Rathenau, ministro do Exterior da República de Weimar. Com esse gesto, Lenard confessava sua aversão à República de Weimar e a Rathenau, que era judeu. O Senado da Universidade de Heidelberg considerou muito grave tanto a atitude de Lenard quanto a de Mierendorff. Por isso, o ministro da Cultura de Baden propôs, como penalidade, a suspensão de Lenard. Porém, como a Sociedade de Física, além de

físicos e estudantes, se colocassem a favor de Lenard, a suspensão acabou sendo revogada.

Em 1924, Lenard e o Prêmio Nobel Johannes Stark (1874-1957) fizeram um apelo intitulado *Hitlergeist und Wissenschaft*[13] (LENARD; STARK, 1924), com o qual se colocavam, clara e decididamente, a favor de Adolf Hitler.

Em 6 de março de 1928, Lenard encontrou-se com Hitler em Heidelberg. Lenard assim recordou esse encontro:

> [...] quando o Führer veio pela primeira vez fazer um discurso em Heidelberg, em 8 de agosto de 1927, eu estava em férias. Mas, quando ele veio pela segunda vez, em 5 de março de 1928, para falar para um público selecionado, eu estava presente. No dia seguinte, recebi uma visita dele, completamente inesperada. À noite, estava indo para casa, caminhando pela Neuheimer Landstrasse, quando fui parado por uma pessoa que me disse "Hitler quer vê-lo". Tratava-se de Rudolf Hess, então secretário de Hitler, que o precedia. Imediatamente me precipitei em sua direção, para abraçá-lo e para convidá-lo a vir à minha casa. Ali conversamos longamente, em especial a respeito dos novos movimentos religiosos, sobre os quais Hitler expressou vontade de manter-se a distância. Os tempos e o homem certo ainda não haviam chegado, mas penso que Hitler estava preparando bem o povo alemão[14]. (LENARD, 1986, p. 88).

Em 1929, publicou *Grosse Naturforscher* (*Grandes cientistas*). Esses grandes cientistas são todos físicos experimentais de origem ariano-alemã (LENARD, 1929).

Ainda que severo, ele era muito popular entre os estudantes por suas belas e apaixonadas aulas. A esse respeito, seu aluno Carl Ramsauer assim escreveu sobre a capacidade didática e pedagógica de Lenard:

> Lenard concebia a parte experimental das aulas de física e o laboratório de experiências físicas como uma grande obrigação moral, tanto que fazia pessoalmente os experimentos na classe, sempre com êxito positivo e, algumas vezes, com um

---

[13] *O espírito de Hitler e a ciência*.

[14] Tenha-se presente que as memórias de Philipp Lenard foram escritas, em grande parte, entre setembro de 1930 e março de 1931, enquanto Hitler assumiu o poder em 1933.

> pouco de teatralidade, comportando-se como se ele mesmo estivesse surpreso com os resultados de suas experiências. Suas demonstrações eram intrinsecamente claras, tanto que cada ouvinte tinha a impressão de ter compreendido tudo. Por esse motivo, as suas aulas eram também muito concorridas e, frequentemente, delas participavam pessoas fora da área da física. (RAMSAUER, 1949, p. 63).

Em relação às apostilas dos cursos de física, de cuja redação, entre outras, coisas Ramsauer participou, assim ele observou:

> Quando se tornou professor ordinário em Danzig, começou usando as apostilas que tínhamos organizado juntos. Contudo, ficou um pouco desiludido porque achou a subdivisão do material não muito feliz, o conjunto todo um pouco modesto, as explicações geralmente no limite da superficialidade. Chegou, portanto, à conclusão de que a grande impressão que causavam as suas aulas não dependia, definitivamente, do material que apresentava, mas da sua personalidade. Durante as aulas, Lenard parecia em estado de grande inspiração, como um sacerdote da física. A mesma coisa acontecia nos laboratórios de física para principiantes. Ele nunca deixou de aparecer nas bancadas do laboratório, mais ou menos às 4 horas da tarde, e ali ficava até o fim dos exercícios, passando de bancada em bancada. Mas atingia o ponto mais alto de sua capacidade pedagógica durante o Kolloquium semanal[15]. Nele, um estudante de Física dos primeiros anos fazia um relato sobre algum experimento recente ou sobre um episódio da história da física ou qualquer outro. Geralmente, os relatos eram bem aborrecidos, mas Lenard era capaz de, a cada vez, tomar as rédeas da situação, extraindo as informações mais relevantes. Porém, como relator de teses e como pai espiritual dos formandos, Lenard não era muito feliz. Seu erro fundamental era o de não procurar desenvolver a capacidade do formando, dando-lhe liberdade de ação, mas de mandá-lo fazer detalhadamente tudo aquilo que ele lhe dizia para fazer. Definitivamente, havia no instituto uma atmosfera de constrangimento ao invés de liberdade na pesquisa. Isso explica por que ele não produziu uma escola válida, não obstante sua grande atividade, seus muitos colaboradores e as dezenas de anos que passou em Heidelberg. (RAMSAUER, 1949, p. 64).

A visão que Lenard tinha das ciências experimentais e da física em particular e das suas correlações com a matemática pode ser percebida por toda a sua longa vida de experimental solitário. Essa visão está bem

---

[15] O Kolloquium é uma grande tradição no sistema universitário alemão. Em uma determinada tarde, uma vez por semana, os docentes, os pesquisadores e os estudantes dos últimos anos reúnem-se ao redor de uma grande mesa e bebem café ou chá. Cada um fala sobre um tema de pesquisa da atualidade, geralmente escolhido pelo diretor.

condensada em um artigo de 1943, cujo título é *Aos jovens estudantes das ciências, que as encaram de modo sério*. Vejamos alguns trechos importantes:

> [...] o pesquisador e o técnico de sucesso devem usar a matemática apenas de modo inteligente e limitado. Mesmo os cálculos que Kepler e Newton fizeram na época deles referem-se a uma matemática muito modesta que, no caso de Newton, foi inventada por ele mesmo. Faraday progrediu nos seus estudos totalmente sem a matemática [...] Ao contrário, pode-se observar um afluxo crescente da matemática sobre a física nas últimas décadas. Chega-se ao uso de fórmulas sem qualquer relação com a natureza, mas com a falsa pretensão de que essas fórmulas sejam a natureza. Teorias superestimadas freiam a pesquisa uma vez que escondem o desconhecido que creem poder dominar. O mau uso atual da matemática é hoje obrigatório; inúmeros livros são dedicados a ela. Desse modo, são obtidas uma infinidade de "teorias" que não têm qualquer ligação com o estudo da natureza [...] A excessiva importância que se dá às teorias e o costume de pensar somente por meio de fórmulas matemáticas constituem uma espécie de jogo com a natureza, e é esse o modo de se fazer física nas últimas décadas, digamos a partir de 1900. (LENARD, 1986, p. 52).

Em 1º de abril de 1931, Lenard aposentou-se como professor emérito, depois de 24 anos na direção do Instituto de Física de Heidelberg. Procurou também influenciar a faculdade na escolha do seu sucessor, indicando Johannes Stark, enquanto a faculdade se inclinava por James Franck, e depois por Hans Geiger. Lenard, porém, se opôs à indicação de ambos, e colocou-se a favor de Walter Bothe, que, efetivamente, foi o escolhido. Mas Bothe mostrou-se um crítico em relação ao nazismo, enquanto aceitava as novas teorias da física, consideradas como judaicas. Por isso, em 1934, foi obrigado a deixar a direção do instituto, e assumido a direção da Seção de Física do Kaiser Wilhelm Institut für Medizinische Forschung, de Heidelberg, que tinha uma estrutura muito menos sujeita a influências políticas. Bothe projetou esse instituto em um alto nível.

Otto Haxel, que depois, em 1950, seria o diretor do Instituto de Física de Heidelberg, contou assim uma parte desse episódio:

> Foi oferecida a Geiger a cátedra de física da Universidade de Heidelberg, como sucessor de Lenard, mas o próprio Lenard encontrou várias razões para rejei-

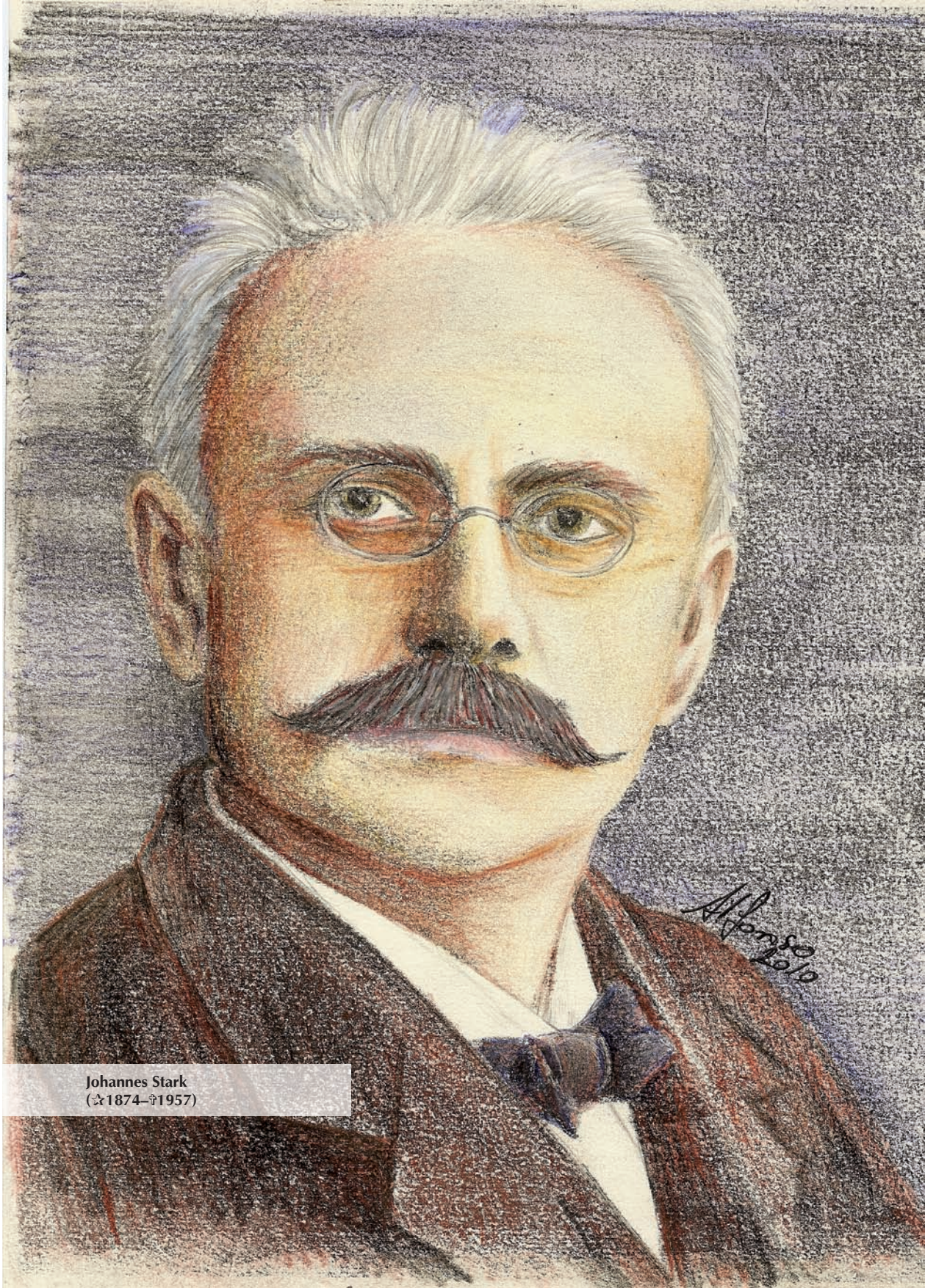
> tar a indicação. O cargo foi então oferecido a Bothe, mas Lenard começou a atacá-lo assim que ele chegou em Heidelberg. Quando Bothe foi obrigado a ir embora, o cargo foi novamente oferecido a Geiger, que, por sua vez, decidiu ir a Heidelberg falar com Lenard, tendo me convidado a acompanhá-lo. Subimos, portanto, a rua que leva ao Instituto de Física e batemos à porta do instituto. O porteiro a abriu e subiu para avisar Lenard. Voltou depois de poucos minutos para nos dizer que o professor Lenard não tinha nenhum interesse em receber o senhor Geiger. Assim, fomos embora, enquanto Geiger, com um sorrisinho, me dizia que jamais teria imaginado uma acolhida tão arrogante. Disse, depois, que queria nos mostrar (a mim e a Bothe) um instituto realmente agradável, que se encontrava abaixo, no Neckar. Era o Kaiser Wilhelm Institut für Medizinische Forschung. Quando Geiger e Bothe o viram, ambos usualmente pouco emotivos, entusiasmaram-se muito e imediatamente. (LENARD; STARK, 1924, p. 37).

Em dezembro de 1935, o Instituto de Física de Heidelberg passou a chamar-se Instituto Philipp Lenard. Manteve esse nome até 1945.

Em 1931, Lenard aposentou-se, mas não como um físico nazista. Segundo o estranho par constituído pelos dois Prêmios Nobel nazistas, Philipp Lenard e Johannes Stark, a ciência deveria tornar-se "ariana" e sujeitar-se à política. Ambos sustentavam que a física, como tudo o mais que atinge o comportamento humano, varia segundo aquele que a pratica. Para Lenard e Stark, a física judia ganhou corpo no formalismo da mecânica quântica e da relatividade, enquanto a "boa física" fundamentava-se na verdade estabelecida pela mecânica de Newton.

O reconhecimento por parte do regime não tardaram a chegar e, em 1935, Stark foi nomeado presidente da Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft, isto é, da instituição que tinha em mãos o financiamento e o desenvolvimento da física alemã. Depois de nomeado, Stark, em colaboração com Lenard, dirigiu sua atenção às nomeações para a cátedra e para os inimigos declarados da física ariana. Vislumbravam-se tempos duros, por exemplo, para Werner Heisenberg (ver capítulo 9).

Em 1936, Lenard foi o primeiro vencedor do Prêmio de Ciência do Partido Nacional-Socialista (Nationalsozialistischen Deutschen Arbeiterpartei – NSDAP). Nesse mesmo ano, foi chamado a fazer parte, jun-



Johannes Stark
(☆1874–✞1957)

tamente com outros 15 "estudiosos" de várias disciplinas, do recém-criado departamento de pesquisa sobre a questão judaica, ao qual o nacional-socialismo atribuía grande importância e no âmbito do qual foram organizadas várias reuniões, até mesmo de tipo congressional. Em 1937, Lenard publicou os quatro volumes das aulas experimentais de física – *Deutsche Physik* (*Física alemã*) –, nos quais sustentava que a única ciência verdadeira era aquela realizada por pesquisadores arianos (LENARD, 1942). Os trabalhos de Einstein foram definidos como *Judenbetrug,* isto é, confusão judia. Vale a pena, inclusive para perceber o espírito reinante naqueles tempos, citar uma parte da introdução da *Deutsche Physik*, tanto em alemão como na tradução em português.

> "Deutsche Physik?", wird man fragen. Ich hätte auch arische Physik oder Physik der nordisch gearteten Menschen sagen können, Physik der Wirklichkeits-Ergründer, Der Wahrheit-Suchenden, Physik derjenigen, die Naturforschung begründet haben. "Die Wissenschaft ist und bleibt international" wird man mir einwenden wollen. Dem liegt aber immer ein Irrtum zugrunde. Im Wirklichkeit ist die Wissenschaft, wie alles was Menschen hervorbringen, rassisch, blutmässig bedingt. Ein Anschein von Internationalität kann entstehen, wenn aus der Allgemeingültigkeit der Ergebnisse der Naturwissenschaft zu Unrecht auf allgemeinen Ursprung geschlossen wird oder wenn übersehen wird, dass die Völker verschiedener Länder, die Wissenschaft gleicher oder verwandter Art geliefert haben wie das deutsche Volk, dies nur deshalb und insofern konnt, weil sie ebenfalls vorwiegend nordlicher Rassenmischung sind oder waren. Völker anderer Rassenmischung haben eine andere Art, Wissenschaft zu treiben […] Man könnte an Hand der vorliegender Literatur vielleicht bereits von einer Physik der Japaner redden; in der Vergangenheit gab es eine Physik der Araber. Von einer Physik der Neger ist noch nichts bekannt; dagegen hat sich sehr breit eine eigentümliche Physik der Juden entwickelt, die nur bisher wenig erkannt ist, weil man Literatur meist nach der Sprache einteilt, in der sie geschrieben ist. Juden sind überall, und wer heute noch die Bahauptung von der Internationalität der Naturwissenschaft versicht, der meint wohl unbewusst die jüdische, die allerdings mit den Juden überall und überall gleich ist.
>
> Es ist wichtig, die "Physik" des judischen Volkes hier ein wenig zu betrachten, weil sie ein affallendes Gegenstück zur deutschen Physik ist und diese bei Erkenntnis des Gegensatzes wohl für viele erst ins rechte Licht setzt. Wie alles Jüdische ist auch die jüdische Physik erst seit kurzem überhaupt einer unbefangenen öffentlichen Betrachtung zugänglich geworden. Sie hatte sich lange versteckt und zörgernd entwickelt. Mit Kriegsende, als die Juden in Deutschland

> herrschend und tonangebend wurden, ist sie in ihrer ganzen Eigenart plötzlich überschemmungsartig hervorgetreten [...] Um sie kurz zu charakterisieren, kann am gerechtesten und besten an die Tätigkeit ihres wohl hervorragendsten Vertreters, des wohl reinblütingen Juden A. Einstein, erinnert werden. Seine "Relativitäts-Theorien" wollten die ganze Physik umgestalten und beherrschen; gegenüber der Wirklichkeit haben sie aber nun schon vollständig ausgespielt. Sie wollten auch gar nie wahr sein. Dem juden fehlt auffallend das Verständnis für Wahrheit.[16] (LENARD, 1942, p. 22).

Durante a guerra, Lenard, que já estava bastante velho, não teve nenhum papel na condução ou na direção da ciência.

Na primavera de 1945, pouco antes do fim da guerra, Lenard transferiu-se para Messelhausen (próximo a Bad Mergentheim), com a mulher e a filha, que jamais se casou, e, nesse mesmo ano, no fim da guerra, foi deixado em liberdade pelos americanos em razão da sua idade avançada. Em 20 de maio de 1947, Lenard morreu em Messelhausen, onde foi enterrado.

Concluindo, Philipp Lenard foi um físico de duas caras. Nos primeiros 40 anos de sua vida, foi um grande (embora um pouco azarado!) físico

---

[16] "Física alemã?, o que é isso?" – se perguntará alguém. Poderia também chamá-la de Física ariana ou também de Física da população nórdica, ou Física dos pesquisadores da realidade, dos pesquisadores da verdade, Física daqueles que fundaram a ciência natural. "Mas a ciência é e continua sendo internacional", – alguém me responderia. Mas, na formação dessa frase, existe um erro de base. Na verdade, a ciência, como todas as atividades humanas, está ligada à raça, ao sangue. Uma aparência de internacionalismo pode derivar do fato de que se passe erroneamente de uma validade geral dos resultados da ciência para uma origem geral, ou, se é negligenciado o fato de que populações de outros países que produziram uma ciência semelhante ou análoga àquela produzida pelo povo alemão somente o fizeram por serem constituídas preponderantemente por populações nórdicas ou com mistura de sangue nórdico. As populações que possuem um outro tipo de sangue têm um modo diverso de exercitar a ciência [...] Observando a literatura científica atual, poder-se-ia, talvez, falar de uma Física japonesa; no passado, houve uma Física árabe. Até hoje, nada se sabe sobre uma Física negra. Ao contrário, desenvolveu-se muito uma Física judia específica, que atualmente é pouco conhecida apenas porque se reconhece a literatura da língua na qual foi escrita. Os judeus estão por toda parte, e quem hoje fala sobre a internacionalidade da Física pensa, sem sabê-lo, na Física judia, que está em todo lugar e, em todo lugar, é igual. É, pois, importante tratarmos um pouco da Física judia, uma vez que ela está em aberta oposição à Física alemã. Como todas as coisas judias, apenas recentemente ela manifestou-se de modo aberto. Com o fim da guerra (I Guerra Mundial), quando os judeus começaram a dominar, ela surgiu repentinamente, com uma característica particular e transbordante [...] Para caracterizá-la, pode-se pensar na atividade de seu expoente mais representativo, o judeu puro A. Einstein. As suas teorias da relatividade queriam compreender e dominar toda a Física; na realidade, perderam todo o crédito quando confrontadas com a realidade. Realmente, sequer pretendiam ser verdadeiras. Falta ao judeu, claramente, o senso da verdade. (LENARD, 1942, p. 22, tradução nossa).

experimental, que descobriu fenômenos como a fosforescência, o efeito fotoelétrico, a estrutura do átomo, e estudou a fundo os raios catódicos, tornando possível a descoberta dos raios X. Sua personalidade difícil (apesar do casamento, era um solitário e não tinha amigos), que já se manifestara naquela época, explodiu nos 35 anos seguintes, durante os quais seu desenfreado nacionalismo e seu antissemitismo obscureceram completamente a verdade da física e o fizeram aderir ao Partido Nacional-Socialista, no qual se fortaleceu, para tornar difícil, mas felizmente nem sempre com sucesso, a vida dos maiores físicos da época (por esse aspecto, na verdade, seu compadre Stark era muito mais decidido e eficiente).

Apesar de ter obtido grande sucesso, tendo inclusive recebido o Prêmio Nobel em 1905, sentia-se frustrado e negligenciado pelo mundo da física. Via inimigos por toda a parte e, a partir de um certo momento de sua vida, ao redor dos anos 1920, começou a vê-los nos físicos teóricos que estavam inventando a mecânica quântica e, particularmente, nos judeus, identificados como falsos. Implicou com Einstein e com a sua teoria da relatividade.

Definitivamente, é muito provável que tivesse uma personalidade patologicamente perturbada e, por esse motivo, é difícil fazer dele uma avaliação objetiva e serena.

Também sobre religião, ele formou juízos bem particulares, exprimindo-os assim na sua autobiografia, ao comentar os termos de um discurso fúnebre que deveria ser proferido por ocasião da sua morte:

> [...] será difícil que um padre possa encontrar as palavras certas no meu funeral, uma vez que não frequento a igreja. Com prazer eu teria permanecido católico, assim como o foram meus genitores e todos os meus familiares, não obstante o Papa tenha perseguido Galileu por muito tempo. [...] Durante a I Guerra Mundial, difundiu-se na Alemanha o catolicismo político, muito nocivo e hostil. Pareceu-me necessário, então, retirar-me da religião católica, e não tive vontade de entrar para a religião luterana. Até as pequenas religiões me desiludiram. Na minha opinião, falta ao povo alemão uma justa renovação da religião, a qual deveria basear-se no conhecimento científico e deveria ser capaz, assim como

> Hitler, de tomar as rédeas de todo o povo. Assim, fiquei só, mas em boa companhia, com minha mulher e minha filha, e faço, portanto, eu mesmo, o meu discurso fúnebre. (LENARD, 1986, p. 109).

Talvez, a melhor opinião sobre ele a tenha cunhado Max von Laue, também ele um Prêmio Nobel e um assumido antinazista, que, em um Congresso da Sociedade Alemã de Física, ocorrido em Göttingen, em 1947, pouco depois da morte de Lenard, com essas palavras se lembrou dele: "[...] nós não podemos nem queremos silenciar, ou pior, desculpar os graves erros do pseudopolítico Lenard, mas desejamos também afirmar, enfaticamente, que ele faz parte da categoria dos grandes físicos" (NEUMANN; PUTLITZ, 1986). Não se pode deixar de subscrever essa afirmação e também não se pode deixar de admirar a objetividade e a superioridade de von Laue que, durante o nacional-socialismo, teve de "engolir muitos sapos".

Depois da II Guerra Mundial, seu nome foi praticamente eliminado dos livros de física de todo o mundo, mas não foram esquecidas suas descobertas, que, por sua vez, anteciparam outras descobertas no campo da física teórica.

Referências

HEISENBERG, W. **Fisica e oltre**: incontri com i protagonisti. Torino: Boringhieri, 1984.

HERMANN, A. Der Kampf um die Relativitätstheorie. Stuttgart, **Bild der Wissenschaft**, v. 9, p. 108, 1977.

HERTZ H. Über den Durchgang von Kathodenstrahlen durch dünne Metallschichten. **Annalen der Physik und Chemie**, [Berlin], v. 281, n. 1, p. 28-32, 1892.

HERTZ, H. Über einen Einfluss des UV Lichtes auf die elektrische Entladung. **Annalen der Physik und Chemie**, [Berlin], v. 267, n. 8, p. 983-1000, 1887.

LENARD P. Über die Elektrizität der Wasserfälle. **Annalen der Physik und Chemie**, [Berlin], v. 282, n. 8, p. 584–636, 1892.

LENARD, P. **Deutsche naturforscher**: eine geschichte der naturforschung in lebensbeschreibungen. München: Lehmann, 1929. 324 p.

LENARD, P. **Deutsche Physik**. München: Lehmann, 1942. 4 v.

LENARD, P. **England und Deutschland zur Zeit des grossen Krieges**. Heidelberg: Winter, 1914.

LENARD, P. **Erinnerungen eines Naturwissenschaftlers der Kaiserreich, Judenherrschaft und Hitler erlebt hat**. Heidelberg: Universidade de Heidelberg 1986.

LENARD, P. Erzeugung von Kathodenstrahlen durch ultraviolettes Licht. **Annalen der Physik und Chemie**, [Berlin], v. 307, n. 6, p. 359-375, 1900.

LENARD, P. Neuere Versuche an Wismut im magnetischen Felde. **Tageblatt der Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte**, Bremen, v. 211, 1889.

LENARD, P. Über die elektrostatischen Eigenschaften der Kathodenstrahlen. **Annalen der Physik und Chemie**, [Berlin], v. 300, n. 2, p. 279, 1898.

LENARD, P. **Über die Schwingungen fallender Tropfen**. Annalen der Physik und Chemie, [Berlin], v. 30, n. 2, p. 209-243, 1887.

LENARD, P. Über Kathodenstrahlen in Gasen von atmosphärischen Druck und im äussersten Vakuum, **Annalen der Physik und Chemie**, [Berlin], v.287, n. 2, p. 225-267, 1894.

LENARD, P.; STARK, J. Hitlergeist und Wissenschaft. **Grossdeutsche Zeitung**, [Munich] v. 1, n. 81, 8 Mai 1924.

NEUMANN, R.; PUTLITZ, G. zu. **Philipp Lenard in "Semper Apertus" 600 Jahre Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg 1386-1986**. Berlin: Heidelberg: Springer Verlag, 1986.

RAMSAUER, C. **Physik, technik, pädagogik**: erfahrungen und erinnerungen. Karlsruhe: Braun, 1949. 130 p.

RÖNTGEN, W. C. Über eine neue Art von Strahlen. **Annalen der Physik und Chemie**, [Berlin], v. 300, n. 1, p. 1-11, 1898. Reprinted.

SELIGER, H. H. Wilhelm Conrad Röntgen and the glimmer of light. **Physcs Today**, Melville, v. 48, n. 11, p. 25-31, 1995.

Literatura recomendada

LENARD, P. **Wissenschaftliche Abhandlungen aus den Jahren 1886-1932**. Leipzig: Hirzel, 1942-1943. 2 v.[17]

a. Band 1: Hydrodynamische und gastheoretische Arbeiten. Molekularkräfte, S. Hirzel, Leipzig 1943.
b. Band 2: Phosphoreszenz, S. Hirzel, Leipzig 1943.
c. Band 3, Vienna 1944.
d. Band 4, herausgegeben und kritisch kommentiert von Charlotte Schönbeck; Diepholz-GNT-Verlag, Berlin 2003.

WALTHER Bothe and the early years of the KWImF Nuclear Physics Department. Disponível em: <http://sun0.mpimf-heidelberg.mpg.de/History/Bothel.html>.

[17] Obra completa de Philipp Lenard, juntamente com uma detalhada discussão.

Capítulo 3

ANTOINE HENRI BECQUEREL E A DESCOBERTA DA RADIOATIVIDADE

A notícia da grande descoberta de uma nova radiação, os raios X, por parte de Wilhelm Conrad Röntgen (ver capítulo 1), propagou-se rapidamente pelo mundo, de modo que poucas semanas depois da sua primeira publicação, nos primeiros dias de janeiro de 1896, todo o mundo, científico ou não, tomou conhecimento dela por meio dos resumos da primeira publicação que Röntgen enviara a muitos colegas e por intermédio da divulgação da notícia nos principais jornais do mundo.

As consequências científicas não se fizeram esperar. Em 20 de janeiro de 1896, isto é, poucas semanas depois da descoberta dos raios X, Henri Poincaré fez um relato sobre o assunto na Academia de Ciências da França. Ele salientou o fato de que os novos raios provocavam fosforescência, seja sobre a parede do tubo de vácuo, seja sobre um ecran colocado do lado de fora dele e revestido de material fosforescente[18].

Era uma sugestão para que fosse estudada a conexão entre os misteriosos raios X e a fosforescência.

---

[18] A fosforescência é a centelha luminosa que a luz provoca em certas substâncias; são, por isso, chamadas de fosforescentes. Essa centelha continua a manifestar-se mesmo quando a fonte luminosa é removida.

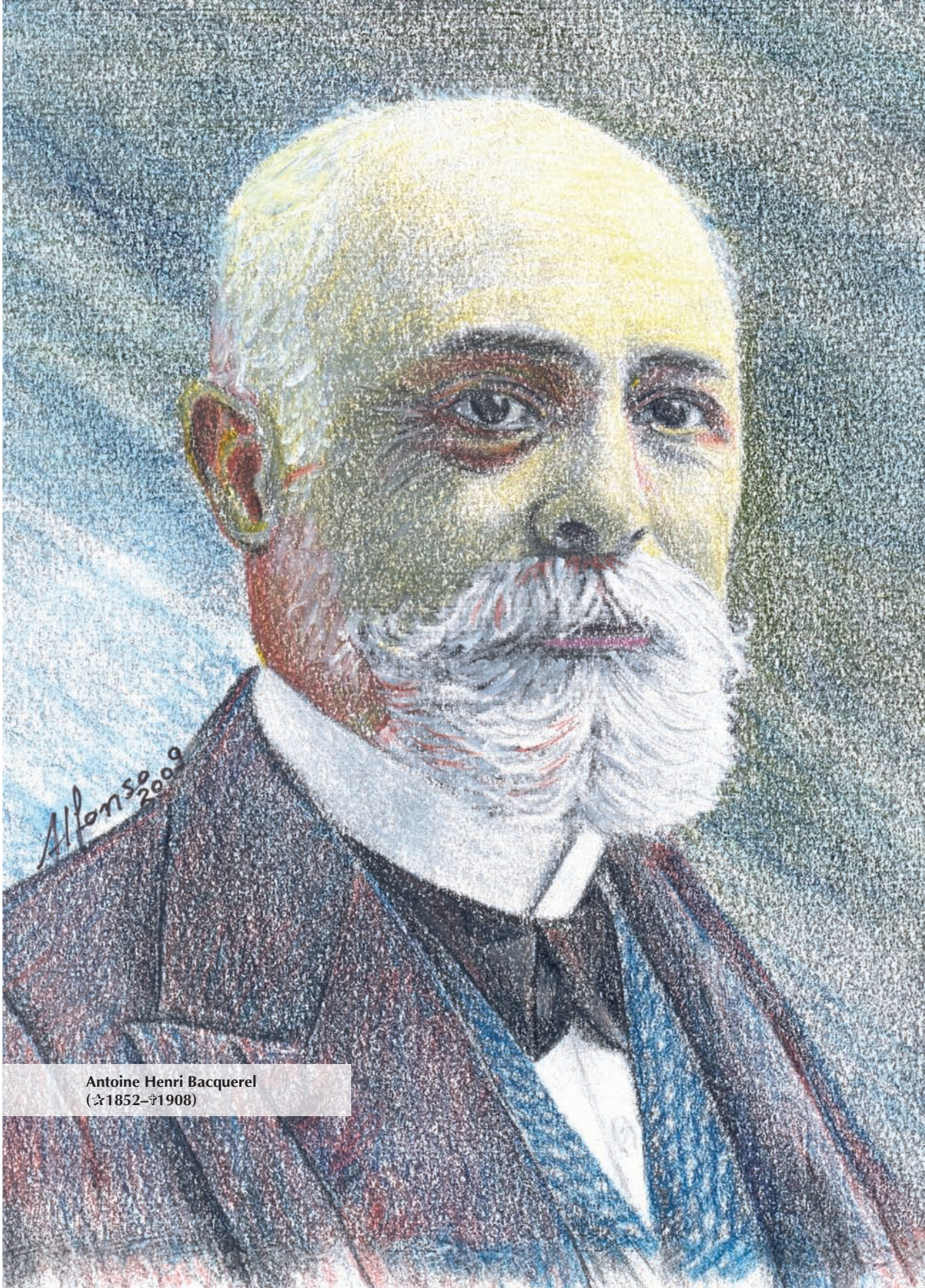
Na França, esse fenômeno tinha sido longamente estudado por Alexandre-Edmond Becquerel, que veio a criar um equipamento chamado fosforoscópio. Alexandre Becquerel havia morrido 5 anos antes, mas seu filho, Antoine Henri, também ele um físico famoso e acadêmico francês, havia colaborado com o pai nas pesquisas sobre a fosforescência, tendo dedicado os últimos 10 anos a essa pesquisa. Quando ouviu Poincaré falar sobre a descoberta dos raios X e da sua evidência por meio da fosforescência, prestou muita atenção. Recorda-se Becquerel: "Imediatamente pensei em perguntar se outros materiais fosforescentes eram capazes de emitir raios semelhantes"(DUTREIX; DUTREIX, 1895, p. 1869). Isto é, Becquerel se perguntou se era possível que a fosforescência observada sobre a parede dos tubos de vácuo e sobre a tela fosse a fonte dos raios X, mais que seu efeito. Ele não foi o único a ficar impressionado com a descoberta de Röntgen e com as observações de Poincaré.

Mas retornemos à "dinastia Becquerel" e, em particular, a Antoine Henri Becquerel.

Antoine Henri Becquerel nasceu em Paris no dia 15 de dezembro de 1852, sendo o terceiro de uma série de professores e membros da Academia da França. O avô, Antoine, fez importantes descobertas no setor do eletromagnetismo e da eletroquímica. O pai, Alexandre-Edmond (1820-1891), na segunda metade do século, trabalhou intensamente com a fluorescência e com a fosforescência.

Esse campo foi desenvolvido por Robert Bunsen e Gustav Kirchhoff. Alexandre-Edmond estava especialmente interessado na fosforescência dos sais de urânio em razão do forte efeito e dos interessantes espectros de emissão. O filho, Antoine Henri, desde jovem divertia-se em participar das pesquisas, tanto as do pai quanto as do avô.

Antoine Henri estudou na Escola Politécnica, dedicando-se especialmente à química e à física. Em 1877, obteve o diploma de engenheiro.



Antoine Henri Bacquerel
(☆1852–✞1908)

Em 1878, tornou-se assistente-naturalista do Museu de História Natural de Paris. Entre 1878 e 1880, estudou algumas propriedades magnéticas dos gases, e, a partir de 1881, dedicou-se aos espectros de fosforescência emitidos por minerais aquecidos e à fosforescência dos sais de urânio. Começou a publicar trabalhos sobre esse assunto em 1883, e, nos 13 anos seguintes, publicou 20 trabalhos sobre o tema. Assim como o pai, Antoine Henri era fascinado pelos sais de urânio, dos quais estudou os espectros tanto na zona do infravermelho como na do visível. Em 1888, com 36 anos, tornou-se membro da Academia de Ciências.

Retornando ao relato de Poincaré sobre a descoberta dos raios X e sobre a possível correlação com a fosforescência de certos materiais, as reações foram numerosas. Charles Henry, por exemplo, excitou a fluorescência de sulfato de zinco com raios X e observou um aumento de escurecimento em uma chapa fotográfica. Outros, entre eles Becquerel, usaram descargas elétricas ou a luz do sol como agentes estimuladores. Foram, pois, realizadas experiências com sulfato de zinco, sulfato de cálcio, blenda e outros, obtendo-se resultados muitas vezes confusos. Foram observados escurecimentos sobre chapas fotográficas, mas os resultados não eram replicáveis. Henri Becquerel decidiu verificar a emissão de materiais fosforescentes e, em especial, propôs-se a usar, para esse fim, cristais de urânio, com os quais trabalhara por muitos anos, para verificar eventuais emissões. A sua hipótese de trabalho era simples: como a nova radiação descoberta por Röntgen era provocada pelo fenômeno da fosforescência, caberia testar também outros materiais fosforescentes, como os sais de urânio[19]. No entanto, Becquerel não dispunha de cristais de sais de urânio porque os havia emprestado, e começou a pesquisar com sulfato de cálcio, obtendo algum resultado positivo, mas não reproduzível. Os resultados foram melhores quando utilizou os sais de urânio.

---

[19] O urânio, a partir deste capítulo, será um dos protagonistas deste livro. A história e as características desse elemento encontram-se descritas no anexo 2.

Conforme já havia feito, ele apoiou o mineral de urânio sobre uma placa fotográfica e envolveu tudo em uma folha de papel preto, de forma que impedisse o escurecimento direto da placa pela luz solar. Em seguida, expôs tudo à luz do sol, que deveria induzir a fosforescência, e revelou a chapa. O que obteve foi uma mancha escura, o que estava de acordo com suas expectativas. Para tornar os resultados mais interessantes, colocou moedas e outros objetos metálicos entre o mineral e a placa, obtendo resultados estimulantes.

Esses primeiros resultados, interessantes mas certamente nãorevolucionários, foram apresentados na Academia de Ciências, na reunião de 24 de fevereiro de 1896 (portanto, apenas 2 meses depois da descoberta dos raios X). Citemos as palavras de Becquerel:

> Dans une précédente séance, M. Ch. Henry a annoncé que le sulfure de zinc phosphorescent interpose sur le trajet de rayons emanes d'un tube de Crookes augmentait l'intensité des radiations traversant l'aluminium.
>
> D'autre part, M. Niewenglowski a reconnu que le sulfure de calcium phosphorescent du commerce émet des radiations qui traversent les corps opaques.
>
> Ce fait s'étend à divers corps phosphorescents et, en particulier, aux sels d'urane don't la phosphorescence a une très courte durée.
>
> Avec le sulfate double d'uranium et de potassium, don't je possède des cristaux formant une croûte mince et transparente, j'ai pu faire l'expérience suivante:
>
> On enveloppe une plaque photographique Lumière, au gélatino-bromure, avec deux feuilles de papier noir très épais, tel que la plaque ne se voile pas par une exposition au Soleil, Durant une journée.
>
> On pose sur la feuille de papier, à l'extérieur, une plaque de la substance phosphorescente, et l'on expose le tout au Soleil, pendant plusieurs heures. Lorsqu'on développe ensuite la plaque photographique, on reconnaît que la silhouette de la substance phosphorescente apparaît en noir sur le cliché. Si l'on interpose entre la substance phosphorescente et le papier une pièce de monnaie, ou un écran métallique percé d'un dessin à jour, on voit l'image de ces objets apparaître sur le cliché.
>
> On peut répéter les mêmes expériences en interposant entre la substance phosphorescente et le papier une mince lame de verre, ce qui exclut la possibilité

> d'une action chimique due à des vapeurs qui pourraient émaner de la substance échauffée par les rayons solaires.
>
> On doit donc conclure de ces experiences que la substance phosphorescente en question émet des radiations qui traversent le papier opaque à la lumière et réduisent les sels d'argent. (DUTREIX; DUTREIX, 1995, p. 1869).

Mas fatos extraordinários aconteceram nos dias seguintes, exatamente na quarta-feira e na quinta-feira, dias 26 e 27 de fevereiro, quando Becquerel quis aperfeiçoar as medidas e preparou um conjunto de cristais de sulfato de urânio e uma chapa fotográfica. Primeiro, Becquerel expôs a chapa fotográfica, embora não houvesse sol no primeiro dia e só um pouco no segundo. Como, nos dias seguintes, o tempo estivesse ruim e o céu encoberto, Becquerel guardou os cristais e a chapa fotográfica em uma gaveta, à espera de um tempo bom. No domingo, 1º de março, levado apenas pelo hábito, revelou a chapa, esperando conseguir apenas uma imagem bastante fraca, por causa da ausência de luz. Porém, para sua grande surpresa, obteve uma imagem muito clara. Repetiu imediatamente o experimento, obtendo os mesmos resultados.

No dia seguinte, 2 de março de 1896, Becquerel relatou seus resultados na reunião da Academia de Ciências (BECQUEREL, 1896e), observando que os cristais de sulfato de urânio podem ser estimulados e emitir novos raios não apenas através da incidência direta da luz solar, mas também quando ela está difusa por causa das nuvens. O resultado mais impressionante, porém, foi a constatação de que a irradiação não dependia da incidência de luz solar antes ou durante o experimento, ou seja, os sais de urânio emitiam radiações próprias, de algum modo semelhantes aos raios X.

Nos meses seguintes, Becquerel continuou com as pesquisas, examinando as propriedades das radiações emitidas pelo urânio (refração, absorção por substâncias diversas, etc.) e relatando os resultados nas próximas reuniões da Academia de Ciências (BECQUEREL, 1896a, 1896b, 1896c, 1896f, 1896g). Uma grande parte de suas primeiras pesquisas

desenvolveu-se no período de poucos meses, de março a junho de 1896, ou seja, apenas poucos meses depois da descoberta dos raios X. Todavia, Becquerel jamais abandonou a ideia de que a fosforescência fosse, de alguma forma, ligada ao fenômeno que estava estudando.

Becquerel tinha descoberto a radioatividade, mas ele mesmo não a reconheceu como tal e sequer tentou explicar sua origem. Por alguma razão, permaneceu prisioneiro das hipóteses que o tinham levado a começar, com tanta felicidade, a pesquisa sobre as radiações emitidas pelo urânio. Deduziu que o assunto estivesse terminado e, em 1897, publicou apenas mais dois trabalhos sobre a radiação emitida pelo urânio (BECQUEREL, 1896a, BECQUEREL, 1896c), examinando o comportamento da radiação e a sua independência da temperatura, além das diversas características dos diferentes tipos de radiação emitida pelo próprio urânio, em especial por atravessar diversos materiais. Enfim, passou a estudar, com detalhe, os efeitos biológicos das radiações, para o que se serviu de uma amostra de cloreto de rádio (presente dos Curie), que guardava no bolsinho do colete. Depois de 10 dias, observou um eritema na pele e um efeito progressivo de descamação.

Em 1903, Henri Becquerel dividiu o Prêmio Nobel com o casal Curie. Em agosto de 1908, morreu repentinamente, com apenas 56 anos.

Referências

BECQUEREL, H. Recherches sur les rayons uraniques. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 124, p. 438-444, 1896a.

BECQUEREL, H. Sur diverses propriétés des rayons uraniques. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 123, p. 855-858, 1896b.

BECQUEREL, H. Sur la loi de la decharge dans l'air des l'uranium electrisé. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 124, p. 800-803, 1896c.

BECQUEREL, H. Sur les radiations émises par phosphorescence. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 122, p. 420-421, 1896d.

BECQUEREL, H. Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 128, p. 501–503, 1896e.

BECQUEREL, H. Sur les radiations invisibles émises par les sels d'uranium. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 122, p. 689-694, 1896f.

BECQUEREL, H. Sur quelques propriétés nouvelles des radiations invisibles émises par divers corps phosphorescents. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 122, 559-564, 1896g.

DUTREIX, J.; DUTREIX, A. Henry Becquerel. **Medical Physics**, Melville, v. 22,

p. 1869-1875, 1995.

Capítulo 4

A DESCOBERTA DO ELÉTRON

Quando nossa história começou, com Wilhelm Röntgen, no fim de 1895, isto é, há pouco mais de 110 anos, não se sabia nada sobre a estrutura do átomo. Atualmente, todos (ou quase todos) sabem que um átomo é constituído por um núcleo, composto por prótons e nêutrons, ao redor do qual giram os elétrons. Mas, àquela época, os elétrons ainda não tinham sido identificados, e os nêutrons o seriam somente 35 anos depois.

Mas os tempos já estavam maduros para as descobertas, que pareciam fazer parte de um mesmo "pacote", e, entre 1895 e 1898, seriam descobertos os raios X, a radioatividade natural e o elétron.

Para a descoberta do elétron e dos raios X, um cientista, Joseph John Thomson, deu uma contribuição definitiva (além de outros, que, antes dele, assentaram os tijolinhos fundamentais. E os dispositivos usados nesse tipo de pesquisa foram os tubos de descarga e os raios catódicos, que levaram, também, à descoberta dos raios X.

O primeiro a trabalhar sistematicamente com as descargas nos gases foi Faraday, que, ao redor de 1840, observou uma série de fenômenos interessantes, porém, estava limitado pelo escasso vácuo que àquela época podia-se obter. Um certo progresso foi conseguido depois, em 1854,

por H. Geissler, que melhorou o vácuo e inseriu os eletrodos no tubo de vácuo. Progressos posteriores foram obtidos por J. Plucker, W. Hittorf (1869) e E. Goldstein (1876), que utilizou o termo "raios catódicos" para a radiação que se originava de um dos eletrodos, chamado catodo. Entre 1879 e 1885, W. Crookes melhorou os tubos de vácuo e foi o primeiro a levantar a hipótese de que os raios catódicos fossem feixes de partículas carregadas negativamente. Essa hipótese foi contestada por vários físicos alemães, em especial por E. Wiedemann (1880), H. Hertz (1883) e P. Lenard (1894), os quais sustentavam que os raios eram, na realidade, radiações eletromagnéticas.

Nesse momento, tem início uma série de experiências decisivas. O primeiro experimento decisivo foi realizado por Jean Perrin, em 1895. Nesse experimento, os raios catódicos foram conduzidos de forma a terminar seu percurso em um cilindro de Faraday, ligado a um eletrômetro. Desse modo, pode-se medir o sinal e a intensidade da carga elétrica recolhida. Perrin mostrou que era recolhida uma carga elétrica negativa. Porém, a objeção que foi feita era a de que cargas negativas poderiam também ser extraídas após um choque com os raios catódicos.

Nessa ocasião, entra em cena Joseph John Thomson, que, naquela época, estava no Cavendish Laboratory de Cambridge. Thomson nasceu em 18 de dezembro de 1856, em Manchester. Frequentou o Owens College de Manchester, onde seu professor de matemática o encorajou a concorrer a uma bolsa de estudos no Trinity College, então o mais prestigiado de Cambridge para matemática e física. Conseguiu obter a bolsa de estudo e completou, brilhantemente, seus estudos. Em 1884, foi convidado a ministrar aulas no Cavendish Laboratory, que tinha sido criado por James Clerk Maxwell, em 1874, tendo sido sucedido por Lord Rayleigh. Assim, com apenas 28 anos, J. J. Thomson foi o terceiro professor do Cavendish, tendo alçado o instituto a um nível extremamente elevado. Em 1890, Thomson casa-se com Rose Paget e têm dois filhos, dos quais um, George Paget Thomson, ganhou o Prêmio Nobel

de Física em 1937, pela descoberta da difração dos elétrons nos cristais. Thomson começou a interessar-se pelos raios catódicos em 1880, interesse que manteve pelos 50 anos seguintes.

Em 1897, Joseph John Thomson fez um tubo catódico, composto por um par de cilindros metálicos, com uma fissura no interior. Esses cilindros eram ligados a um eletrômetro, que permitia medir a carga elétrica, segundo o experimento de Perrin. Thomson propunha-se a verificar se, ao deflectir os raios com um magneto, poderia separar as cargas elétricas das radiações não carregadas. Então, constatou que, quando a radiação passava através da fissura, o eletrômetro media uma carga negativa, enquanto, quando os raios eram desviados e não entravam na fissura, nenhuma carga era medida. Assim, não é possível separar as cargas da radiação, porque constituem um todo. Conseguiu ainda obter um vácuo muito mais adequado no tubo catódico e teve sucesso ao desviar os raios catódicos por meio de um campo elétrico, fato que anteriormente não era possível em razão do gás residual.

A conclusão das duas experiências não poderia ser senão uma: os raios catódicos eram constituídos por partículas carregadas negativamente. Thomson não teve a chance de medir diretamente a carga (e) nem a massa (m) dessas partículas, mas, do desvio em um campo elétrico e magnético, foi capaz de medir a relação m/e. Obteve o valor $(1,3 \pm 0,2) \times 10^{-8}$ g/C, na verdade, bastante longe do valor atual $0,569 \times 10^{-8}$ g/C. Essa relação, observou Thomson, é independente do gás no tubo e do material que constitui o catodo, sugerindo que as partículas individualizadas são constituintes de todos os átomos. Além do mais, isso resultou menor que um fator mil da relação m/e medida para o hidrogênio na eletrólise. Partindo da observação de Philip Lenard de que o percurso dos raios catódicos no ar, de cerca de 5 mm, é muito menor do que o das moléculas (0,1 μm), Thomson chegou à conclusão de que a pequena relação m/e era devida à massa da partícula, que devia ser muito menor do que aquela do átomo de hidrogênio (THOMSON, 1897).

Thomson jamais usou o termo **"elétron"** para a partícula de carga negativa que tinha descoberto. Esse nome foi introduzido pelo físico irlandês G. Johnstone Stoney, em 1891, para identificar "a unidade de eletricidade" e "a quantidade de eletricidade que deve passar através de uma solução para liberar um átomo de hidrogênio" (STONEY, 1894).

Portanto, em 1897, Thomson tinha identificado uma partícula elementar portadora de carga elétrica negativa e havia determinado a relação m/e.

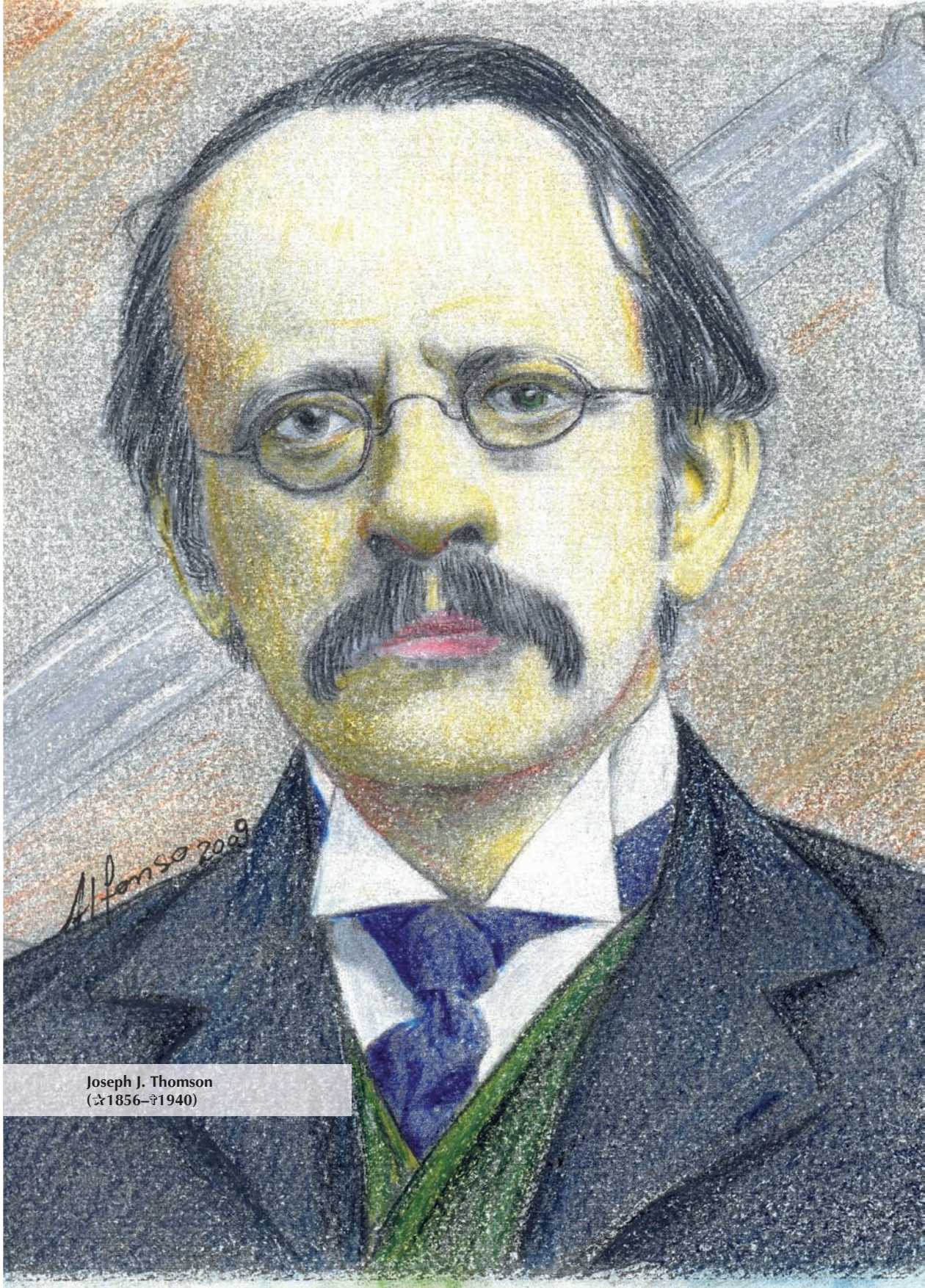
Em 1906, J. J. Thomson recebeu o Prêmio Nobel de Física. Quem mediu diretamente a carga do elétron foi Robert Millikan, em 1909, com o célebre e genial método das gotas de óleo (MILILIKAN, 1911). Essas gotas, eletrizadas, eram deixadas cair no ar e era medido o tempo que empregavam para percorrer uma certa distância, seguindo a lei de Stokes. Então, aplicava-se ao percurso um intenso campo elétrico e media-se o tempo que as mesmas gotas empregavam para percorrer o mesmo trecho em subida.

O aparelho era constituído de duas chapas metálicas de 22 cm de diâmetro e distantes entre si 1,6 cm. As chapas podiam ser polarizadas com uma diferença de potencial de 10.000 V; as gotas de óleo eram carregadas eletricamente. De quando em quando, uma gota passava pelo furo C, que pode ser visualizado por meio de um telescópio. Iluminando a zona com um facho de luz, as gotas aparecem iluminadas.

As medidas desses dois tempos levaram Millikan a determinar a carga do elétron, que deu como resultado

$$e = 1{,}59 \times 10^{-19} \text{ Coulomb}$$

valor esse bastante próximo do utilizado atualmente. As medidas de Millikan foram, na verdade, muito criticadas, porque, entre as muitas medidas executadas, Millikan tinha descartado algumas, pois pensava que o aparelho não estivesse funcionando corretamente. Mas os efeitos dessa operação "cosmética" revelaram-se, depois, serem irrelevantes.



Joseph J. Thomson
(☆1856–✞1940)



Robert Andrews Millikan
(☆1868–†1953)

Depois, Millikan comparou suas medidas com as de Thomson e com as relativas à eletrólise do hidrogênio e chegou à conclusão de que a massa do elétron era 1/1.845 vezes menor do que a massa do átomo de hidrogênio.

Robert Millikan ganhou o Prêmio Nobel de Física em 1923.

A descoberta do elétron como partícula independente, de massa pequena, levou Rutherford, em 1911, a desenvolver o modelo de átomo com um núcleo constituído por prótons e com elétrons ao redor do núcleo. E Niels Bohr concretizou esse modelo de um ponto de vista quantitativo, com elétrons que ocupam órbitas estacionárias ao redor do núcleo. Com base em considerações semiclássicas, Bohr calculou a energia de ligação de um elétron que se encontra em uma órbita n como:

$E_n = 2\ \pi^2\ m\ e^4\ Z^2 / h^2\ n^2$

em que Z é o número atômico e h a constante de Planck.

Além disso, Bohr afirmou que o elétron emite radiação quando passa de um nível n para um nível diverso n'.

Sucessivamente, na década de 1920, Otto Stern e Walther Gerlach descobriram que os elétrons atômicos possuem também um momento magnético (o assim chamado magneton de Bohr $\mu_B = e\ h / 4\ \pi\ m$).

Assim, a polêmica inicial, isto é, se os raios catódicos seriam partículas ou uma radiação, nesse ponto, parecia decidida, no sentido de que os raios catódicos eram corpúsculos, chamados elétrons.

Mas, a seguir, Louis de Broglie levantou a hipótese de que uma partícula em movimento comporta-se como uma onda, e, depois, em 1927, C. J. Davisson e L. H. Germer demonstraram, nos laboratórios Bell de New York, que os elétrons comportam-se também como onda, produzindo difração.

Referências

MILLIKAN, R. A. The isolation of an ion, a precision measurement of its charge, and the correction of Stoke's law. **Physical Review**, College Park, p. 349-397, v. 32, 1911.

STONEY, G. J. Of the "Electron" or atom of electricity. **Philosophical Magazine**, London, v. 38, v. 418-420, 1894.

THOMSON, J. J. Cathode Rays. **Philosophical Magazine**, London, v. 44, p. 293, 1897.

Capítulo 5

MARIA SKLODOWSKA CURIE E A DESCOBERTA DA RADIOATIVIDADE NATURAL

Maria (em polonês Marya) Sklodowska, digna continuadora da obra de Becquerel, nasceu em 7 de novembro de 1867, em Varsóvia, Polônia, então sob ocupação soviética. Era a quinta e última filha de pais professores, mas, originalmente, proprietários de terra. Na infância de Maria, a escola e a vida familiar eram estreitamente ligadas: assim, antes de começar a frequentar as aulas vivia, de fato, na escola da família, onde era conhecida como a filha dos professores. A seguir, quando começou a ir à escola, frequentou uma onde sua mãe tinha sido diretora. A partir dos 5 anos, viveu num lar de onde a mãe, sempre doente, estava frequentemente ausente. Com 9 anos, perdeu a irmã mais velha, vítima de tifo, e com 10 anos, a mãe.

Maria era muito inteligente e foi ótima aluna, valendo-se de uma excelente memória, de uma intensa capacidade de concentração e de um elevado senso de amor próprio e do dever. A família não era rica; ao contrário, era quase indigente. As irmãs Sklodowski, porém, eram ricas de sentimentos e de fervor patriótico, e também da consciência das próprias qualidades, as quais caracterizavam, segundo alguns, "[...] aquelas

mulheres da baixa e da alta aristocracia. São mulheres que mesmo em condições adversas conservam uma grande dignidade e estima por si mesmas" (SEGRÉ, 1986, p. 37). Além de tudo, Maria tinha uma grande habilidade para aprender línguas estrangeiras, como alemão, russo, francês e inglês. Porém, na Polônia, àquela época, as universidades não eram abertas às mulheres.

Com 16 anos, Maria tinha completado os estudos com grande sucesso, tendo sido premiada com uma medalha de ouro. Depois, passou mais de um ano no campo, visitando amigos e parentes. Ao retornar a Varsóvia, com a irmã Bronislava, tornou-se militante de uma organização clandestina antirrussa, constituída por políticos e intelectuais.

As duas irmãs eram também interessadas pelo estudo, que pretendiam continuar no exterior, em virtude da impossibilidade de fazê-lo na Polônia. Sentiam-se tentadas a viver em Paris que, naquela época, representava os ideais de liberdade e hospitalidade.

Primeiro partiu Bronislava, mais velha que Maria, para estudar medicina na Sorbonne. Enquanto aguardava, Maria trabalhava, como governante e educadora, para ricas famílias polonesas, e continuava a estudar matemática, física e química. Finalmente, com a ajuda de Bronislava, que tinha se casado em Paris com um companheiro de estudos polonês, e que voltara, temporariamente, para Varsóvia, Maria pôde partir para Paris, em novembro de 1891, estando, então, com 24 anos. Em Paris, foi morar num pequeno sótão no Quartier Latin, úmido e frio. Não obstante, Maria falará seguidamente sobre os anos de universidade em Paris como "[...] anos solitários dedicados exclusivamente aos estudos [...] o mais belo período da minha vida" (SEGRÉ, 1976, p. 38).

Seus companheiros de curso eram, na maior parte, homens, e Maria era obrigada a estudar o dobro que eles, por conta da fraca preparação que tinha recebido na Polônia. Em 1893, ano em que Maria recebeu a "licence en Sciences", em toda a universidade, somente uma mulher

havia obtido título equivalente. Em 1894, quando obtém a licença em matemática, apenas cinco mulheres haviam alcançado esse título.

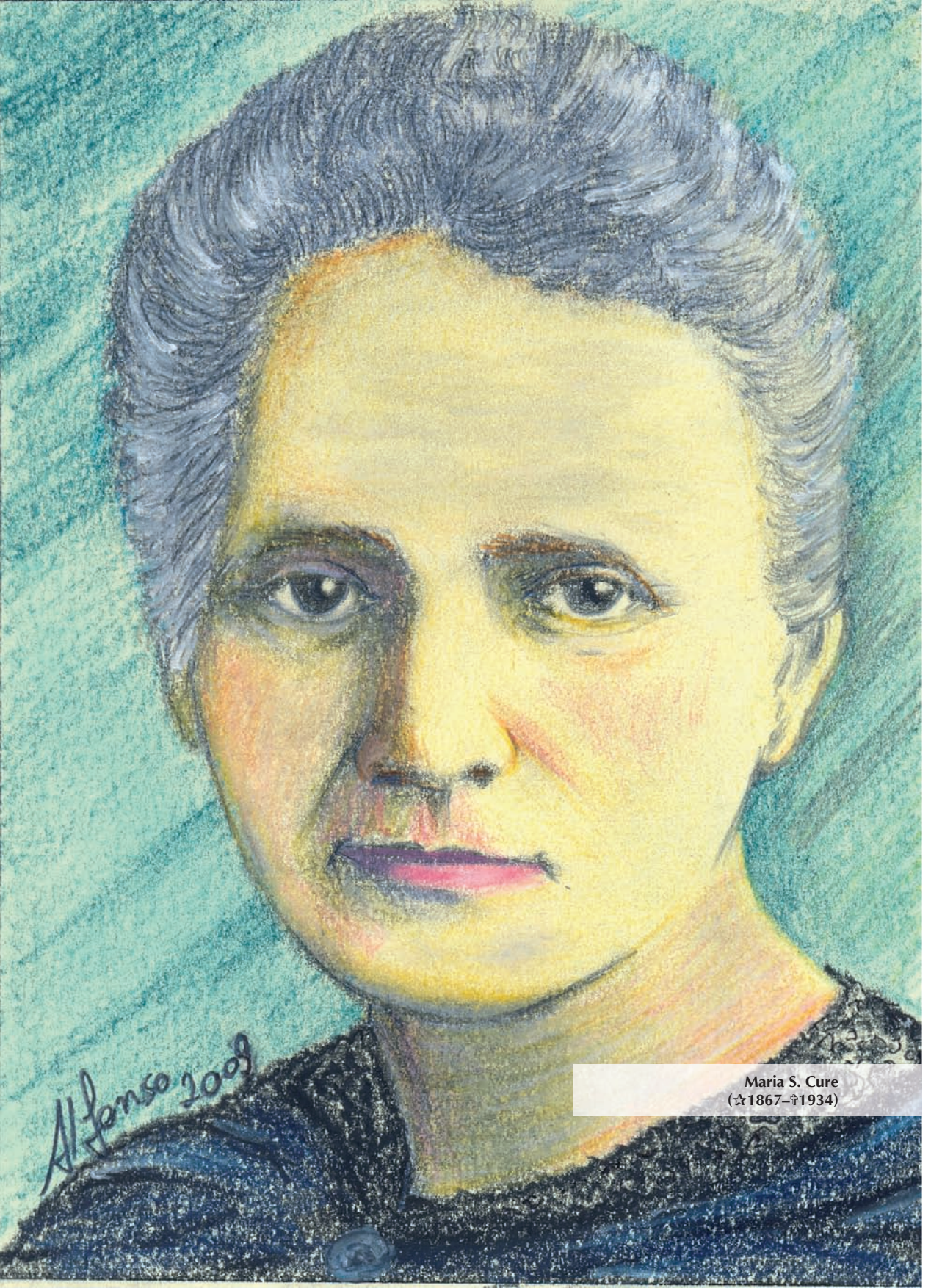
Maria teve como professores as melhores mentes científicas da França, estando entre eles: Gabriel Lippmann, docente de física, que, em 1908, ganharia o Prêmio Nobel; Paul Appell, docente de mecânica racional; e Henri Poincaré, sem dúvida o mais brilhante professor de Maria e um dos maiores físicos-matemáticos da época.

Maria Sklodowska alcançou um sucesso espetacular na universidade: classificou-se em primeiro lugar entre aqueles que obtiveram a licença em ciências e em segundo lugar entre os que obtiveram a licença em matemática. Em agosto de 1894, retornou a Varsóvia para breves férias.

Já havia conhecido Pierre Curie, físico de sucesso e pessoa de grande talento. Retornou a Paris no outono de 1894 e, em 26 de julho de 1895, Pierre Curie e Maria Sklodowska casaram-se. Começou, assim, uma magnífica união amorosa e científica, feita de pesquisa, vida familiar e passeios de bicicleta, que somente terminou com a dramática morte de Pierre Curie.

Em setembro de 1897, nasceu sua primeira filha, Irène, que seguiu os passos da mãe. De fato, casou-se com um aluno de Maria, Frédéric Joliot, e, com ele, ganhou o Prêmio Nobel em 1935.

Obtida a habilitação para ensinar, no fim de 1897, Maria decidiu iniciar uma pesquisa original, que lhe permitisse obter o doutorado. Decidiu pesquisar os misteriosos raios que Henri Becquerel havia descoberto apenas 18 meses antes e sobre os quais não havia ainda muita clareza. Lord Kelvin tinha dado um passo à frente e estabelecido que os raios emitidos pelo urânio, assim como os raios X, tinham o efeito de ionizar o ar. Em dezembro de 1897, Lord Kelvin apresentou esses resultados à Royal Society de Edimburgo e é provável que o casal Curie tenha tido conhecimento desses resultados porque Maria iniciou sua pesquisa exatamente no ponto no qual Lord Kelvin havia interrompido a sua.



Maria S. Cure
(☆1867–†1934)

Então, começou suas pesquisas em dezembro de 1897, em um modesto depósito anexo à École Municipale de Physique et Chimie Industrielles, sem contar com nenhuma ajuda econômica. Nos primeiros momentos, certamente Pierre a ajudou a calibrar os instrumentos de medida para uma determinação quantitativa da ionização. Assim, Maria começou a medir a "atividade" do urânio, dos sais e de muitas outras substâncias, por meio das ionizações. Em 22 de abril de 1898, os primeiros resultados da sua pesquisa foram apresentados na Académie des Sciences, pelo seu professor, M. Lippmann. Nesse primeiro trabalho, já se encontra, na substância, o núcleo fundamental das suas pesquisas. Vale a pena reproduzir integralmente o texto da apresentação (C. R. des Séances de l'Académie des Sciences; mardi 12 april 1898):

Rayons émis par les composés del'uranium et du thorium. Note de Mme. Sklodowska Curie:

> J'ai étudié la conductibilité de l'air sous l'influence des rayons de l'uranium, découverts par M. Becquerel, et j'ai cherché si des corps autres que les composés de l'uranium étaient susceptibles de rendre l'air conducteur de l'électricité. J'ai employé pour cette étude un condensateur à plateux; l'un des plateux était recouvert d'une couche uniforme d'uranium ou d'une autre substance finement pulvérisée. On établissait entre les plateux une difference de potenciel de 100 volts. Le courant qui traversait le condensateur était mesuré en valeur absolue au moyen d'un électromètre et d'un quartz piézoélectrique.
>
> J'ai examiné un grand nombre de métaux, sels, oxydes et minéraux. Le Tableau ciaprès donne, pour chaque substance, l'intensité du courant i en ampéres. Les substances que j'ai étudiées et qui ne figurent pas dans le Tableau sont au moins 100 fois moins actives que l'uranium.

Uranium légérement carbure	24×10^{-12}	A
Oxyde noir d'uranium	27	"
Oxyde vert d'uranium	18	"
Uranates d'ammonium, de potassium, de sodium, environ	12	"
Acide uranique hydraté	6	"
Azotate d'uranyle, sulfate uraneux, sulfate d'uranyle	7	"

Chalcolite artificielle (phosphate de cuivre et d'uranyle)	9	A
Oxyde de thorium (épaisseur = 0.25 mm)	22	"
Oxyde de thorium (épaisseur = 6 mm)	53	"
Sulfate de thorium	8	"
Fluoxytantalate de potassium	2	"
Fluoxyniobate de potassium et oxyde de cérium	0.3	"
Pechblende de Johanngeorgenstadt	83	"
Pechblende de Cornwallis	16	"
Pechblende de Joachimsthal	67	"
Chalcolite naturelle	52	"
Autunite	27	"
Thorites diverses	2-14	"
Orangite	20	"
Samarskite	11	"
Fergusonite, monazite, xénotime, niobite, aeschinite	3-7	"

Tous les composés de l'uranium étudiés sont actifs et le sont, en général, d'autant plus qu'ils contiennent plus d'uranium. Les composés du thorium sont très actifs. L'oxyde de thorium dépasse même en activité l'uranium métallique. Il est à remarquer que les deux éléments les plus actifs, l'uranium et le thorium, sont ceux qui possèdent le plus fort poids atomique. Le cérium, le niobium et le tantale semblent être légèrement actifs. Le Phosphore blanc est trés actif, mais son action est probablement d'une autre nature que celle de l'uranium et du thorium. En effet, le phosphore n'est actif ni à l'état de phosphore rouge ni a l'état de phosphates.

Les minéraux qui se sont montrés actifs contiennent tous les élèments actifs. Deux minéraux d'uranium: la pechblende (oxyde d'urane) et la chalcolite (phosphate de cuivre et d'uranyle) sont beaucoup plus actifs que l'uranium lui-même. Ce fait est très remarquable et porte à croire que ces mineraux peuvent contenir par la procéde de Debray avec de produits purs; cette chalcolite artificielle n'est pas plus active qu'un autre sel d'uranium.

Absorption – Les effets produits par les substances actives augmentent avec l'épesseur de la couche employée. Cette augmentation est trés faible pour les composés de l'uranium; elle est considérable pour l'oxyde de thorium qui semble ainsi partiellement transparent pour les rayons qu'il émet.

Pour étudier la transparence des diverses substances, on les place en plaque mince par dessus la couche active. L'absorption est toujours trés forte. Cependent les rayons traversent les métaux, le verre, l'ébonite, le papier sous faible épaisseur. On voit que le composés d'un même métal émettent des rayons également absorbés. Les rayons émis par le thorium sont plus pénétrants que ceux émis par l'uranium; enfin, l'oxyde de thorium en couche épaisse émet des rayons beaucoup plus pénétrants que ceux qu'il émet en couche mince.

Impression photographiques – J'ai obtenu de bonnes impressions photographiques avec l'uranium, l'oxyde uraneux, la pechblende, la chalcolite, l'oxyde de thorium. Ces corps agissaient à petite distance, soit a travers l'air, soit a travers le verre, soit a travers l'aluminium. Le sulfate de thorium donne des impressions plus faibles et le fluoxytantalate de potassium des impressions très faibles. Analogie avec les rayons secondaires des rayons de Röntgen – Les propriétès des rayons émis par l'uranium et le thorium sont trés analogues à celles des rayons secondaires des rayons de Röntgen.

Étudiés récemment par M. Sagnac. J'ai constaté d'ailleurs que, sous l'action des rayons de Röntgen, l'uranium, la pechbende et l'oxyde de thorium émettent des rayons secondaires qui, au point de vue de la décharge des corps électrisés, font généralement plus d'effet que les rayons secondaires du plomb. Parmi les métaux étudiés par M. Signac, l'uranium et le thorium viendraient se placer à côté et au delà du plomb.

Pour interpréter le rayonnement spontané de l'uranium et du thorium on pourrait imaginer que tout l'espace est constamment traversé par des rayons analogues aux rayons de Röntgen mais beaucoup plus pénétrants et ne pouvant être absorbés que par certains éléments à gros poids atomique, tels que l'uranium et le thorium. (CURIE, 1998, p. 1101).

Assim, Marie Curie encontrou-se diante de dois resultados surpreendentes: o tório era mais ativo do que o urânio; e a pechblenda[20] era mais ativa do que os dois. Ora, a pechblenda, que àquela época provinha das

[20] A pechblenda, que àquela época provinha das minas de Joachimstal (República Checa), é o mineral base do urânio.

minas de Joachimstal (República Checa), é o mineral base do urânio. Os "raios" de Becquerel não eram, portanto, uma propriedade do urânio, mas sim a manifestação de um fenômeno geral.

Além disso, foram fundamentais para o desenvolvimento futuro as observações de Marie Curie de que a pechblenda devia ser mais ativa do que o urânio, porque conteria um elemento muito mais ativo do que o próprio urânio, e que a atividade medida dos vários compostos de urânio era proporcional à massa de urânio que continham.

Como é comum nesse meio, outros pesquisadores tinham mencionado as descobertas sobre as quais se tinha falado no dia 12 de abril, na Reunião da Academia de Ciências. Gerhard K. Schmidt havia feito uma dissertação sobre a atividade do tório na Deutsche Physikalische Gesellschaft, no dia 24 de março, portanto, antes daquela fatídica reunião. Porém, ele se fixou apenas na atividade do tório e não mediu a atividade de vários compostos e substâncias químicas. Por seu turno, E. Villari tinha utilizado a pechblenda para medir a atividade do urânio. Porém, ele não possuía um equipamento adequado para medir os diferentes graus de atividade. De qualquer modo, o trabalho de Marie Curie distinguia-se pela precisão e pela sistemática das medidas, e também pelo fato de que estava destinado a produzir profundos resultados futuros.

No mesmo dia em que foi lido o relatório de Marie Curie na Academia[21], os Curie voltaram a trabalhar. Reduziram a pó uma certa quantidade de

---

[21] J'ai étudié la conductibilité de l'air sous l'influence des rayons de l'uranium, découverts par M. Becquerel, et j'ai cherché si des corps autres que les composés de l'uranium étaient susceptibles de rendre l'air conducteur de l'électricité. J'ai employé pour cette étude un condensateur à plateaux; l'un des plateaux était recouvert d'une couche uniforme d'uranium ou d'une autre substance finement pulvérisée. (Diamètre des plateaux, 8 cm; distance, 3 cm.) On établissait entre les plateaux une différence de potentiel de 100 volts. Le courant qui traversait le condensateur était mesuré en valeur absolue au moyen d'un électromètre et d'un quartz piézoélectrique.

"J'ai examiné un grand nombre de métaux, sels, oxydes et minéraux (2). Le Tableau ci-après donne, pour chaque substance, l'intensité du courant i en ampères (ordre de grandeur, 10-11). Les substances que j'ai étudiées et qui ne figurent pas dans le Tableau sont au moins 100 fois moins actives que l'uranium.

pechblenda, para tentar isolar aquele misterioso elemento, que emitia mais radiação do que o urânio e o tório. Sua técnica era a de misturar o pó com vários reagentes químicos e medir continuamente a atividade. Continuavam a trabalhar com os mais ativos. Depois de duas semanas, acreditaram ter obtido um produto suficientemente puro e em quantidade suficiente para poder ser analisado, observando as linhas espectrais características.

Na verdade, não obtiveram nenhum resultado, talvez porque o produto obtido não fosse suficientemente puro. Procedimentos de destilação e o uso do calor combinado com um tratamento químico deram, enfim, melhores resultados, graças, também, à ajuda de um químico, Gustave Bémont. Desse modo, obtiveram finalmente um produto pelo menos umas 300 vezes mais ativo do que o urânio. Porém, ainda desta vez, as análises espectroscópicas não revelariam nenhum novo elemento.

Finalmente, no começo de julho de 1898, estavam seguros de ter individualizado o novo elemento, que chamaram "polônio" em homenagem ao país de origem de Marie Curie, o qual era estreitamente associado ao bismuto. Isto é, o bismuto hospedava estreitamente um elemento desconhecido que, todavia, não conseguiram identificar com base na espectroscopia. No dia 18 de julho, Henri Becquerel apresentou os re-

---

	Ampères
Uranium légèrement carburé	$24x10^{-12}$
Oxyde noir d'uranium U2O5	27"
Oxyde vert d'uranium U3O8	18"
Uranates d'ammonium, de potassium, de sodium, environ	12"
Acide uranique hydraté	6"
Azotate d'uranyle, sulfate uraneux, sulfate d'uranyle et de potassium, environ	7"
Chalcolite artificielle (phosphate de cuivre et d'uranyle)	9"
Oxyde de thorium en couche de 0 mm, 25 d'épaisseur	22"
Oxyde de thorium en couche de 6 mm d'épaisseur	53"
Sulfate de thorium	8"

Ce travail a été fait à l'École Municipale de Physique et de Chimie Industrielles. (CURIE, 1998, p. 1101).

sultados dos Curie no Institut de France. O título da apresentação era *Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende*[22], (CURIE et al., 1898), cujos pontos cruciais são os seguintes:

> [...] é muito provável que, se certos minerais são mais ativos do que o urânio e o tório, devem conter uma substância mais ativa do que esses metais e [...] a parte ativa fica com o bismuto e [...] obtivemos uma substância 400 vezes mais ativa do que o urânio, sem comparação com os elementos químicos conhecidos. Cremos que a substância extraída por nós da pechblenda contenha um novo metal até agora desconhecido, análogo ao bismuto em relação às propriedades analíticas. Se confirmada a existência desse metal, propomos chamá-lo polônio, o nome do país natal de um de nós. (CURIE, P., 1998, p. 1215).

Convém assinalar que, pela primeira vez, foi usado o termo radioativo, o qual, depois, se tornará de uso comum na comunidade científica.

Nos 3 meses seguintes, os Curie suspenderam as pesquisas, um pouco por causa do período de férias e um pouco porque estavam à espera de maior quantidade de pechblenda, com a qual pudessem trabalhar.

Nas suas pesquisas anteriores, haviam encontrado dois possíveis elementos radioativos: o primeiro, ligado ao bismuto, era aquele com o qual continuaram a trabalhar; o segundo, ligado ao bário, mostrava também uma atividade muito elevada. No início de novembro chegou a pechblenda, e o casal Curie retomou, com grande entusiasmo, as pesquisas interrompidas, concentrando-se, desta vez, na substância radioativa ligada ao bário.

Com a ajuda de Gustave Bémont, conseguiram separar uma substância cerca de mil vezes mais ativa que o urânio. Enviaram essa substância ao espectroscopista Eugène Demarçay e, finalmente, obteve-se um resultado positivo: uma linha que não poderia ser atribuída a nenhum elemento até então conhecido. Um pouco antes do Natal de 1898, Pierre Curie escreveu no caderno do laboratório: *radium*.

---

[22] Sobre uma nova substância radioativa contida na pechblenda.

Para concluir as medidas experimentais, o elemento deveria ser incluído na Tabela Periódica e ser determinado seu peso atômico. Isso não foi possível por haver uma exígua quantidade do elemento e os Curie não insistiram nessa tentativa. No fim de 1898, o casal Curie enviou uma dissertação à Académie de Sciences, que foi lida no dia 26 de dezembro do mesmo ano. Chamava-se *Sur une nouvelle substance fortement radio-active, contenue dans la pechblende*[23] (CURIE et al., 1998) e era assinada pelo casal Curie e por Bémont.

Os pontos fundamentais desse novo trabalho eram, portanto: "a) uma segunda substância fortemente radioativa e completamente diversa da primeira (polônio); b) quimicamente semelhante ao bário; e c) a radioatividade do rádio deve ser enorme" (CURIE et al., 1998, p. 216).

O trabalho continha uma nota de Demarçay: "[...] a linha espectral emitida, a 3.814,8, não parece poder ser atribuída a nenhum elemento conhecido [...]" (CURIE et al., 1998, p. 216). E confirma a existência de um novo elemento no cloreto de bário de Monsieur e Madame Curie.

No ano seguinte, 1899, as coisas mudaram na casa dos Curie. Maria, ciente de que, para convencer os céticos, deveria isolar uma pequena quantidade do elemento radioativo (rádio), dedicou-se à surpreendente tarefa de procurar extrair o rádio, partindo de uma enorme quantidade de pechblenda. Por seu turno, Pierre preferiu dedicar-se ao estudo e às propriedades da radiação emitida pelas substâncias radioativas. Certa vez, Pierre confidenciou a um amigo que jamais teria se sujeitado à tarefa de isolar o rádio.

Marie Curie dedicou-se à ingrata tarefa de utilizar uma grande quantidade de pechblenda. A pechblenda de Joachimstal era utilizada para extrair urânio, e as sobras, completamente desprovidas de valor, eram acumuladas no local. Eram exatamente as sobras que interessavam a

---

[23] A respeito de uma nova substância fortemente radioativa contida na pechblenda.

Marie Curie, que conseguiu, assim, obter 10 t do produto, devendo encarregar-se apenas das depesas do transporte. Na primavera de 1899, ela possuía essas 10 t de sobras de pechblenda acumuladas do lado de fora do seu laboratório. E, assim, começou o duro trabalho de transportar 10 kg por vez de pechblenda para o laboratório e de tratá-la.

Ela percebeu imediatamente que era muito mais simples trabalhar com o bário do que com o bismuto. Os procedimentos para a separação eram demorados e complexos e foram necessárias toda a constância e a energia de Marie Curie para se chegar a uma conclusão. Finalmente, em julho de 1902, ela anunciou ter isolado 1 dg de rádio. O artigo que publicou naquela ocasião, na *Comptes Rendus* (CURIE, 1902), informava que o peso atômico do novo elemento era muito superior a 174.

Só muito mais tarde se chegará ao valor 225 (hoje, o valor aceito é 226) e se concluirá que, "[...] pelo seu peso atômico, ele deveria ser colocado, na Tabela de Mendeleev, depois do bário, na série dos metais alcalino-terrosos" (CURIE, 1910, p. 89) Conseguir, sozinha, isolar o rádio foi um grande façanha para Marie Curie.

Enquanto Marie Curie dedicava-se à separação do rádio, Pierre Curie prosseguia com o estudo das propriedades físicas dos misteriosos raios. Seus trabalhos levam, em parte, a assinatura da mulher que, de alguma forma, deve ter contribuído para eles.

Um primeiro trabalho contempla o importante fenômeno da radioatividade induzida, sobre o qual o casal apresentou uma dissertação na Académie des Sciences (CURIE, M.; CURIE, P., 1899). As principais observações experimentais sobre o mencionado fenômeno foram as seguintes:

> [...] constatamos que a radiação emitida por preparados fortemente radioativos obtidos por nós (polônio e rádio), agindo sobre materiais inativos, podem comunicar a eles a radioatividade e essa radioatividade persiste no tempo;
>
> [...] a radioatividade aumenta inicialmente com o tempo de exposição, até chegar a um limite de saturação;

> [...] a radioatividade induzida (depois de ter sido retirado o preparado radioativo) diminui ao longo do tempo, segundo uma lei assintótica;
>
> [...] este fenômeno é bem diverso daquele que se observa com os raios Röntgen, nos quais a radiação secundária cessa bruscamente com a interrupção da radiação primária. (CURIE, M.; CURIE, P., 1899, p. 714).

No final de 1899, Pierre Curie trabalhou com a ação de um campo magnético sobre a radiação emitida pelos corpos radioativos e, para estudar esse desvio, empregou um método quantitativo. Apresentou, desta vez apenas com o seu nome, uma dissertação na Académie des Sciences, com o título *Action du champ magnétique sur les rayons de Becquerel. Rayons déviés et rayons non déviés* (CURIE, P., 1900), na qual passou em revista tudo o que recentemente tinha sido feito nessa área por M. Mayer, von Schweidler e Giesel. Porém, as conclusões parecem um pouco confusas:

> [...] os raios desviáveis[24] (do polônio) são também os mais penetrantes;
>
> e [...] o polônio de M. Giesel emite radiações desviáveis por um campo magnético. É possível que o polônio recentemente preparado emita radiação desviável e que esta seja a primeira a desaparecer quando a atividade do produto diminui. (CURIE, P., 1900, p. 73).

Quase que ao mesmo tempo, Mme. Curie estudou a penetração da componente não desviável e apresentou uma dissertação à Académie des Sciences, dando continuação à do marido, com o título *Sur la pénétration des rayons de Becquerel non déviables par le champ magnétique* (CURIE, M., 1900).

Nessa dissertação, os pontos fundamentais são os seguintes:

> [...] a radiação não desviável é muito mais penetrante do que a desviável; [...] a radiação não desviável é tanto mais bem absorvida quanto maior for a espessura da matéria atravessada [...], ao contrário do que acontece com a radiação desviável. (CURIE, M., 1900, p. 177).

---

[24] Os raios desviáveis são constituídos por radiações beta; os raios não desviáveis, por raios alfa. Naquela época, os raios alfa eram considerados não desviáveis; o seu desvio requeria, de fato, campos magnéticos bastante intensos.



Pierre Curie
(☆1859–†1906)

Trata-se de considerações que atualmente são tidas ou como óbvias ou como parcialmente erradas. Todavia, deve-se levar em consideração o fato de que os diversos tipos de radiação α, β e γ não tinham sido ainda identificados como tais, e seria necessário a intervenção do gênio de um Rutherford para completar o quebra-cabeça.

O ano de 1903 foi particularmente importante para o casal Curie. Em junho, Marie apresentou sua tese à Sorbonne e se tornou doutora em ciências. Em dezembro, chegou a notícia de que o Prêmio Nobel fora concedido a Henry Becquerel e a Pierre e Marie Curie, pela descoberta, respectivamente, da radioatividade natural e de novos fenômenos radioativos.

No ano seguinte, Pierre Curie foi convidado a ocupar uma nova cátedra de física na Universidade de Paris, enquanto Marie Curie foi nomeada diretora dos laboratórios.

Porém, o destino mudou os planos do casal. Em 19 de abril de 1906, Pierre Curie morreu tragicamente, colhido por uma carruagem puxada por cavalos, enquanto atravessava a rua. Quando a notícia de sua morte foi dada a Marie, ela permaneceu imóvel e petrificada e conseguiu dominar o desespero. A filha menor, Eve, então com apenas dois anos, e que mais tarde se tornaria uma escritora, escreverá uma bela e inspirada biografia da mãe, observando, a respeito do fato: "a partir daquele momento, uma capa de solidão e de reserva caiu para sempre sobre suas costas" (CURIE, 1938).

Aqueles que a encontraram depois dessa tragédia e, em especial, depois de 1920, ano em que, além de todo o sofrimento, seus olhos começaram a ficar embaçados em razão de uma catarata, muitas vezes ficaram intimidados com a sua expressão fria, quase glacial. Marcel Guillot a descreve deste modo:

> O primeiro encontro com Mme. Curie me causou uma estranha impressão, pois o aspecto frágil dessa senhora, vestida completamente de preto, com tal

> simplicidade que mais parecia uma miserável, suscitava um sentimento de piedade; seu vulto permanecia quase impassível, e seu olhar, ausente, a ponto de passar uma impressão de total indiferença. Mas, se madame Curie tivesse a sensação de que o visitante a tivesse procurado motivado exclusivamente pela paixão científica, e que o único objetivo pelo qual desejasse entrar no laboratório fosse a pesquisa, a sua expressão se iluminava e uma extraordinária disponibilidade humana emanava daquela senhora de voz gentil que, de repente, tornava-se capaz da maior bondade. Seu jeito de cuidar de cada um de nós tinha alguma coisa de familiar e quase maternal. (GUILLOT, 1967, p. 4).

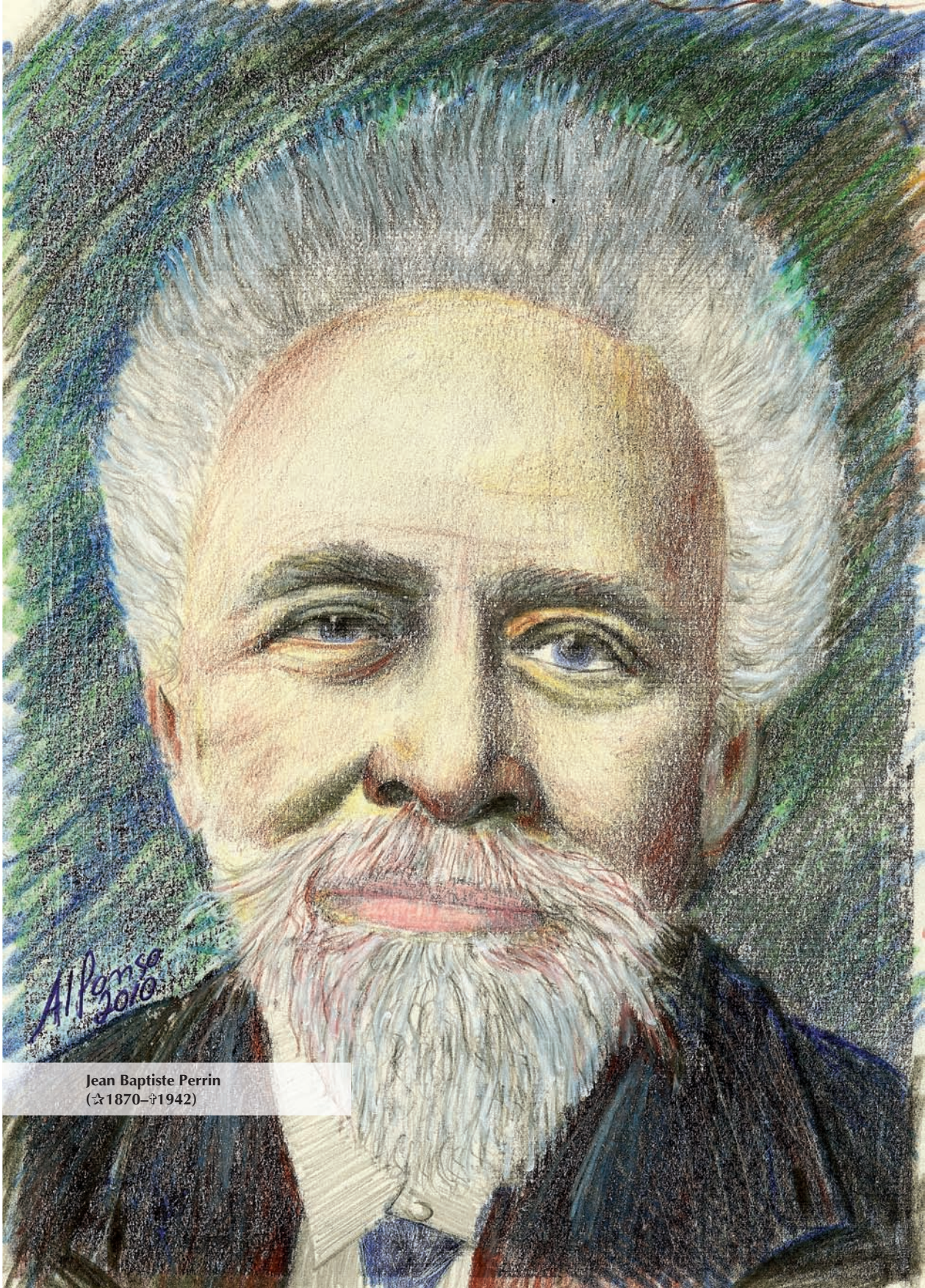
Ainda de acordo com Guillot, a atmosfera do laboratório era semelhante à de um convento. No entanto, não faltavam ocasiões informais.

> Cada vez que alguém do laboratório se formava, organizavam-se festinhas; no final da tarde, frequentemente nos encontrávamos todos para tomar chá. Às vezes, os jovens cientistas que entravam no laboratório de Mme. Curie ficavam um pouco surpresos pelo fato de ela ainda dar tanta atenção à pesquisa sobre os elementos radioativos, em vez de dedicar-se à física do núcleo que, naquele momento, surgia como a pesquisa de ponta. (GUILLOT, 1967, p. 5).

Guillot observou ainda que ela continuava a considerar a descoberta de novos radioelementos – seu principal objetivo – e, para isso, utilizava a cristalização ou a precipitação fracionada, métodos que, no início de suas pesquisas, tinham sido produtivos.

No período de 1907-1908, Mme. Curie organizou um grupo de colegas (cientistas e humanistas bastante conhecidos, como Paul Langevin, Jean Perrin e Jaques Hadamard) para uma original experiência de ensino voltada aos filhos deles, naquela época com idade entre 10 e 15 anos. Cerca de 12 meninos, dispensados do colégio, iam todos os dias assistir a uma aula dada por um professor de primeira grandeza.

Nas quintas-feiras à tarde, Mme. Curie dava um curso de física elementar. As anotações dessas aulas, transcritas por uma aluna, Isabelle Chavannes, foram recentemente encontradas. Em 2004, foram traduzidas e publicadas em italiano (CHAVANNES, 2004). Lendo-as, descobre-se uma Mme. Curie que não se imaginava: cheia de fantasia ao simplificar a física, em torná-la "palatável" para jovens de 10 a 15 anos, e

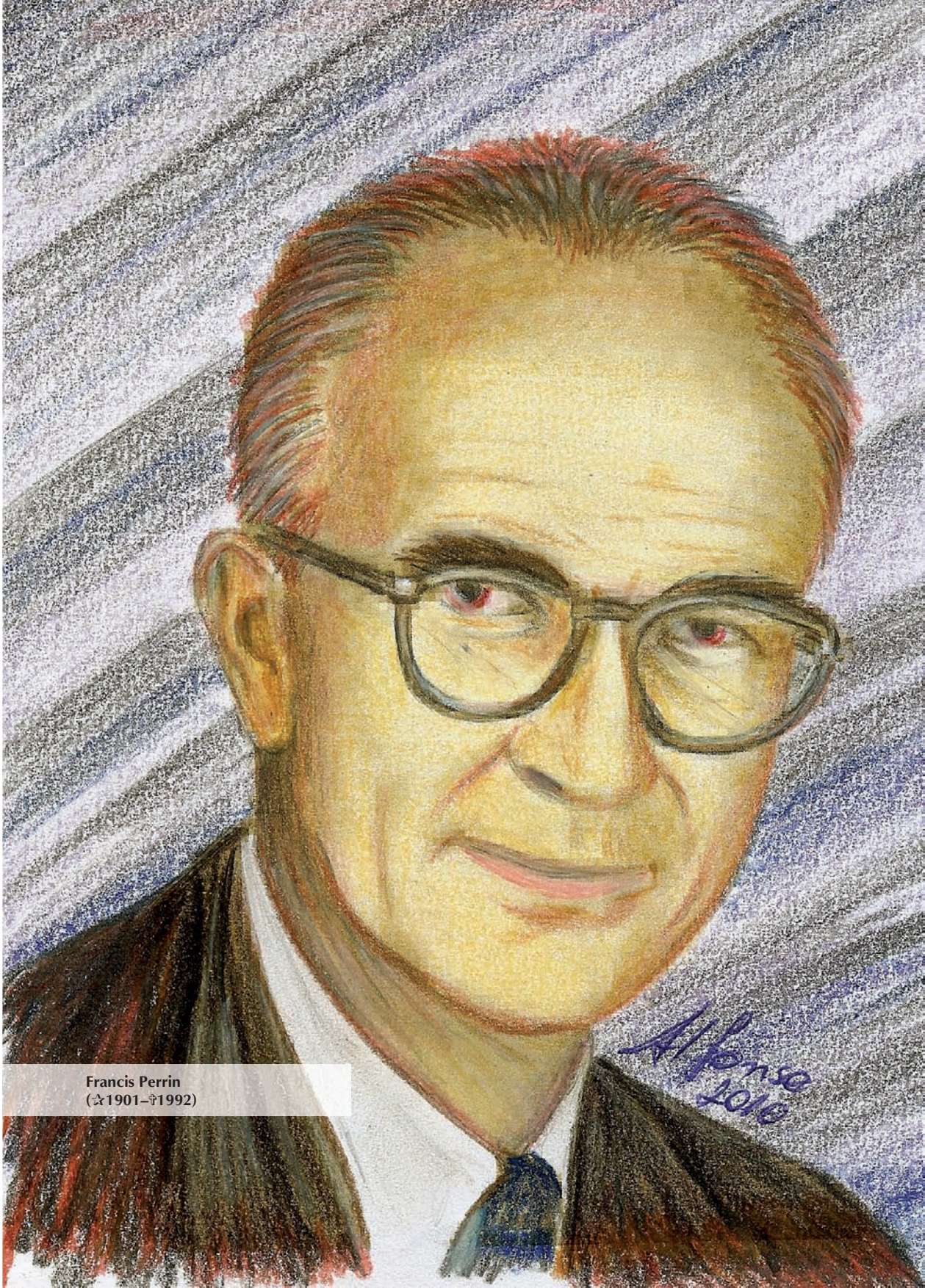


Jean Baptiste Perrin
(☆1870–✝1942)

ao exemplificá-la com experimentos elementares, mas de grande efeito. Deve-se observar que participaram das aulas de Mme. Curie, além de sua filha Irène, que conservaria uma recordação inesquecível dessas aulas, Isabelle Chavannes (que fez as anotações), Alexis e Francis Perrin (este último tornar-se-ia um ótimo físico e um valioso colaborador do genro de Mme. Curie, Frédéric Joliot), Jean e André Langevin, Pierre e Mathieu Hadamard, e outros, mas de forma esporádica.

No período de 1910 a 1912, desenvolveu-se o "affaire Langevin", que explodiu como um escândalo. Paul Langevin, ilustre físico e amigo da família, cujos filhos, entre outras coisas, haviam frequentado a "cooperativa de ensino" de Mme. Curie, debatia-se em um casamento infeliz e opressivo. Confidenciava-se com Marie Curie, já viúva, mas com apenas quarenta e poucos anos, a quem muito admirava. Da admiração passou àquela condição eufemisticamente conhecida como "terna amizade". No começo do verão de 1910, Paul Langevin alugou um apartamento, onde Marie ia visitá-lo. Porém, quando madame Langevin interceptou algumas cartas trocadas entre os dois amantes, as quais, depois, acabaram nas mãos da imprensa, aconteceu o dilúvio.

No dia 23 de novembro, um semanário especialista em escândalos dedicou-se completamente ao *affaire*, com um artigo intitulado *Os escândalos da Sorbonne*. De todos os lados, surgiam pedidos incitando Mme. Curie a retornar à Polônia; gritava-se "abaixo a estrangeira, a ladra de maridos!" Paul Langevin foi definido como "um grosseiro e um patife". Chegou-se a um duelo, por sorte sem derramamento de sangue. Vários ministros chegaram a solicitar que Marie Curie retornasse à Polônia. Porém, eminentes personalidades amigas, entre as quais os Borel, os Perrin e os Debierne, defenderam-na fervorosamente. Por fim, a ação legal interposta por madame Langevin concluiu-se com um acordo, o processo não continuou, e o episódio, como sempre acontece, deixou de interessar a leitores ávidos por fatos mórbidos.



Francis Perrin
(☆1901–✝1992)

Foi nesse período efervecente, setembro de 1911, que Marie Curie participou do Congresso Solvay, e, em novembro de 1911, lhe foi atribuído um segundo Prêmio Nobel, desta vez em Química.

Marie Curie não era uma cientista alienada e, durante a I Grande Guerra, empenhou-se muito em organizar um serviço eficiente de diagnóstico radiológico. Anteriormente, não tinha trabalhado com raios X, mas foi relativamente fácil para ela munir-se da experiência necessária. Organizou uma ambulância radiológica móvel, que ela mesma aprendeu a dirigir, e, ajudada pela filha Irène, àquela época uma jovem estudante universitária, não só radiografava diretamente os feridos como também treinou cerca de 150 técnicos. A unidade radiológica móvel pesava aproximadamente 100 kg e era alimentada por meio de um transformador que fornecia cerca de 50.000 V (CURIE, 1921; BADASH, 2003).

Retornando às atividades científicas de Mme. Curie, seu período de ouro tinha terminado, aliás, desde a I Guerra Mundial, conquanto sua pesquisa com radioisótopos tivesse sido fundamental para a descoberta dos espectros α do tório C por Rosenblum, em 1929, e para a descoberta do frâncio por Marguerite Perey, em 1939. Porém, os anos das grandes descobertas já tinham passado e, provavelmente, ressentia-se da ausência de Pierre Curie, daquele que tinha sido um físico de grande intuição e capacidade.

Finalmente, Mme. Curie conseguiu isolar e produzir o rádio, mas não deu maiores contribuições para a compreensão da radioatividade.

Na primavera de 1934, Marie Curie começou a se sentir mal, com uma leve, mas persistente febre. Em 6 de junho daquele ano, ela passou por alguns exames clínicos, mas os resultados não foram conclusivos. Finalmente, decidiu-se pela sua internação em um sanatório da Alta Savoia. Os médicos perceberam que a causa do seu mal-estar não era a tuberculose, mas alguma coisa que levava à rápida diminuição do número de glóbulos vermelhos e brancos. A doença foi definida como anemia

perniciosa aplásica com rápido decurso febril. A medula óssea não reagiu, provavelmente porque estava alterada por um acúmulo prolongado de radiação. Ao amanhecer o dia 4 de julho de 1934, Mme. Curie faleceu. Ela, que durante toda a vida havia se vestido de preto, foi sepultada vestida de branco. Foi enterrada na sexta-feira, 6 de julho, no cemitério de Sceaux, ao lado do marido, Pierre. Sobre seu caixão, o irmão Józef e a irmã Bronia, vindos de Varsóvia, espalharam um punhado de terra polonesa.

Em 1995, durante a presidência de F. Miterrand, os restos mortais de Marie e Pierre Curie, em uma cerimônia solene, foram trasladados para o Pantheon. Nesse local, já se encontravam, desde 1948, os restos mortais de Paul Langevin e de Jean Perrin.

Referências

BADASH, L. Marie Curie: In the laboratory and on the battlefield. **Physcs Today**, Melville, v. 56, n. 7, p. 37-43, 2003.

CURIE, E. **Mme. Curie**. Milano: Mondadori, 1938.

CURIE, M. S. **La Radiologie et la guerre**. Paris: Alcan, 1921.

CURIE, M. S. Rayons émis par les composés del'uranium et du thorium. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 126, p. 1101, 1898.

CURIE, M. S. Sur la pénétration des rayons de Becquerel non déviables par le champ magnétique. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 130, p. 177, 1900.

CURIE, M. S. Sur le poids atomique du radium. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 135, p. 161-163, 1902.

CURIE, M. S. **Traité de Radioactivité**. Paris: Gauthier-Villars, 1910.

CURIE, M. S.; CURIE, P. Sur la radioactivité provoquée par les rayons de Becquerel. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 129, p. 714, 1899.

CURIE, P. Action du champ magnétique sur les rayons de Becquerel. Rayons déviés et rayons non déviés. **Comptes rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 130, p. 73–76, 1900.

CURIE, P.; CURIE, M. S.; BÉMONT, G. Sur une substance nouvelle radio-active: contenue dans la pechblende. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 127, p. 1215-1217, 1898. Présentée par M. Becquerel.

CHAVANNES. I. **Lezioni di Marie Curie**: la fisica elementare per tutti. Traduttore E. Ioli. Bari: Dedalo, 2004. 127 p. il.

GUILLOT, M. Marie Curie-Sklodowska: 1867-1934. **Nuclear Physics A**, Amsterdam, v. 103, n. 1, p. 1-8, 1967.

Literatura recomendada

QUINN, S. **Marie Curie**. Torino: Bollati Boringhieri, 1995.

RADVANY, P. **I Curie**. Milano: Le Scienze, 2002.

Capítulo 6

JAMES CHADWICK E A DESCOBERTA DO NÊUTRON

No início dos anos 1930, o conhecimento sobre átomo era ainda o modelo de Bohr-Rutherford-Sommerfeld, isto é, aquele que derivava das medidas experimentais de Ernest Rutherford, Lord Rutherford of Nelson, e das intuições teóricas de Niels Bohr e de Arnold Sommerfeld.

Quase no final do século 19, tinha sido descoberto o elétron, portador da carga elétrica elementar (e =1,6 x 10^{-19} C) e de uma massa extremamente pequena (m = 9 x 10^{-28} g) (ver capítulo 4).

Depois, ocorreram as medidas precisas de Rutherford, completadas em 1911, quando ele tinha "disparado" partículas α contra folhas de ouro. A maior parte das partículas α seguia em linha reta, mas algumas eram desviadas, surpreendentemente, para trás. Rutherford calculou que esses raros desvios eram devidos à repulsão coulombiana entre as partículas α (carregadas positivamente: He^{+2}) e o núcleo positivo do átomo de ouro (carregado positivamente: Au^{+79}).

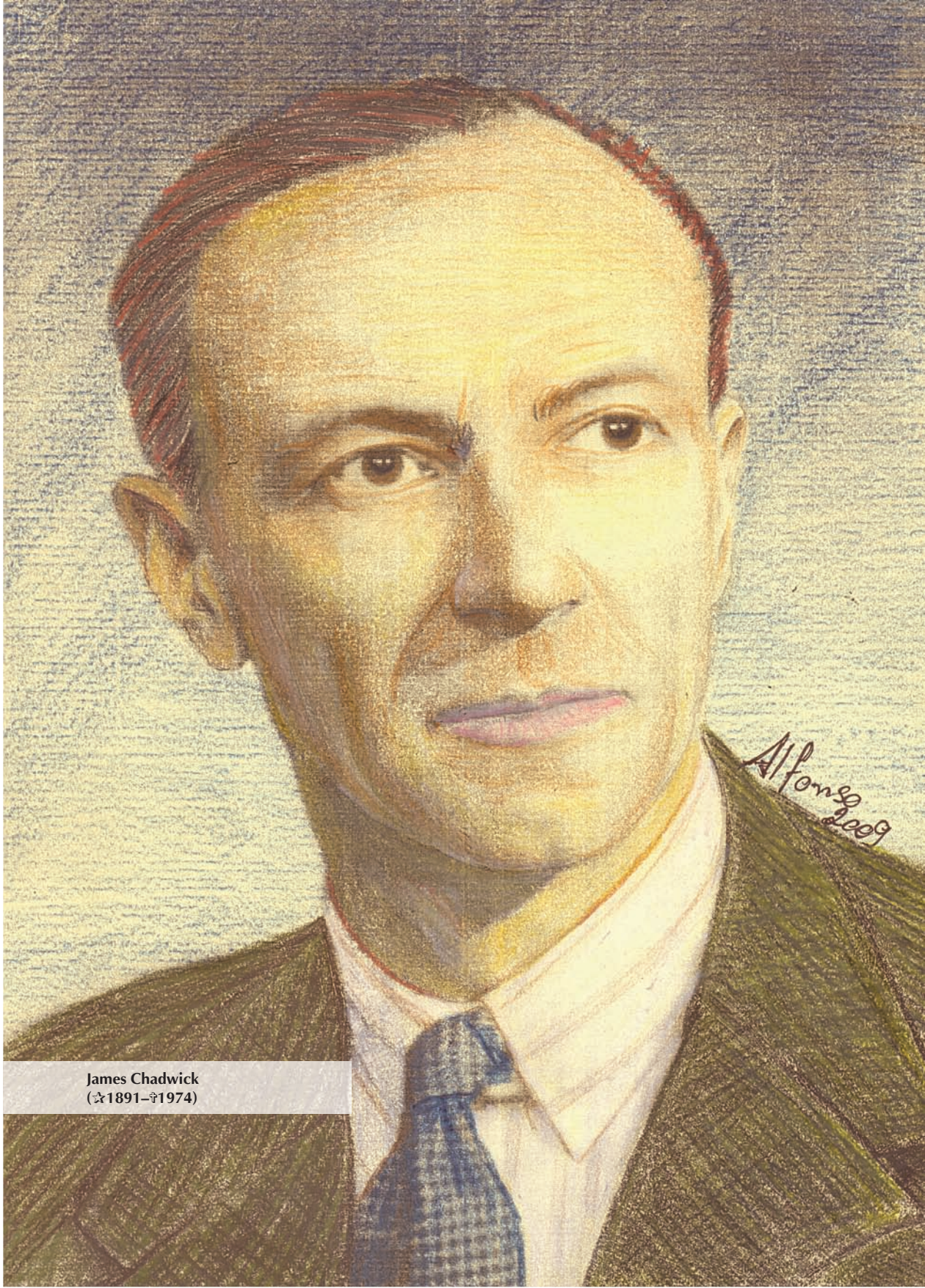
Consequentemente, Rutherford propôs um modelo atômico com um núcleo carregado positivamente, contendo só prótons e elétrons, que se moviam ao redor do núcleo. Esse modelo foi depois aperfeiçoado teoricamente, em 1913, por Niels Bohr, que desenvolvia o modelo plane-

tário, estabelecendo ainda que as órbitas dos elétrons não poderiam ser aleatórias, mas deveriam ser quantificadas, utilizando-se a constante h de Planck. O modelo de Bohr-Rutherford, posteriormente desenvolvido por Sommerfeld, deu "trabalho" aos físicos por quase 20 anos, levando a uma sistematização das órbitas eletrônicas, às emissões dos raios X e ao princípio da exclusão de Pauli.

Havia, porém, uma grande incongruência: a massa do núcleo dos átomos era praticamente o dobro (senão mais que o dobro) da massa total dos prótons que o constituíam. Uma explicação bastante aceita era a de que haveria no núcleo prótons e elétrons em igual número, de modo que a carga não variasse, mas a massa dobrasse. Aproximadamente em 1920, Rutherford ofereceu outra explicação: no núcleo haveria também uma partícula neutra, constituída pela agregação de um próton e de um elétron (RUTHERFORD, 1920). Porém, não havia nenhuma evidência experimental sobre isso, pelo menos até o início dos anos 1930, quando, então, tal conhecimento evoluiu rapidamente.

No final de 1930, Walther Bothe e seu assistente Herbert Becker irradiaram elementos leves com os raios α do polônio, iniciando com o berílio. Obtiveram uma radiação muito mais penetrante do que os mais penetrantes raios gama, que interpretaram como raios γ (BOTHE, 1930). Enquanto, sobre Becker, não se teve mais notícias, Walther Bothe se destacava como físico experimental, tendo, em 1954, recebido o Prêmio Nobel de Física.

Walther Bothe nasceu em 8 de janeiro de 1891, em Oranienburg, próximo a Berlim. Estudou física com Max Planck e obteve seu doutorado pouco antes da I Guerra Mundial. Foi, então, trabalhar no Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTB), uma espécie de escritório de regulamentação, em Berlim. Durante a guerra, foi feito prisioneiro dos russos e passou vários anos na Sibéria. Quando voltou da guerra, retornou ao PTB e deu início a uma longa colaboração com Hans Geiger. Com



James Chadwick
(☆1891–✞1974)

Geiger, descobriu, em 1924, o método das coincidências através de *arrays* de reveladores Geiger, e o aplicou especialmente ao efeito Compton. Deu também notáveis contribuições aos estudos dos raios cósmicos, da radiação ultravioleta e da emissão de fotoelétrons.

Em 1927, Bothe tinha começado a irradiar elementos leves com partículas α, para estudar seus efeitos.

Em 1930, Bothe foi convidado a assumir o cargo de diretor do Instituto de Física da Universidade de Giessen e, logo depois, no final de 1930, fez uma nova descoberta, trabalhando com seu assistente Herbert Becker. Descobriu que, irradiando o berílio com partículas α do Po-210, era emitida uma radiação extremamente energética, muito mais do que os mais energéticos raios γ conhecidos. Bothe interpretou como uma nova forma de radiação γ, embora não estivesse totalmente convencido dessa sua interpretação.

No final de 1931, o experimento de Bothe e Becker foi retomado, em Paris, por Irène Curie e Frédéric Joliot, que tinham preparado uma fonte de raios α de Po-210 muito mais intensa do que a de Bothe.

Frédéric e Irène não estavam convencidos da interpretação de Bothe e, por isso, usaram uma intensa fonte preparada por eles mesmos (cerca de 200 mCi) para replicar o experimento. Colocaram a fonte α diante de uma pastilha de elemento leve, e tudo isso sobre uma câmara de ionização (que indica a radiação produzida), colocada, por sua vez, sobre um eletrômetro sensível. Um forte campo magnético desviava, por ionização, os elétrons produzidos pelas partículas α, de modo que estes não interferissem. Frédéric e Irène observaram os "raios de Bothe e Becker" e mediram sua penetração, que resultou ser ainda maior do que aquela determinada pelos dois físicos alemães. Depois, os dois colocaram um bloco de parafina diante do berílio e observaram prótons de alta energia sendo expulsos da parafina.

Os resultados foram publicados em 18 de janeiro de 1932, nos *Comptes Rendus* de l'Académie de Sciences (CURIE; JULIOT, 1932a, 1932b, 1932c). Quando leu o artigo dos Joliot-Curie, parece que Majorana teria dito: "Que idiotas! Descobriram o próton neutro e não perceberam!"(SEGRÉ, 1976)[25]. Majorana era muito duro, inclusive consigo mesmo.

Quando Chadwick leu para Lord Rutherford o artigo do casal Joliot-Curie, este deu um pulo em sua cadeira: "Não acredito, não é possível!" Rutherford muitas vezes tinha mencionado a possibilidade da presença de uma partícula neutra no núcleo, com massa quase igual à do próton, e Chadwick, seu braço direito, comungava a mesma opinião. Nenhum dos dois acreditava que a explicação de Bothe e Becker e a do casal Joliot-Curie fossem verdadeiras e, assim, Chadwick começou a repetir as medidas de irradiação de elementos leves com partículas α.

James Chadwick é um personagem muito interessante e, depois, terá um papel importante no Projeto Manhattan, para a construção da bomba atômica.

James Chadwick nasceu em Cheshire, Inglaterra, em outubro de 1891. Entrou para a Universidade de Manchester em 1908, onde completou seus estudos de física, em 1911. Passou os dois anos seguintes com Rutherford e obteve o master em ciências, em 1913. No mesmo ano, transferiu-se para Berlim para trabalhar com Hans Geiger. Explodiu a I Guerra Mundial enquanto Chadwick se encontrava em Berlim e, então, por ser inglês, ficou preso por 4 anos. Conseguiu construir um pequeno laboratório durante o período em que ficou na prisão. Quando retornou, em 1918, retomou sua colaboração com Rutherford no Cavendish Laboratory de Cambridge. Ali, começou a trabalhar com a transmutação de elementos leves após bombardeamento com partículas alfa e,

---

[25] No entanto, em <www.cerncourier.com/main/article/44/6/21>, a autoria da frase é atribuída a G. C. Wick.

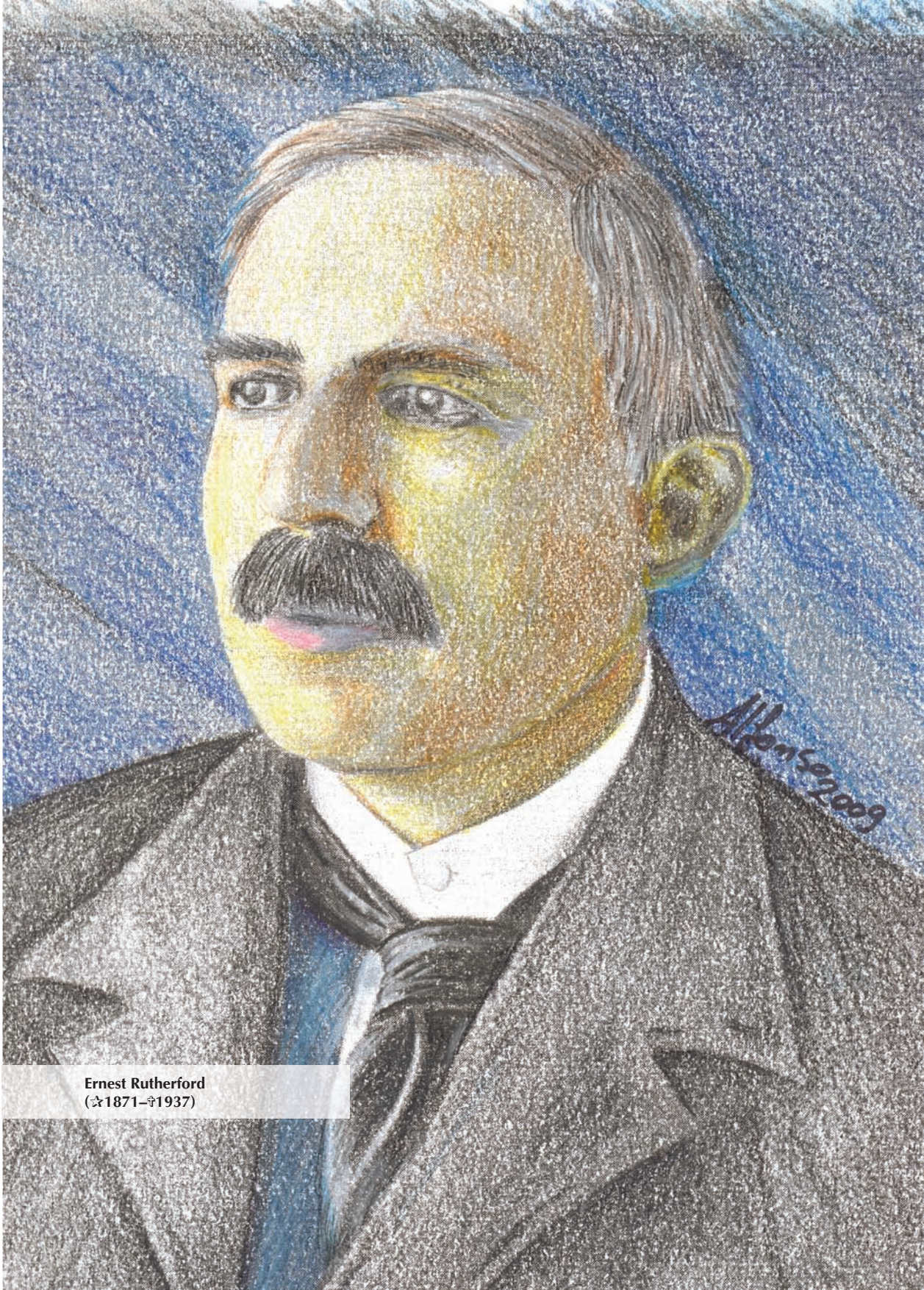
rapidamente, tornou-se o braço direito de Rutherford. Em Cambridge, Chadwick começou também a pesquisa sobre a existência do nêutron, muitas vezes, como já foi dito, postulada por Lord Rutherford. Tentou uma primeira vez em 1923 e uma segunda vez em 1928, sempre sem sucesso.

Depois que leu o artigo dos Joliot-Curie, Chadwick calculou que não poderiam ser raios γ a expelir prótons com aquela energia, porque deveriam ter uma energia de 50 milhões de eletro-volt (50 MeV). Nesse momento, Chadwick, tanto tempo empenhado em identificar os nêutrons, tinha uma forte desconfiança: os superenergéticos raios γ, vistos por Bothe e pelos Joliot, eram, na verdade, aqueles nêutrons que vinha procurando havia quase uma década. E se predispôs imediatamente a verificar.

Chadwick colocou em uma câmara de vácuo uma fonte de Po-210 e um alvo de berílio. Quando atingido pelos raios α do polônio, o berílio emitiria os misteriosos "raios de Bothe". Então, ele colocou, ao longo do percurso desses raios, um alvo de elementos leves, do qual foram emitidos átomos eletricamente carregados, e, logo depois, uma câmara de ionização. Chadwick pôde, então, medir a energia das partículas e o seu número. Depois, mudou o alvo e repetiu as medidas.

As únicas explicações possíveis para os resultados que obteve foram que os "raios de Bothe" eram, na realidade, nêutrons (CHADWICK, 1932a). Indiretamente, ele pôde também medir a massa, graças às informações extraídas das colisões. Para as medidas de massa, Chadwick bombardeou com partículas α, além do berílio, o boro e a parafina. Mediu, para a massa do nêutron, um valor semelhante a 1.0067 vezes a massa do próton (CHADWICK, 1932b).

Em 27 de fevereiro de 1932, Chadwick enviou os primeiros resultados das suas pesquisas à *Nature* e, com a sua modéstia característica, intitulou o trabalho de *A possível existência do nêutron* (CHADWICK, 1932b).



Ernest Rutherford
(☆1871–✞1937)

No Congresso Solvay de 1933, encontramos uma concentração de "velhas glórias" e de "novas glórias", e um dos argumentos que motivou a conferência tratou exatamente da descoberta do nêutron, sobre a qual Chadwick fez uma ampla dissertação. Essa foi uma descoberta fundamental, pois deu início a uma série de pesquisas, que levaram Fermi e seus colaboradores à descoberta da radioatividade induzida por nêutrons, e Hahn e Strassmann à descoberta da fissão.

Em 1935, Chadwick recebeu o Prêmio Nobel de Física e, no mesmo ano, também o casal Curie-Joliot foi agraciado com o Prêmio Nobel de Química.

Outro protagonista, embora indireto, da descoberta do nêutron, Walther Bothe, ganhou o Prêmio Nobel de Física cerca de 20 anos depois, em 1954[26], apenas 3 anos antes de sua morte. Embora antinazista, mas patriota como Heisenberg, Bothe participou, durante a guerra, do *Uranverein* (ver capítulo 10). Depois da guerra, Bothe retornou ao Instituto de Física da Universidade de Heidelberg, onde permaneceu até sua morte, no dia 2 de agosto de 1957. Nos últimos anos, ficou deficiente físico em consequência de um derrame.

Quanto a Chadwick, exatamente durante a Conferência Solvay, fez amizade com Ernest Lawrence, pioneiro na construção dos aceleradores em Berkeley (BROWN, 1996). Enviou colaboradores a Berkeley para, em seguida, fazer um cíclotron em Liverpool, para onde tinha se transferido, em 1935, para dirigir o Instituto de Física. O cíclotron de Liverpool começou a produzir o primeiro feixe de partículas em julho de 1939.

Durante a guerra, administrou a participação inglesa no Projeto Manhattan, para a construção da bomba atômica, e também passou um certo tempo em Los Alamos. Além disso, coordenou a contribuição

---

[26] For the coincidence method and his discovery made therewith.

franco-britânico-canadense nos laboratórios de Montreal. Depois da guerra, desempenhou um papel importante na criação do European Organization for Nuclear Research (Cern).

Referências

BOTHE, W.; BECKER, H. Künstliche Erregung von Kern-γ-Strahlen. **Zeitschrift für Physik**, Berlin, v. 66, n. 5/6, p. 289-306, 1930.

BROWN, A. P. Liverpool and Berkeley: the Chadwick-Lawrence letters, **Physics Today**, Melville, v. 49, n. 5, p. 34-40, 1996.

CHADWICK, J. Possible existence of a neutron. **Nature**, London, v. 129, p. 312, 1932.

CHADWICK, J. The existence of a neutron. **Proceedings of the Royal Society A**, London, v. 136, p. 692, 1932.

CURIE, I.; JOLIOT, F. Effet d'absorption de rayons γ de très haute frequence par projection de noyaux légers. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 194, p. 708, 1932.

CURIE, I.; JOLIOT, F. Emission de protons de grande vitesse par les substances hydrogénées sous l'influence des rayons γ très pénétrants. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 194, p. 273, 1932.

CURIE, I.; JOLIOT, F. Projection d'atomes par les rayons très pénétrants excités dans les noyaux légers. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 194, p. 876, 1932.

RUTHERFORD, E. Nuclear constitution of atoms. **Proceedings of the Royal Society A**, London, v. 97, p. 374, 1920.

SEGRÉ, E. **Personaggi e scoperte nella fisica contemporânea**. Milano: Mondadori, 1976. p. 180.

Capítulo 7

FRÉDÉRIC JOLIOT E IRÈNE CURIE A DESCOBERTA DA RADIOATIVIDADE ARTIFICIAL

Irène Curie nasceu em Paris, no dia 12 de setembro de 1897, poucas semanas antes que sua mãe, Marie Sklodowska, apresentasse sua tese de formatura sobre os raios de Becquerel. No bulevar Kellermann, onde morava, costumava brincar no jardim, com Aline e Francis, filhos de Jean Perrin, colega dos pais de Irène e Prêmio Nobel de Física em 1926. Um pouco mais tarde, tornou-se muito amiga de Isabelle Chavannes, cujo pai era professor de chinês no Collège de France. Quando seu pai morreu, súbita e dramaticamente, Irène tinha 9 anos e sua irmãzinha, Eve, somente 3. Irène, de certo modo, substituiu o pai pelo avô paterno, Eugène. Muitos anos depois, Eve Curie (1938) assim escreveria, falando sobre o avô Eugène:

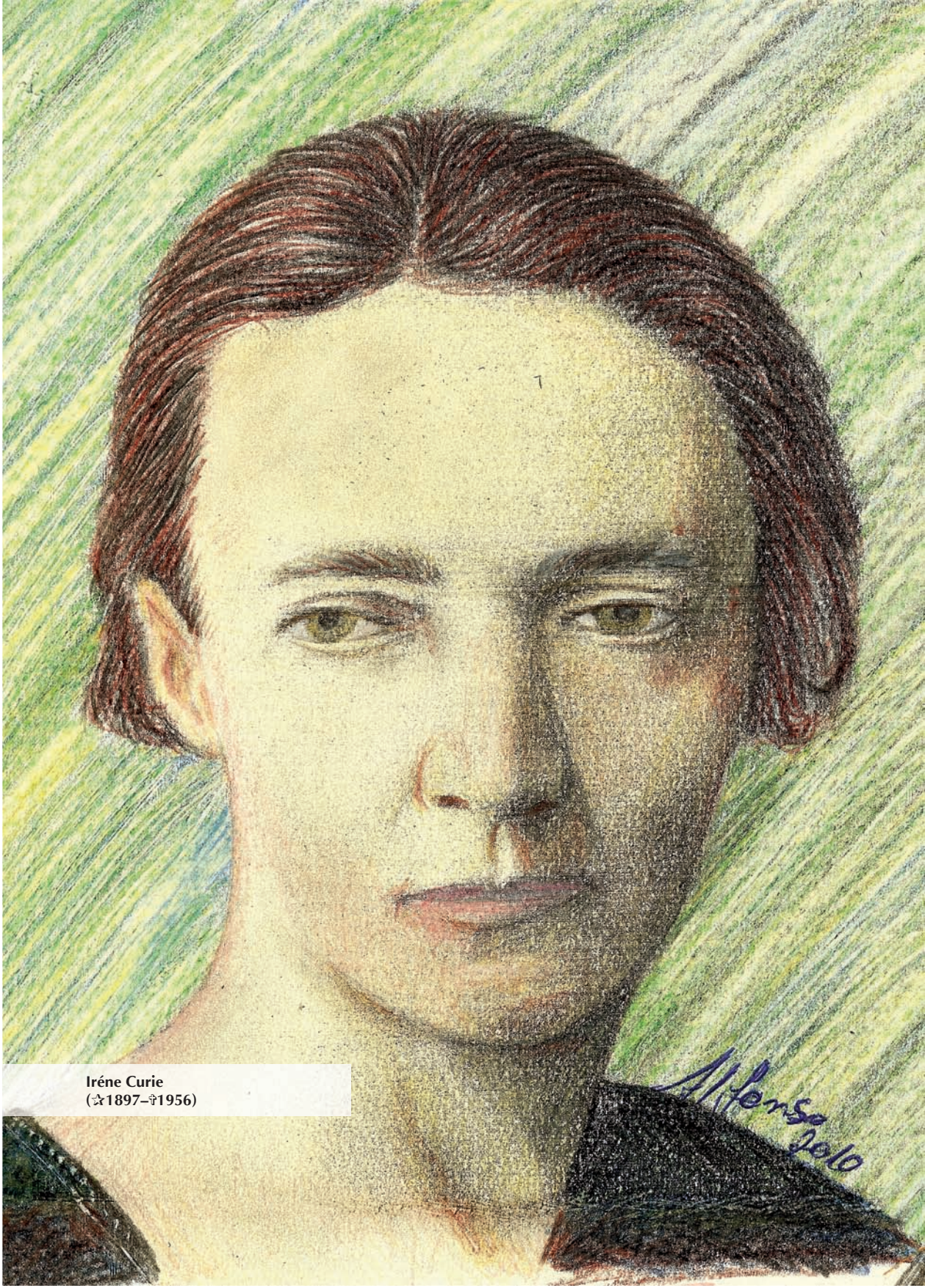
> É o amigo insubstituível da mais velha (Irène), dessa garota lenta e um pouco selvagem, tão profundamente semelhante ao filho que ele perdeu. Ele não se contenta em iniciar Irène na história natural e na botânica, em contagiá-la com seu entusiasmo por Victor Hugo, em lhe escrever, durante o verão, cartas divertidas e assinadas em conjunto, onde manifesta seu espírito arguto; ele orientará, de modo decisivo, a vida intelectual de Irène. O equilíbrio moral, o horror à melancolia, a ligação implacável com o real, seu anticlericalismo, tudo isso deriva em linha direta do seu avô. (CURIE, 1938, p. 20).

De 1907 a 1909, Irène acompanhou com grande atenção e diligência os cursos da Cooperativa de Ensino organizada pela sua mãe e, obviamente, os cursos de física aos quais já nos referimos (CHAVANNES, 2004). Esses cursos deixaram nela uma marca importante, tanto que em todas as ocasiões a eles se referirá como uma experiência única. Mais tarde, entrou para o Colégio Sévigné. Mais uma vez narra sua irmã Eve:

> Irène era estouvada, lenta e inconstante, e não se comparava às melhores alunas. Era muito melhor: as matérias de estudo fixavam-se de maneira indelével no seu cérebro bem organizado e, os dias de exame, que até nossa mãe tinha vivido com ansiedade e com os nervos em frangalhos, eram para ela dias iguais aos outros. Ia calmamente, retornava segura e aguardava sem grande emoção um resultado que já sabia ter conquistado. (CURIE, 1938, p. 20).

Quando Irène tinha 14 anos, explodiu o escândalo Langevin. Trata-se de uma ligação amorosa entre sua mãe, viúva havia 4 anos, mas com apenas quarenta e poucos anos, e seu colega físico Paul Langevin, que estava com relações cortadas com a mulher, opressiva, e com a família dela. Desse episódio e do escândalo que surgiu em Paris em 1911, já nos referimos no capítulo 5, dedicado a Pierre e Marie Curie. Irène, que era muito ligada à mãe, ficou profundamente perturbada. Na realidade, foi a I Guerra Mundial que cortou definitivamente a ligação entre sua mãe e Langevin. De fato, quando, em agosto de 1914, explodiu a I Guerra Mundial, Marie Curie concebeu a ideia de equipar uma viatura radiológica para radiografar os feridos. Irène estava com 17 anos e, não suportando a ideia de ficar inativa, juntou-se à mãe em outubro, assumindo as tarefas mais pesadas. Em seguida, dada a grande necessidade de pessoal, tornou-se independente. Vejamos o que ela mesma escreveu sobre esse período:

> Minha mãe não me achava menos capaz do que ela e, assim, não hesitou em deixar-me sozinha, aos 18 anos, com a responsabilidade de instalar um serviço de radiologia em um hospital franco-belga, próximo a Ypres. Em outubro de 1916, parti sozinha, levando os aparelhos, para instalar um serviço de raios X no hospital militar de Amiens. (CURIE, 1938, p. 20).



Iréne Curie
(☆1897–✞1956)

Como se pode ver por estas e outras fotografias, Irène não era uma bela moça e parecia mesmo não se importar com sua aparência, vestindo-se como uma freira, assim como sua mãe.

Durante os anos em que trabalhou como radiologista no fronte, também estudou na Faculdade de Ciências da Sorbonne. Saiu-se muito bem nos exames, principalmente os de matemática e física, e completou seus estudos em 1920. Em 1919, tinha começado a trabalhar como voluntária, com a função de assistente de sua mãe, no Instituto do Rádio, onde vem a ser admitida em 1922. Nesses anos, também começou sua atividade experimental, enquanto preparava seu doutorado em física, que teve como tema o estudo dos raios α do polônio, elemento descoberto por sua mãe, cerca de 20 anos antes. Com esse objetivo, mediu as trajetórias dos raios α, mediu suas velocidades iniciais e determinou sua ionização, utilizando especialmente uma câmara de Wilson. Apresentou sua tese no dia 27 de março de 1925.

Foi mais ou menos nessa época que as vidas de Irène Curie e de Frédéric Joliot – que depois se tornará seu marido – se cruzaram. Frédéric Joliot era um brilhante e extrovertido jovem, que havia pouco tempo tinha se tornado o novo assistente de Mme. Curie. Em certo sentido, ele era o oposto de Irène Curie. Frédéric era um belo homem, fascinante e sedutor, que fazia muito sucesso com as mulheres. Era exuberante, cheio de imaginação e sempre muito elegante. Irène Curie, que, aparentemente, não tinha dotes físicos, deveria possuir, em compensação, notáveis dotes interiores. Assim, mesmo intensamente envolvida com o trabalho, principalmente por conta de ser a filha da chefe, seu casamento com Frédéric sempre se manteve sólido, e os dois souberam compartilhar harmonicamente tanto o trabalho quanto a vida conjugal.

Vamos, agora, saber algo mais sobre Frédéric Joliot.

Frédéric Joliot nasceu em Paris, no dia 19 de março de 1900, sendo o último dos seis filhos de uma abastada família de comerciantes de teci-

do no atacado. O irmão mais velho, Henry, morreu no início da guerra, com 25 anos, e isso marcou profundamente o jovem Frédéric. Ele tinha um bom rendimento escolar, mas também era muito sensível aos problemas sociais. Era muito interessado por ciências e, em casa, montou um laboratório de química e um receptor de telégrafo sem fio.

Durante a I Guerra, a família Joliot começou a ter dificuldades econômicas, motivando o jovem Frédéric a optar, naquele momento, por cursos de breve duração, para poder entrar rapidamente no mundo do trabalho. Em 1918, foi chamado para sevir o Exército, ingressando, assim, na Escola Lavoisier, cujo diretor era Paul Langevin. Ali, onde as atividades práticas constituíam mais da metade das demais, ele se fez notar rapidamente em razão de sua habilidades práticas. Tendo terminado brilhantemente seus estudos e com a "recomendação" de Langevin, Frédéric Joliot foi admitido por Mme. Curie como seu assistente particular. Rapidamente, Frédéric familiarizou-se com a radioatividade e com as técnicas experimentais, que, aliás, estavam em perfeita sintonia com sua natureza. Irène foi encarregada de orientá-lo e foi dessa maneira que se conheceram. Assim escreveu mais tarde Frédéric Joliot:

> […] debaixo de um aspecto frio, muitas vezes se esquecendo de dar um bom-dia, ela não me inspirava simpatia. Porém, observando-a, descobri nessa moça um ser extraordinário quanto à sensibilidade e à poesia, e que, sob muitos aspectos, era a imagem viva do que tinha sido seu pai. Eu tinha lido muitas coisas a respeito de Pierre Curie, e ouvido comentários de professores que o tinham conhecido, características que eu via, agora, reproduzidas em sua filha: a mesma clareza, o mesmo bom senso, a mesma tranquilidade. (BLACKETT, 1960, p. 87).

Os dois passaram a andar juntos, depois de terem descoberto muitas ideias e gostos em comum, em particular o prazer por passeios ao ar livre. Como diz Frédéric Joliot: "[...] tínhamos personalidades profundamente diferentes, mas que se completavam. Os bons companheiros, tanto no trabalho como na vida, não são aqueles que têm características iguais, mas sim complementares" (BLACKETT, 1960, p. 86).

Escreveu Eve: "[...] em uma manhã de 1926, a calma Irène anunciou para a sua família seu noivado com Frédéric Joliot, o mais brilhante e vulcânico entre os pesquisadores do Instituto do Rádio" (CURIE, 1938, p. 50).

Frédéric Joliot e Irène Curie casaram-se no dia 9 de outubro de 1926. Decidiram usar, a partir de então, o sobrenome Joliot-Curie. Em setembro de 1927, nasceu sua filha Hélène, e, em março de 1932, Pierre.

Os anos 1930 foram os anos de ouro para o casal Frédéric-Irène, que se completavam perfeitamente no trabalho. Frédéric tinha uma grande habilidade manual e era muito criativo. Irène era tenaz e metódica, como a mãe. Durante os anos como assistente, ou seja, de 1928 a 1932, Frédéric praticou com a câmara de Wilson, calibrando com pressão variável, enquanto Irène estudava o período de decaimento do rádio D, e, ajudada apela mãe, confrontava os valores atuais com os obtidos no passado. Depois, estudou a radiação α do rádio-tório e do rádio-actínio. A partir de então, começaram juntos a estudar os fenômenos associados à passagem de raios α do polônio através da matéria. Esse rádio-elemento apresentava a vantagem de emitir somente radiação α pura, sem contaminação com outras radiações. Nesse momento, Frédéric e Irène queriam partir de uma fonte intensa de polônio e usaram o rádio acumulado por Mme. Curie, que produziu, a seguir, polônio (então chamado de "vaca radioativa"). Como o polônio (Po^{210}) emite raios α por um período de apenas 138 dias, eles deveriam realizar os experimentos programados em um período bem rápido porque, depois de um ano, da atividade inicial restaria apenas cerca da quarta parte.

Os Joliot-Curie pretendiam repetir, com as suas intensas fontes de Po-210, os experimentos realizados em Berlim, em 1930, por Walther Bothe e Herbert Becker. Os dois últimos tinham bombardeado elementos leves como o berílio, o boro e o lítio com raios α emitidos por uma fonte de



Frédéric Joliot
(☆1900–✝1958)

Po-210 com cerca de 7 mCi. Tinham observado uma fraca radiação, mas muito penetrante, que identificaram como raios γ de energia elevada.

Frédéric e Irène não estavam convencidos dessa interpretação, motivo por que usaram a fonte mais intensa, construída (de cerca de 200 mCi) para replicar a experiência. Colocaram a fonte α diante de uma pastilha de elemento leve e tudo isso sobre uma câmara de ionização (que indica a radiação produzida), colocada, por sua vez, sobre um eletrômetro sensível. Um forte campo magnético desviava os elétrons produzidos pelas partículas α, por ionização, de modo que não interferissem. Frédéric e Irène observaram os "raios de Bothe e Becker" e mediram sua penetração, que era, aliás, ainda maior do que aquela determinada pelos dois físicos alemães. Então, interpuseram diversas substâncias entre o elemento leve e a câmara de ionização, e observaram que havia algum efeito apenas quando eram interpostos materiais hidrogenados, quando, então, a corrente de ionização aumentava consideravelmente. Interpretaram esse efeito como decorrente de núcleos de hidrogênio. Como conclusão, deduziram que a radiação penetrante era constituída de raios γ de altíssima energia, muito mais elevada do que aquela suposta por Bothe e Becker. Todavia, a dificuldade dessa interpretação decorria do fato de que, até então, jamais tinham sido observadas radiações γ com essa energia. Os resultados foram publicados no dia 18 de janeiro de 1932, nos *Comptes Rendus,* de l'Académie de Sciences (CURIE; JOLIOT, 1932a, 1932b, 1932c).

Nesse mesmo período, do outro lado do Canal da Mancha, outro físico, aluno e colaborador de Rutherford, chamado James Chadwick, trabalhava com assuntos semelhantes. Ao ler o artigo dos físicos franceses, ficou perplexo e o mostrou a Rutherford, que, não acreditando nas conclusões dos Joliot-Curie, sugeriu a Chadwick que ele repetisse o experimento. Desta vez, a replicação do experimento levou – decorrido apenas um mês desde o início da experiência – à descoberta do nêutron, partícula de carga nula e com massa aproximadamente igual à do próton. Assim,

a radiação muito penetrante de Bothe e Becker e do casal Joliot-Curie foi identificada como nêutrons, e não como raios γ[27].

Naturalmente, Frédéric e Irène ficaram desiludidos com este meio insucesso, isto é, de não terem chegado à descoberta do nêutron, mas não desencorajaram, continuando com seus experimentos. Na sua câmara de Wilson, tinham observado, além dos feixes muito penetrantes, feixes de elétrons muito energéticos, cuja origem queriam identificar. Na época, eram conhecidos dois efeitos através dos quais eram produzidos elétrons que irradiavam um material: o efeito fotoelétrico e o efeito Compton. Sugeriram, então, que, juntamente com os nêutrons, eram emitidos os raios γ e que estes produziriam, por sua vez, elétrons energéticos.

Os dois físicos franceses tinham, a seu turno, também observado, sempre com a câmara de Wilson, que as trajetórias desses elétrons de elevada energia caminhavam em direção à fonte α. Para eles, esse curioso comportamento parecia de difícil interpretação. Pouco depois, ainda em 1932, o físico americano Carl Anderson descobriu o elétron positivo (depois chamado pósitron) na radiação cósmica. Nesse momento, Frédéric Joliot e Irène Curie reinterpretaram seus resultados anteriores: os feixes de elétrons energéticos que caminhavam em direção à fonte eram feixes de pósitrons.

Em um certo sentido, Frédéric Joliot e Irène Curie subsidiaram, com um só experimento, duas grandes descobertas: a do nêutron e a do pósitron. E evidentemente eram duros na queda, porque continuaram seus experimentos, mediram a energia dos fótons de aniquilação dos pósitrons (Joliot deu o valor 0,485 ± 0,06 MeV, que muito se aproxima do valor atual, de 0,511 MeV). Finalmente, eles também chegaram a uma grande descoberta: a radioatividade artificial induzida pelas partículas α. Vejamos como alcançaram esse resultado.

---

[27] Para saber mais sobre a descoberta do nêutron e a figura de James Chadwick, Prêmio Nobel de Física em 1935, ler o capítulo 6 deste volume.

Em junho de 1933, os dois estudaram novamente a radiação pouco intensa que acompanhava os raios α do polônio. Perguntaram-se se uma pequena parte da radiação secundária não seria devida a uma emissão β, que levaria o polônio a um isótopo do elemento 85, então desconhecido. Com esse objetivo, colocaram diante da fonte de polônio uma folha de alumínio, que deveria absorver a radiação α da fonte. Tudo foi colocado diante de uma câmara de Wilson, colocada em um campo magnético, para reconhecer, pela trajetória, o sinal e a energia da partícula.

Para a surpresa de ambos, observaram numerosos feixes de elétrons positivos e também de prótons. Mas quando, no lugar do alumínio, colocava-se prata ou outros elementos e materiais, não se observava nada. Portanto, os elétrons positivos vinham do alumínio. A interpretação que F. Joliot e I. Curie deram do fenômeno foi uma reação do tipo:

$Al^{27} + \alpha \rightarrow Si^{30} + e^{+}$

Novamente, vale a pena observar, os dois físicos foram ajudados pela sorte, porque tinham se preparado para ver um fenômeno de emissão α, mas, por terem colocado uma janela de alumínio – com outro elemento não teria funcionado –, isso os fez observar a primeira reação de radioatividade induzida pelas partículas α. Porém, como já comentado, Frédéric Joliot e Irène Curie já estavam perfeitamente preparados para interpretar os fenômenos observados.

No mesmo ano, ou seja, em 1933, de 22 a 27 de setembro, aconteceu em Bruxelas, sob a presidência de Paul Langevin, o VII Congresso de Física Solvay.

Frédéric Joliot e Irène Curie fizeram uma apresentação sobre a ação penetrante dos átomos sob a ação dos raios α. A discussão que se seguiu foi animadora, mas algumas pessoas que dela participaram, como Lise Meitner, mostraram-se céticas em relação aos resultados, com base em

outras medidas realizadas. Porém, alguns meses depois, Lise Meitner, ao repetir as medidas com uma fonte α mais potente, passou a concordar com os Joliot-Curie.

Retornando de Bruxelas, Frédéric e Irène programaram seus experimentos seguintes para determinarem a origem dos pósitrons, a simultaneidade de emissão de nêutrons e pósitrons e o limiar de energia para o aparecimento dos nêutrons.

O dia da grande descoberta foi 11 de janeiro de 1934. Nesse dia, Frédéric estava sozinho no laboratório e a instrumentação estava pronta para ser colocada em funcionamento. Era constituída por uma câmara que podia ser enchida de gás e, gradualmente, esvaziada com uma bomba de vácuo. No fundo da câmara, foi colocada uma intensa fonte de polônio e, na outra extremidade da câmara, uma folha de alumínio, que era capaz de bloquear completamente os raios α; além da câmara, do lado do alumínio, foi colocado um contador Geiger, que foi ligado a um amplificador e a um contador.

Inicialmente, a câmara foi enchida com gás, depois Frédéric fez lentamente o vácuo, aumentando a intensidade e a energia dos raios α que chegavam na folha de alumínio. Apareceram os pósitrons e os nêutrons. Ele reintroduziu o gás na câmara para levar a energia dos raios α para abaixo do limiar de produção dos nêutrons; ora, conquanto não existissem mais nêutrons, Joliot observou, com grande surpresa, que o contador continuava a funcionar; a emissão de pósitrons continuava. Além disso, o número de pósitrons ia diminuindo de maneira exponencial. Nesse ponto, Frédéric simplificou o experimento. Colocou a folha de alumínio diante da fonte α, deixou-a por alguns minutos, depois afastou a fonte e colocou o alumínio diante do contador. Esse contou e registrou a diminuição exponencial dos pósitrons por um período de 3 minutos e 15 segundos. A essa altura, a conclusão era óbvia para Frédéric Joliot: os raios α do polônio deram lugar a uma reação (α,n) no alumínio,

com produção de P^{30}, um isótopo até então desconhecido; esse se transformou sucessivamente em $Si^{30} + e^{+}$. O Si^{30} decaiu pela metade, com um período de redução de aproximadamente 200 segundos. Joliot tinha descoberto a radioatividade artificial induzida por partículas α.

Nos dias seguintes, Frédéric e Irène trabalharam com a máxima intensidade: refizeram as medidas e irradiaram outros elementos para verificar se outros elementos e quais deles se ativavam quando eram irradiados com partículas α. Colocaram em evidência somente um N^{13}, obtido quando o boro era irradiado, pelo período de 14 minutos, e Al^{28}, obtido quando o magnésio era irradiado.

Em 15 de janeiro de 1934, Jean Perrin apresentou a descoberta deles, que foi publicada nos *Comptes Rendus,* de l'Académie de Sciences de 15 de janeiro. (CURIE; JOLIOT, 1934).

Quase que imediatamente, dedicaram-se à prova "química" das transmutações provocadas e conseguiram separar vários radioelementos. Marie Curie teve tempo para viver essa grande satisfação: ver o tubinho de vidro que continha o isótopo radioativo. Ela, que tinha isolado os elementos responsáveis pela radioatividade natural (rádio e polônio), via agora separados os radioisótopos artificiais, resultado do trabalho da sua filha e do seu genro.

As consequências da descoberta dos Joliot-Curie foram rápidas e impressionantes: na primavera do mesmo ano de 1934, em Roma, Enrico Fermi utilizou diretamente os nêutrons para produzir outros isótopos radioativos (ver capítulo 8); e ainda no mês de fevereiro de 1934, Cockroft e outros, em Cambridge, produziram N^{13}, bombardeando nitrogênio com feixes de prótons.

Frédéric Joliot e Irène Curie receberam o Prêmio Nobel em 1935 (mas, desta vez, o de Química – *In recognition of their synthesis of new radioactive elements –,* porque o de Física, quem o recebeu foi James Chadwick, pela descoberta do nêutron).

Nos anos seguintes, Frédéric e Irène ficaram muito ocupados tanto com o prosseguimento das pesquisas quanto envolvidos com política. Em 1934, aderiram ao Partido Socialista. Quando a frente popular venceu as eleições de 1936, Irène Curie foi chamada para fazer parte do governo como subsecretária para pesquisa científica. Aceitou o cargo com a condição de permanecer nele por apenas poucos meses. Irène foi substituída por Jean Perrin. O casal Joliot-Curie acompanhou com interesse o desenvolvimento do sistema econômico na União Soviética, mas se opuseram à prisão de cientistas acusados de espionagem, como Fritz Houtermans. Quando a URSS e a Alemanha firmaram um pacto de não agressão, lançaram um apelo de grande reprovação.

Em janeiro de 1937, Frédéric Joliot foi convidado a fazer parte da Academia de Ciências. Em 1939, terminava, com a ajuda de Ernest Lawrence, o cíclotron do Collège de France. Nesse ínterim, em 1937, Irène sucedeu Frédéric como professora na Faculdade de Ciências. No curso do mesmo ano, juntamente com Pavel Savich, retomou o problema dos transurânicos, identificados em Roma pelo grupo de Fermi, elementos que causaram grande perplexidade nos maiores laboratórios europeus (ver capítulo 8). Em especial, observaram, após a irradiação do urânio, um isótopo com uma radioatividade com duração de 3,5 horas, que "se comporta como o lantânio". Aproximaram-se da verdade (portanto, Irène Curie, pela terceira vez, estava prestes a fazer uma grande descoberta), mas não a alcançaram. Sua publicação (CURIE; SAVITCH, 1938) (*Comptes Rendus*, 30 de maio de 1938) conclui-se com o seguinte texto:

> [...] parece, pois, que esta substância não pode ser nada mais que um elemento transurânico, porém, com propriedades totalmente diferentes daquelas dos transurânicos, hipótese que traz muitas dificuldades de interpretação. (CURIE; SAVITCH, 1938, p. 906).

Como sabemos, serão Hahn e Strassmann que, no fim de 1938, chegarão à solução do problema: o urânio irradiado com nêutrons separa-se em dois fragmentos de massa quase igual (o fenômeno se chamará

"fissão", todavia, a interpretação do experimento será dada por L. Meitner e O. Frisch). Assim, o que Irène Curie e Paul Savich tinham individualizado não era um transurânio com propriedades semelhantes ao lantânio, mas, simplesmente, lantânio.

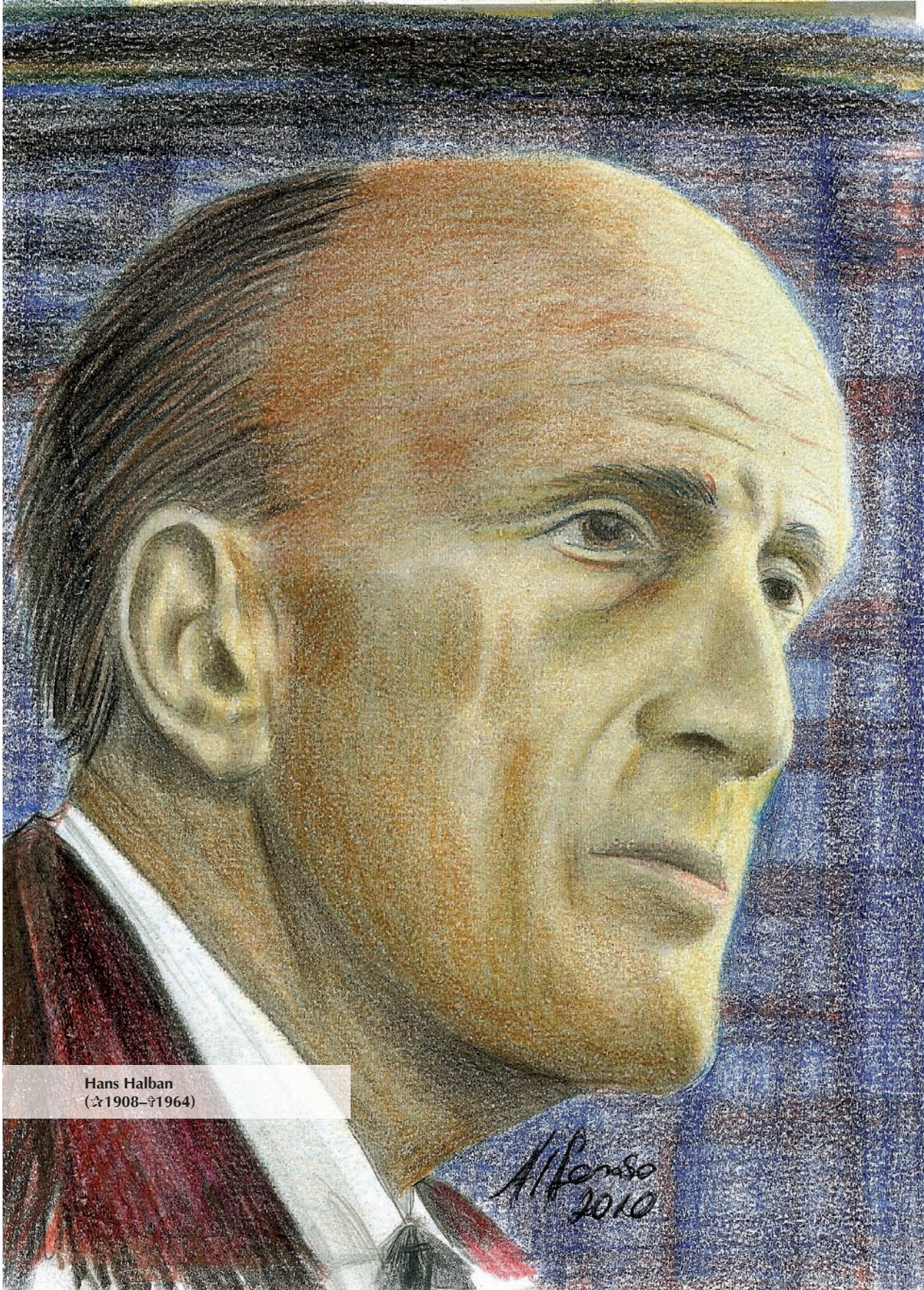
Nesse momento, entrou, novamente no jogo, Frédéric Joliot, que, nos anos anteriores, tinha se dedicado às aplicações biológicas dos marcadores radioativos. Assim que tomou conhecimento da descoberta da fissão, F. Joliot compreendeu imediatamente sua importância e seu potencial significado, em razão da enorme quantidade de energia liberada na fissão. Joliot demonstrou, novamente, todo o seu talento experimental: colocou uma intensa fonte de rádio-berílio dentro de um cilindro de urânio. Na parte externa, havia um segundo cilindro de baquelite, que foi colocado próximo ao urânio, o qual recebeu, então, todos os produtos da fissão. No interior desse segundo cilindro, tinha um contador Geiger, que acompanhava a evolução, no tempo, dos radioelementos envolvidos. Em 30 de janeiro, Joliot apresentou esses resultados em uma nota publicada nos *Comptes Rendus,* de l'Académie des Sciences (JOLIOT, 1939a[28]). Um mês mais tarde, observou os fragmentos de fissão do urânio com uma câmara de Wilson (JOLIOT, 1939b).

Nesse momento, intuindo as potencialidades de uma reação em cadeia, constituiu um grupo de trabalho, formado por ele próprio, Hans Halban e Lew Kowarski, e depois por Francis Perrin (da Equipe de Mme. Curie). No começo de abril, determinaram em 3,5 (depois corrigido para 3,2) o número dos nêutrons emitidos a cada fissão. No início de maio de 1939, os quatro físicos registraram várias patentes[29]. No fim de outubro, Halban, Joliot e Kowarski depositaram um envelope fechado na Academia de Ciências. Esse envelope, aberto em 1949, continha um

---

[28] Experimento realizado em 26 de janeiro.

[29] Maio de 1939: três patentes de Von Halban, Kowalski, Joliot; a primeira é "sistema para a produção de energia"; a segunda, "método para estabilizar o sistema de produção de energia"; e a terceira, "método para aperfeiçoar cargas explosivas".



Hans Halban
(☆1908–✞1964)

manuscrito com o significativo título *Sur la possibilité de produire dans un milieu uranifère des réactions nucléares en chaine illimité*, publicado nos *Comptes Rendus* (HALBAN et al., 1949), o que nos faz entender o quanto avançado estava o grupo de Joliot na compreensão do fenômeno que poderia levar à construção do reator nuclear. Muitos anos depois, Patrick Blackett, homenageando Joliot, escreveu: "[...] existem poucas dúvidas sobre o fato de que, se não tivesse explodido a guerra, a primeira reação em cadeia autossustentada teria sido obtida na França" (BLACKETT, 1960, p. 86).

Ao mesmo tempo, Joliot apressou-se em obter minerais de urânio em grande quantidade, assinando um acordo com a União Mineira da Bélgica. Em uma nota ao ministro da Defesa francês, Joliot escreveu "[...] não parece que se possa prever como aplicação imediata a fabricação de explosivos (bomba de urânio). Parece que a aplicação mais importante seria a produção de consideráveis fontes de energia" (BLACKETT, 1960, p. 87).

Muito rápido apareceu, também, o problema do moderador: era preciso moderar a energia dos nêutrons antes que interagissem com o urânio, para evitar capturas seletivas por parte do U^{238}, a energias mais elevadas, que "apagariam" imediatamente a reação em cadeia. Pensaram, como os alemães, na água pesada, e conseguiram apropriar-se, furtivamente, de cerca de 150 L da empresa norueguesa Norsk Hydro, controlada pelos alemães. Mas, em junho de 1941, os alemães entraram em Paris. Pouco antes, Joliot e seus colaboradores tinham transferido os aparelhos para Clermont-Ferrant, mas, em seguida, Halban e Kowarski partiram para a Inglaterra. Joliot preferiu permanecer em Paris porque queria salvaguardar o máximo possível para o futuro, mesmo porque não podia contar mais com Irène, que, então, estava muito doente, nem com os filhos, que estavam na Bretanha.

Irène sofria de tuberculose e anemia e, nesses anos, teve frequentes períodos de recaída, em decorrência, também, de subnutrição e dos efeitos



Lew Kowarski
(☆1907–✝1979)

da falta de aquecimento ambiental. Por várias vezes foi internada em sanatórios da Alta Savoia e da Suíça: em 1941, por 3 meses, e em 1942, por 6 meses.

Em maio de 1944, Frédéric começou a participar ativamente da Resistência, entrou para a clandestinidade e se inscreveu no Partido Comunista Francês. Irène e os filhos exilaram-se, clandestinamente, na Suíça. Irène retornou em setembro, depois da libertação, e retomou lentamente suas atividades no Laboratório Curie e também sua atividade de mulher comprometida social e politicamente. Não se inscreveu no Partido Comunista, mas suas ideias coincidiam com as do marido. Em 1948, viajou para os Estados Unidos, onde se encontrou com Einstein. Em 1949, teve uma nova recaída da tuberculose e, em seguida, foi operada de mastoidite.

Entre 1951 e 1954, apresentou, por quatro vezes (inclusive em represália), a sua candidatura à Academia de Ciências, mas foi sempre rejeitada. Até aquele momento, nenhuma mulher tinha pertencido à Academia. Como era costume entre os Curie, eles passaram o verão em Arcouest, localidade litorânea da Bretanha. Entrementes, os filhos haviam crescido; Hélène, aliás, já se casara.

No começo dos anos 1950, Irène empenhou-se com afinco na criação do Centro Nuclear de Orsay, que compreendia um ciclossíncroton. No começo de 1956, enquanto estava nas montanhas com a filha e os netinhos, teve uma febre alta e retornou a Paris.

Foi diagnosticada uma leucemia subaguda decorrente das radiações absorvidas durante a realização de seu trabalho. Irène Joliot-Curie morreu em 17 de março. Foram decretados funerais com honras de Estado e a cerimônia oficial teve lugar no recinto de honra da Sorbonne.

Para Frédéric, esse foi um duro golpe. Ele esteve doente no mesmo período que Irène, acometido de uma doença do fígado. Por conta disso,

ficou bastante tempo internado no hospital. Mas retornemos a Frédéric durante o final da II Guerra Mundial.

Em agosto de 1944, Paris foi libertada e Joliot foi interrogado várias vezes pelo físico Samuel Goudsmit, responsável científico pela Missão Alsos. Os americanos preocupavam-se com o fato de Joliot ser comunista e, por isso, os colóquios foram tensos.

Em dezembro do mesmo ano, Joliot encontrou-se com o general De Gaulle. Discutiram sobre energia nuclear e sobre o papel da França. Em janeiro de 1946, Auger, Joliot e Perrin foram nomeados comissários do Commissariat pour l'Energie Atomique (CEA), e, na metade do ano de 1946, Frédéric Joliot e Pierre Auger foram nomeados especialistas franceses para a reunião da Comissão de Energia Atômica da ONU, durante a qual o ministro do Exterior francês, Bidault, afirmou: "[...] a França declara sua vontade de não empreender a construção de armas baseadas na energia atômica".

Ao mesmo tempo, Joliot preocupava-se em reorganizar o Conseil National Recherche Scientifique (CNRS), criando um Comitê de Direção que coordenasse o conjunto da pesquisa francesa. Percebeu que a França não poderia contar com a ajuda americana e a inglesa para realizar as pesquisas sobre energia nuclear, e que, portanto, deveria fazê-la sozinha. Joliot conseguiu reunir colaboradores que tinham trabalhado no programa nuclear anglo-americano (Halban e Kowalski), com novos e velhos colaboradores franceses (a própria mulher Irène, Pierre Auger e Francis Perrin). Em 15 de dezembro de 1948, o primeiro reator atômico francês, chamado Zoe, entrou em funcionamento. Era constituído por óxido de urânio e água pesada. Em fevereiro de 1949, Joliot foi eleito presidente do *Comitê Mundial dos Partidários para a Paz*. Durante uma reunião do Comitê em Estocolmo, entre 15 e 19 de março de 1950, Frédéric lançou o famoso *Apelo de Estocolmo*, que recolheu milhões de assinaturas no mundo inteiro, no qual se exigia

> [...] a interdição absoluta da arma atômica, terrível arma de extermínio [...] [...] um rigoroso controle internacional para assegurar a aplicação dessa medida de interdição [...] [...] o governo que primeiro utilizasse a arma atômica cometeria um crime contra a humanidade e deveria ser tratado como criminoso de guerra [...] [...] convidamos todos os homens de boa vontade do mundo a assinar este apelo.[30] (KECK, 2004, p. 262).

Naturalmente, a sua declarada adesão à ideologia comunista prejudicou-o e, em 1950, foi revogada sua nomeação para o Alto Comissariado para a Energia Atômica.

Em 1955, aderiu ao apelo Einstein-Russel a favor da paz, que depois levaria à realização, em julho de 1957, da primeira Conferência Pugwash. A saúde de Frédéric não era boa, tendo ele sofrido frequentes recaídas da sua doença do fígado, em 1954 e 1955, e ficado internado por vários meses. Em 1956, apesar de suas péssimas condições de saúde, agravadas por uma hepatite viral, aceitou suceder a esposa, Irène, no Laboratório Curie e na cátedra de radioatividade. Em julho de 1958, enquanto passava férias em Arcouest, teve uma grave hemorragia. Foi levado a Paris, mas morreu no dia 14 de agosto de 1958, com apenas 58 anos de idade. No dia seguinte, 15 de agosto, o jornal *Le Monde* publicou um esplêndido necrológio, definindo-o como "[...] eminente físico nuclear, herói da Resistência, grande servidor do Estado [...] [...] a sua morte é uma grande perda para a República Francesa".

Referências

BLACKETT, P. M. S. Jean Frederic Joliot 1900-1958. **Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society**, London, v. 6, p. 86-101, 1960.

---

[30] "Nous exigeons l'interdiction immédiate de l'arme atomique, arme d'épouvante et d'extermination massive des populations. Nous exigeons l'établissement d'un rigoureux contrôle international pour assurer l'application de cette mesure d'interdiction. Nous considérons que le gouvernement qui, le premier, utiliserait contre n'importe quel pays l'arme atomique, commettrait un crime contre l'humanité et serait à traiter comme criminel de guerre. Nous appelons tous les hommes de bonne volonté dans le monde à signer cet appel". (KECK, 2004, p. 262).

CHAVANNES, I. **Lezioni di Marie Curie**: la fisica elementare per tutti. Traduttore E. Ioli. Bari: Dedalo, 2004. 127 p. il.

CURIE, E. **M.me Curie**. Mondadori, Milano 1938.

CURIE, I.; JOLIOT, F. Effet d'absorption de rayons γ de très haut frequence par projection de noyaux légers. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 194, p. 708, 1932b.

CURIE, I.; JOLIOT, F. Emission de protons de grande vitesse par les substances hydrogénées sous l'influence des rayons γ très pénétrants. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 194, p. 273, 1932a.

CURIE, I.; JOLIOT, F. Projections d'atomes par les rayons très pénétrants excités dans les noyaux légers. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 194, p. 876, 1932c.

CURIE, I.; JOLIOT, F. Un nouveau type de radioactivité. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 198, p. 254, 1934.

CURIE, I.; SAVITCH, P. Sur la nature du radioélément de periode 3,5 heures formé dans l'uranium irradié par les neutrons. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 206, p. 906, 1938.

HALBAN, H. von; JOLIOT, F.; KOWARSKI, L. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 229, p. 909, 1949.

JOLIOT, F. Observation par le methode de Wilson des trajectoires de brouillard des produits de l'explosion des noyaux d'uranium. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 208, p. 647-649, 1939b.

JOLIOT, F. Preuve experimentelle de la rupture explosive des noyaux d'uranium et de thorium sous l'action des neutrons. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 208, p. 341-343, 1939a.

KECK, T. **Jeunesse de l'église**: 1936-1955: aux sources de la crise progressiste en France. Paris: Karthala, 2004. p. 262.

Literatura recomendada

RADVANYI, P. **I Curie**: la premiata famiglia Nobel. Milano: Le Scienze, 2002. 95 p. il. (I grandi della scienza, 25).

Capítulo 8

DA RADIOATIVIDADE ARTIFICIAL À FISSÃO NUCLEAR[31]

O ano de 1934 foi fundamental para a História da Física Nuclear. No começo desse ano, rapidamente se difundiu, no mundo da Física, a sensacional notícia de que, em Paris, Frédéric Joliot e Irène Curie, bombardeando boro e alumínio com partículas α, tinham obtido isótopos radioativos do nitrogênio e do fósforo, respectivamente. Era o primeiro exemplo de radioatividade artificial (ver capítulo 7).

Essa descoberta, sobre a qual nos referimos no capítulo precedente, foi descrita nos *Comptes Rendus*, na reunião da Académie de Sciences, de 15 de janeiro de 1934:

> [...] colocamos uma folha de Al a 1 mm de distância de uma fonte de polônio. A folha foi irradiada por 10 minutos e, depois, colocada diante de um contador Geiger-Müller [...] Observamos que a folha emite uma radiação cuja intensidade decresce exponencialmente em função do tempo, em um período de 3 minutos e 15 segundos. Obteve-se um resultado análogo irradiando boro e magnésio, mas os períodos de decaimento são diferentes, isto é, 14 minutos para o boro e 2 minutos e 30 segundos para o magnésio. A intensidade da radiação emitida aumenta conforme o tempo de irradiação, até um valor de saturação.

---

[31] Uma parte deste capítulo foi publicada em Physis XXVII (2000) 209-230.

Com os elementos H, Li, C, Be, N, O, F, Na, Ca, Ni e Ag, não foi observado nenhum efeito. Para alguns elementos, pode-se pensar que o fenômeno não se produz, enquanto, para outros, que se produz por um período muito breve.

As medidas feitas com o método de Wilson mostraram que a radiação emitida pelo boro e pelo alumínio e, provavelmente, pelo magnésio, é constituída por elétrons [...] [...] Essas medidas mostram a existência de um novo tipo de radioatividade, com emissão de elétrons positivos. Pensamos que, para o alumínio, o processo consiste no seguinte[32]:

$$_{13}Al^{27} + {}_{2}He^{4} \rightarrow {}_{15}P^{30} + {}_{0}n$$

O isótopo do fósforo é radioativo, com um período de 3 min e 15 seg, e emite elétrons positivos, segundo a reação:

$$_{15}P^{30} \rightarrow {}_{14}Si^{30} + e^{+}$$

Concluindo, foi possível, pela primeira vez, com a ajuda de uma causa externa, criar a radioatividade em certos núcleos atômicos. (CURIE; JULIOT, p. 254).

Depois desses experimentos, em março de 1934[33], Enrico Fermi, professor de física teórica em Roma, sugeriu a Rasetti tentar irradiar várias substâncias com uma fonte de nêutrons que Rasetti tinha aprendido a preparar em Berlim, evaporando rádio sobre o berílio (RASETTI, 1934)[34]. Rasetti tinha conhecido essa técnica frequentando o laboratório de Lise

---

[32] Para mais detalhes sobre a simbologia nuclear, ver o anexo 1.

[33] Em uma carta de 20 de abril de 1932 (Archiv HS 1977-28/A,19; www.lrz-muenchen.de/Sommerfeld/KurzFass/03735.html), portanto, pouco depois da descoberta do nêutron, Hans Bethe, que se encontrava em Roma desde o final de 1931, informava seu professor, Arnold Sommerfeld, sobre sua atividade (modelo de Thomas-Fermi, efeito Ramsauer, difusão de nêutrons). Informou-lhe também que Fermi estava começando as medidas com nêutrons (Beginn der Fermischen Neutronenversuche). Esse fato não foi citado por nenhum dos colaboradores de Fermi. Tratava-se, talvez, somente de uma intuição de Fermi, dita a Bethe? Provavelmente não! É possível que Fermi tenha intuído, desde o começo de 1932, quando Chadwick descobriu o nêutron, que este poderia constituir um "projétil" ideal para explorar o núcleo. A partir de então, começou a dedicar-se à física nuclear e enviou Franco Rasetti a Berlin-Dahlem, para trabalhar com Lise Meitner, afim de aprender algumas técnicas experimentais. Enquanto isso, dedicou-se, por quase todo o ano de 1933, à teoria do decaimento β. Os experimentos dos Joliot-Curie tinham, pois, provavelmente, acelerado os seus planos.

[34] Este preparado, realizado por Rasetti em novembro de 1933, tinha uma atividade de cerca de 110 mCi, mas não foi adequado para a "produção" de nêutrons. Em março de 1934, Fermi, ao contrário, empregou uma fonte de Rn-Be de 50 mCi, fornecida a ele pelo prof. G. C. Trabacchi, do Istituto Superiore di Sanità.

Meitner, nas proximidades do Kaiser Wilhelm Institut für Chemie, em Berlin-Dahlem. Também ali tinha aprendido a construir os contadores Geiger e as câmaras de neblina[35]. Devemos lembrar que a existência do nêutron foi comprovada por James Chadwick, aluno de Rutherford, nos primeiros meses de 1932.

Os primeiros resultados da irradiação com nêutrons foram negativos, em razão da baixa intensidade da fonte de nêutrons preparada por Rasetti. Enquanto ele partia para Marrocos, Fermi pensava em usar uma fonte de radônio-berílio, muito mais potente, disponível no Istituto Superiore di Sanità. Com essa fonte, Fermi (sozinho) obteve os primeiros resultados positivos sobre alvos de alumínio e flúor (FERMI, 1934b).

Vale a pena reproduzir, quase integralmente, a breve comunicação de Fermi, intitulada *Radioatividade induzida por bombardeamento de nêutrons* (FERMI, 1934b, p. 283)[36]:

> Desejo fazer referência, nesta carta, a algumas experiências destinadas a verificar se um bombardeamento de nêutrons não determinaria os fenômenos de radioatividade subsequente, análogos aos observados pelo casal Joliot com bombardeamento de partículas α. O dispositivo que usei foi o seguinte: a fonte de nêutrons é constituída por um tubinho de vidro, que contém pó de berílio e emanações (gases). Usando cerca de 50 milicurie de emanação, que me foram fornecidos pelo prof. G. C. Trabacchi, a quem desejo agradecer muitíssimo, pôde-se, assim, obter mais de 100.000 nêutrons por segundo, misturados, naturalmente, a uma intensíssima radiação γ, que, porém, não causa nenhum problema em experiências desse gênero. Os pequenos cilindros que contêm o elemento em exame são submetidos, por um tempo que varia de alguns minutos a algumas horas, às radiações dessa fonte.
>
> Depois, rapidamente, são dispostos ao redor de um contador com fio, cuja parede externa é formada por uma folha de alumínio com espessura de cerca de

---

[35] Contador Geiger, câmara de neblina ou câmara de Wilson são vários tipos de reveladores de radiações. O contador Geiger "conta" as radiações que entram nele, enquanto a câmara de neblina visualiza seu percurso.

[36] A carta à *La Ricerca Scientifica* foi escrita em um italiano meio desleixado, o que nos faz supor que tenha sido escrita com muita pressa.

0,2 mm, de tal forma a permitir o ingresso de eventuais raios β no contador. Até o momento, a experiência obteve resultado positivo para dois elementos:

Alumínio – Um pequeno cilindro de alumínio irradiado por nêutrons por algumas horas e, em seguida, colocado ao redor do contador, determina, nos primeiros minutos, um aumento bastante considerável dos impulsos, que crescem de 30 ou 40 por minuto. O efeito decresce com o tempo, reduzindo-se à metade em aproximadamente 12 minutos.

Flúor – O fluoreto de cálcio, irradiado por poucos minutos e levado depois, rapidamente, para perto do contador, determina, nos primeiros minutos, um aumento do número de impulsos. O efeito diminui rapidamente, reduzindo-se à metade, em cerca de 10 segundos.

Uma possível interpretação desses fenômenos é a seguinte: o flúor, bombardeado com nêutrons, desintegra-se, emitindo partículas α. A reação nuclear é, provavelmente: $F^{19} + n \rightarrow N^{16} + He^{4}$.

[...] Uma interpretação semelhante se poderia ter para o alumínio.

Se essas interpretações estiverem corretas, se tivermos aqui a formação artificial de elementos radioativos que emitem partículas β normais, haverá, então, uma diferença para as encontradas pelos Joliot, que, ao invés disso, emitem pósitrons. Em especial, no caso do nitrogênio, haveria dois isótopos radioativos: N^{13}, encontrado pelos Joliot, que, emitindo um pósitron, transforma-se em C^{13}; e N^{16}, que, emitindo um elétron, transforma-se em O^{16}.

Estão em curso experiências para estender o exame para outros elementos e para melhor estudar as particularidades desse fenômeno.

Enrico Fermi
Roma, 25 de março de 1934. (FERMI, 1934b, p. 283).

Em seguida, desta vez com seus tradicionais colaboradores (Edoardo Amaldi, Emilio Segrè e Franco Rasetti – este último obrigado a retornar precipitadamente do Marrocos depois dos primeiros resultados positivos – e, a seguir, Oscar D'Agostino e Bruno Pontecorvo), Fermi começou a bombardear sistematicamente todos os elementos da Tabela Periódica, na maior parte das vezes na ordem de número atômico. Muitos elementos foram irradiados com êxito, até chegar ao urânio.

É fácil seguir cronologicamente o desenvolvimento dessas pesquisas durante a primavera-verão de 1934, por meio das cartas à *Ricerca*



Franco Rasetti
(☆1901–✝2001)

Scientifica e dos artigos no *Nuovo Cimento*, começando pela primeira carta à *Ricerca Scientifica*, no domingo, 25 de março de 1934, que contém, como já foi dito, os resultados da irradiação do alumínio e do flúor (FERMI, 1934a). Portanto, é de se presumir que as primeiras medidas foram realizadas por Fermi na semana de 19 a 24 de março[37].

O trabalho experimental consistia em irradiar um elemento com uma fonte neutrônica de radônio-berílio e medir a radioatividade com um contador Geiger.

Fermi e seus colaboradores observaram que as reações induzidas por nêutrons podiam ser classificadas em três grupos diversos:

- reações do tipo (n,α), como:

$$_{13}Al^{27} + _{0}n^{1} \rightarrow _{11}Na^{24} + _{2}He^{4}$$

- reações do tipo (n,p), como:

$$_{14}Si^{28} + _{0}n^{1} \rightarrow _{13}Al^{28} + _{1}H^{1}$$

- reações do tipo (n,γ), isto é, de captura neutrônica, como:

$$_{53}I^{127} + _{0}n^{1} \rightarrow _{53}I^{128} + \gamma$$

Fermi e seus colaboradores notaram também que todos os radioisótopos produzidos eram emissores β; além disso, as reações (n,α) e (n,p) eram típicas dos elementos leves, enquanto, para os elementos pesados, aparecia como favorita a reação (n,γ).

Quando chegaram aos últimos elementos naturais, tório e urânio, a questão ficou complicada em razão da radioatividade natural desses elementos. Era necessário, antes da irradiação com nêutrons, purificar

---

[37] Recentemente, foi encontrado o caderno de laboratório de Fermi relativo ao período março-abril de 1934, do qual pôde-se extrair informações úteis em relação à cronologia e às formas das primeiras medidas de radioatividade induzida por nêutrons (ACOCELLA et al., 2003).

as substâncias dos seus produtos ativos, os quais, por sua vez, continuavam a reproduzir-se espontaneamente, pelo conhecido fenômeno que ocorre nas famílias dos elementos radioativos pesados. Assim, era necessário trabalhar rapidamente, antes que fosse renovado o produto ativo. Portanto, era exigido um notável trabalho de radioquímica. A pessoa adequada para executá-lo era Oscar D'Agostino, químico do Istituto Superiore di Sanità, que tinha trabalhado em Paris com o grupo de Marie Curie.

Fermi e seus colaboradores deduziram que as consequências da irradiação do urânio e do tório, em analogia com o observado nos outros casos estudados de elementos pesados, eram uma captura neutrônica seguida por emissões β.

Segundo esse esquema, a irradiação de urânio e de tório poderia dar lugar a elementos transurânicos. Por exemplo, no caso da irradiação de urânio com nêutrons, o esquema proposto por Fermi e seus colaboradores era:

$$_{92}U^{238} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{92}U^{239} \rightarrow {}_{93}?^{239} + e^{-}$$

A prestação de contas das pesquisas de Fermi e seus colaboradores sobre os transurânicos foi tema de um artigo publicado na *Nature* (4).

Quando o intensíssimo trabalho da primavera-verão de 1934 foi suspenso para as férias de verão, Fermi e seus colaboradores acreditaram que tivessem produzido e revelado elementos transurânicos.

Depois, Fermi viajou para a América do Sul, por conta do governo italiano. Fez conferências na Argentina, no Uruguai, no Brasil e talvez em outros países da América do Sul. No Brasil, em São Paulo, reviu Gleb Wataghin, físico por ele sugerido ao representante do Estado de São Paulo como a pessoa mais indicada para ajudar a fundar o Departamento de Física da Universidade de São Paulo (ver capítulo 11). Não há notícias precisas em relação à viagem de Fermi pela América do Sul, ou seja, nenhuma indicação sobre sua duração, sobre os locais exatos que

percorreu, sobre a natureza das conferências que fez, ou mesmo sobre as pessoas com quem se encontrou, além de Wataghin. A visita deve ter sido bastante longa, uma vez que só a viagem, então feita por navio, demorava mais ou menos 10 dias.

O que se sabe ao certo é que, na viagem de retorno, Fermi fez amizade com o compositor Ottorino Respighi, e que, em vez de retornar à Itália, dirigiu-se para Londres, interessado em participar de um Congresso de Física, durante o qual apresentou alguns resultados recentes sobre a irradiação com nêutrons, obtidos por seus colaboradores durante a sua ausência.

Porém, retornemos ao verão de 1934 e à possível descoberta dos elementos transurânicos.

Vale a pena recordar uma interessante observação de Emilio Segrè (SEGRÉ, 1970), que reconheceu, com muita honestidade, que, depois da publicação dos resultados sobre a irradiação do urânio com a possível produção de elementos transurânicos, não havia sido levado em consideração um artigo de Ida Noddack, publicado em setembro de 1934, na *Angewandte Chemie* (NODDACK, 1934). Dele constava um resumo do seu trabalho, no qual indicava a possibilidade de interpretar alguns dos resultados do grupo de Roma mais como consequência da cisão do núcleo de urânio em duas partes do que como consequência da produção de elementos transurânicos. É oportuno relatar integralmente algumas passagens do artigo de Noddack, pela importância que tem (ou deveria ter tido) na história da fissão nuclear:

> Há cerca de três meses, apareceram nos jornais e na literatura científica notícias relativas a dois pesquisadores, o prof. Fermi, em Roma, e o engenheiro Koblic, em Joachimstahl[38], que, independentemente um do outro, referem ter descoberto o elemento com número atômico 93.

[38] O engenheiro Odolen Koblic acreditava ter isolado o elemento 93 nas águas de lavagem da pechblenda (KOBLIC, 1934, p. 581). Em seguida, enviou uma amostra a Noddack para serem feitas pesquisas espectroscópicas. Essas mostraram que não se tratava de nenhum transurânico. Depois, o próprio Koblic retirou publicamente a sua hipótese.

> Queremos aqui nos ocupar do trabalho de Fermi, que se dedicou à radioatividade induzida por nêutrons [...] [...] Para estudar a radioatividade induzida no urânio, Fermi colocou uma solução de nitrato de uranila próximo a uma fonte de nêutrons. Com a ajuda de um contador Geiger, pôde mostrar que a solução se tornava radioativa e emitia raios β. Por outro lado, ele pôde demonstar que eram produzidos pelo menos cinco isótopos radioativos que, dentre os de grande duração, o mais intenso correspondia a um tempo de decaimento de 13 minutos. A partir daí, Fermi tenta demonstrar que esse radioelemento não corresponde a nenhum radioisótopo conhecido na região do urânio, confrontando suas características com as do protoactínio (número atômico Z = 91), do tório (Z = 90), do actínio (Z = 89), do rádio (Z = 88), do bismuto (Z = 83) e do chumbo (Z = 82). Essa conclusão não é persuasiva. Fermi não verificou que não fosse o polônio e, a rigor, deveria ter confrontado o seu novo radioelemento com todos os elementos conhecidos [...]
>
> Além disso, seria possível levantar a hipótese de que, na irradiação de um núcleo pesado com nêutrons, esse núcleo pudesse dividir-se em mais fragmentos pesados, os quais seriam isótopos de elementos conhecidos, mas não contíguos ao elemento irradiado (NODDACK, 1934, p. 653).

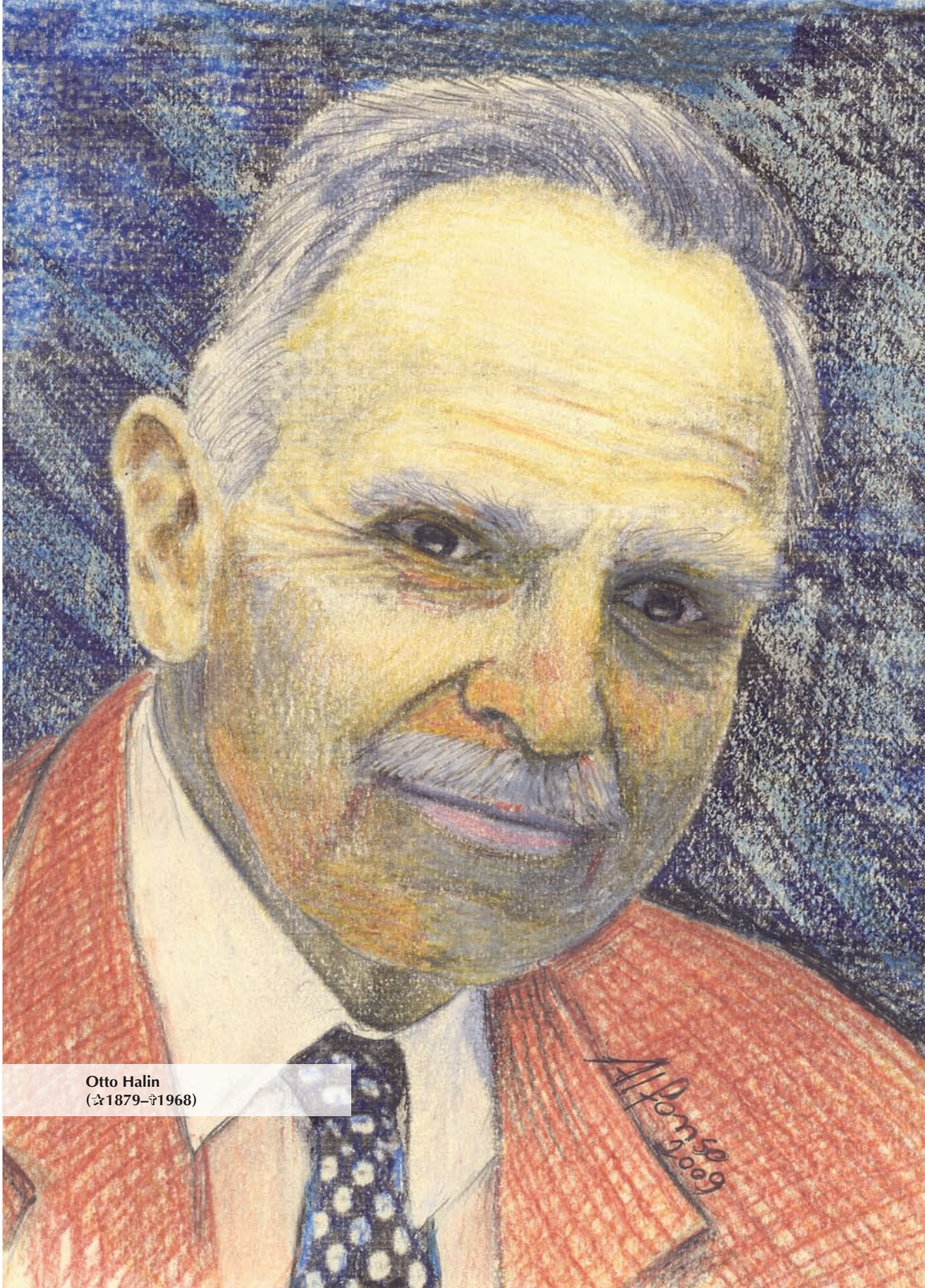
Esta última frase antecipa, de modo surpreendente, ainda que sem nenhuma prova experimental, o processo de fissão nuclear, que será descoberto 4 anos depois.

Aqui se insere a história da fissão nuclear, que, como veremos, apresenta outro ponto obscuro: o mistério de Ida Noddack. Por que ninguém, nos grandes centros de física nuclear e de radioquímica da época, deu qualquer crédito ou, pelo menos, levou em consideração a hipótese de Noddack? Quem era Ida Noddack, nascida Ida Tacke, para suscitar tão pouco interesse pela sua hipótese?

Ida Tacke nasceu em 25 de fevereiro de 1896, filha de um industrial de laca, em Lackhausen, atualmente Wesel, Alemanha. Está entre as primeiras mulheres a estudar na Universidade de Berlim. Ida Tacke estudou química no Politécnico de Charlottenburg, onde se formou em 1919, tendo vencido, entre outros, o primeiro prêmio do Instituto de Química e Metalurgia do Politécnico. De 1924 a 1935, foi pesquisadora na Physikalisch-Technische Reichsanstalt (equivalente ao Escritório

Nacional de Regulamentação). Ali iniciou, com Walter Noddack, com quem depois se casará, em 1926, uma pesquisa sistemática dos últimos elementos que naquela época faltavam na Tabela de Mendeleev; aqueles com número atômico 43, 61, 75, 85 e 87. Em 1925, os dois descobriram, com o auxílio do espectroscopista Otto Berg, o elemento de número atômico 75, que chamaram de rênio, por causa do rio Reno, e relataram também ter descoberto o elemento de número atômico 43, ao qual chamaram de masúrio, nome tomado da região dos lagos Masurianos, na Polônia, de onde procedia Noddack.

As descobertas derivaram das medidas espectroscópicas relativas às emissões de raios X por parte da substância residual dos tratamentos químicos. Em seguida, os Noddack conseguiram separar quimicamente o rênio, enquanto, para o tecnécio, não conseguiram dar provas posteriores. Esse elemento deveria estar contido nos minerais que têm urânio, o qual, por fissão espontânea (sabemos disso agora), poderia dar origem, entre outros elementos, ao tecnécio. Os Noddack e Berg empregaram e trataram minerais de platina e colombita, que contêm urânio em quantidade relevante. Assim, depositaram as amostras quimicamente enriquecidas sobre o anodo de um tubo de raios X e analisaram o espectro por meio da difração dos raios X emitidos pela substância, por parte de um cristal. As medidas e os resultados obtidos pareceram, àquela época, para a comunidade científica, duvidosos ou com dúbia interpretação. Por isso, foram acolhidos com muito ceticismo. A prova da existência do masúrio foi definitivamente julgada inconsistente, não obstante os Noddack insistirem em confirmar a sua descoberta e afirmarem ter isolado uma pequena quantidade desse elemento (BOHR, 1936, p. 345). A comunidade científica da época não acreditou na descoberta do masúrio e avaliou negativamente essa discussão. Hahn a julgou "um grave erro" e, depois do artigo de I. Noddack sobre a possível fissão, continuou a dizer ao KWIC, referindo-se aos Noddack: "[...] ein Fehler reicht (já basta um erro!)."



Otto Halin
(☆1879–✞1968)

Foi apenas em 1937 que Emilio Segrè e Carlo Perrier, incidentalmente, ao bombardearem os alvos de molibdênio com deutônios do cíclotron de Berkeley, descobriram, em Palermo, vários radioisótopos do elemento com Z = 43, ao qual chamaram de tecnécio (PERRIER; SEGRÉ, 1937). Essa descoberta desferiu um duro golpe na credibilidade dos Noddack, que tinham descrito o masúrio como presente em minerais naturais.

Emílio Segré descreveu de modo pitoresco uma visita de Walter Noddack a Palermo, depois da descoberta do tecnécio. Noddack, que se apresentou a Segré vestido com uma espécie de uniforme militar, cheio de suásticas, insistia no fato de que ele e sua mulher tinham isolado 0,5 mg do elemento 43, não radioativo. Segundo Segré, os Noddack pareciam ser fanáticos simpatizantes do nazismo (SEGRÉ, 1993).

Provavelmente, Emilio Segré julgou-os apressadamente porque, na realidade, parece que os Noddack jamais foram inscritos no Partido Nacional-Socialista. Certamente, não obtiveram benefícios especiais do nazismo, tanto que Ida Noddack quase sempre ocupou posições acadêmicas temporárias, não obstante seu indiscutível talento químico. Na verdade, no final da guerra, Walter Noddack sofreu um processo, no qual era acusado de ter se beneficiado do nacional-socialismo, mas foi absolvido.

Há de se considerar, porém, que a descoberta do rênio, por si só, deve ter dado um certo crédito aos Noddack, já que foram, por repetidas vezes, indicados ao Prêmio Nobel de Química. Portanto, pode-se levantar a hipótese de que isso deveria ser apenas para justificar a hostilidade entre eles e os radioquímicos que, àquela época, estavam muito bem, em particular o grupo do Kaiser Wilhelm Institut de Berlin-Dahlem (Otto Hahn e Lise Meitner). Otto Hahn, especialmente, não tinha nenhuma consideração pelo casal Noddack, não lhes perdoava o erro em relação ao masúrio e considerava Ida uma pessoa chata (FERMI, 1965), enquanto Lise Meitner a definia como “uma tola enjoada”.

Tudo isso justificaria um rancor de décadas por parte de Otto Hahn, em particular? E também da parte de Fermi e seus colaboradores, que igno-



Lise Meitner
(☆1878–✞1968)

raram completamente o artigo de I. Noddack, mesmo admitindo que o haviam lido? Certamente, o ostracismo ao qual Otto Hahn e Lise Meitner condenaram os Noddack transmitiu-se aos demais cientistas europeus. Mas a posição hostil da radioquímica alemã aos trabalhos dos Noddack não justifica a atitude conservadora de Fermi e de seus colaboradores, que, na realidade, simplesmente ignoraram o trabalho de Ida Noddack.

Como escreveu Emilio Segré: "Até hoje entendo a razão dessa nossa cegueira".

Realmente, Enrico Fermi, como sempre, mostrou-se prudente, pelo menos no início, sobre a hipótese dos transurânicos, tanto que E. Segré observou que por poucas vezes o viu tão pessimista como depois de uma conferência de Orso Maria Corbino que, na abertura anual da Accademia dei Lincei, em 4 de junho de 1934, na presença do rei, falou sobre os transurânicos como de um fato concreto (FERMI, 1965). Isso foi depois abordado, com certa ênfase, também pela imprensa.

Na revista *Nature*, com data de 16 de junho, em um artigo intitulado *Possible production of elements of atomic number higher than 92*, Fermi escreveu: "[...] it seems therefore at present premature to form any definite hypothesis on the chain of desintegration involved" (FERMI, 1934a, p. 757).

Mais tarde, Fermi também teria mudado de opinião e feito afirmações reiteradas no seu discurso pronunciado em Estocolmo, no dia 10 de dezembro de 1938, por ocasião do recebimento do Prêmio Nobel: "[...] concluímos, por isso, que fossem um ou mais elementos com número atômico maior que 92; em geral, em Roma, chamamos os elementos 93 e 94, respectivamente, de ausênio e espério[39]."

---

[39] No rodapé da apresentação, publicada no ano seguinte, Fermi acrescentará: *The discovery by Hahn and Strassmann of barium among the desintegration products of bombarded uranium, as a consequence of a process in which uranium splits into two approximately equal parts, makes it necessary to reexamine all the problems of the transuranic elements, as many of them might be found to be produced of a splitting of uranium.*

Por ironia da sorte, apenas 9 dias depois, Hahn e Strassmann descobriram que os supostos transurânicos eram, na realidade, produtos de uma fissão nuclear.

Alguém observou posteriormente que, no caso de Fermi, o Prêmio Nobel foi-lhe concedido por uma descoberta errada, mas, na realidade, o prêmio não lhe foi dado por sua descoberta dos transurânicos, e sim pela descoberta da radioatividade induzida por nêutrons[40].

Segré foi, desde o começo, o mais ardoroso defensor do transurânico, conforme mostra em artigo publicado no *Nuovo Cimento*, de 1935:

> [...] provas químicas excluem que a atividade com período de 13 minutos possa ser devida a elementos com Z menor que 92 [...] [...] e, por todos os testes executados, a hipótese de que as atividades de 13 minutos e com período maior sejam atribuídas a elementos transurânicos recebe uma nova confirmação [...] [...] As atividades de 10s, 13min e período maior são em série e devem ser atribuídas a elementos de número atômico 92, 93, 94 e peso atômico 239 (SEGRÉ, 1935, p. 232).

Vale lembrar ainda que Frédéric Joliot e Irène Curie tinham manifestado dúvidas sobre a descoberta de elementos transurânicos. No pequeno volume *Radioactivité Artificielle,* impresso em novembro de 1934, lê-se:

> Fermi et ses collaborateurs signalent, en particulier, que l'un de radioéléments formés par l'action des neutrons sur l'uranium ne présente les propriétés chimiques d'aucun des éléments voicins et possède probablement le numéro atomique 93". E acrescentam na nota de rodapé: "[...] des expériences plus récentes n'ont pas confirmé ce resultat. De nouveaux travaux seront nécessaires pour obtenir une certitude a ce sujet (JULIOT; CURIE, 1935, p. 115).

Todavia, não existem traços desses novos experimentos nos trabalhos seguintes de F. Joliot e I. Curie. Naquele período, entre o fim de 1934 e o começo de 1935, Joliot trabalhava com aplicações biológicas da radioatividade artificial. Irène, nessa ocasião, recebia a confirmação do dignóstico de tuberculose.

---

[40] A motivação oficial foi: *For his demonstrations of the existence of new radioactive elements produced by neutron irradiation, and for his related discovery of nuclear reactions brought about by slow neutrons.*

Um detalhado reexame da questão "Ida Noddack e a fissão nuclear" foi feito por um dos protagonistas, Edoardo Amaldi:

> A hipótese de Fermi (sobre a produção de transurânicos) foi criticada por von Grosse e Agruss e por Ida Noddack [...] [...] Analisando as reações químicas produzidas por Fermi e seus colaboradores, e os resultados a elas relacionados, I. Noddack criticou a hipótese da formação de um elemento transurânico com base no fato de que muitíssimos elementos se precipitam com MnO_2 [...] [...] Ela propõe uma hipótese alternativa. Afirmando que nesses novos tipos de desintegrações produzidas por nêutrons, pode-se pensar que aconteçam outras reações diferentes daquelas até o momento observadas [...] [...] pode-se pensar que, através do bombardeamento de elementos pesados com nêutrons, esses núcleos se quebrem em várias partes, que correspondem a isótopos de elementos conhecidos, não próximos aos elementos irradiados [...] [...] parece-me recordar discussões entre nós, nas quais os conceitos expressos por Ida Noddack foram colocados de lado por pressuporem um tipo de reação completamente nova: a quebra do núcleo. Fermi sempre relutava em invocar novos fenômenos assim que era observada alguma coisa nova [...] [...] Fermi e todos nós, naquela ocasião, fomos muito conservadores (AMALDI, 1884).

Parece, pois, que todos teriam lido o artigo de Noddack sobre a possível cisão do núcleo de urânio, mas ninguém o levou em consideração.

Ainda em relação ao artigo de I. Noddack, O. Hahn fez a defesa da equipe de Fermi na sua conferência de 13 de dezembro de 1946, por ocasião da entrega do Prêmio Nobel, assim escreveu, fazendo referência às experiências de Fermi sobre a possível produção de transurânicos, na primavera de 1934:

> [...] ainda de outra parte (de Ida Noddack) vem a proposta de que, antes de se falar sobre a produção do elemento de número atômico 93, primeiramente seria necessário (depois da irradiação do urânio com nêutrons) excluir todos os elementos da Tabela Periódica. Àquela época, essa proposta não foi levada em consideração em razão do conhecimento que então se tinha de física nuclear [...]. (FRISCH, 1979, p. 61).

Mas, como já foi observado, Hahn não tinha estima e sequer simpatia por I. Noddack.

Retornando aos trabalhos de Fermi e de seus colaboradores na primavera-verão de 1934, esses, obviamente, provocaram enorme interesse

no mundo da física e da química nuclear. Lise Meitner, consciente disso em razão de sua antiga interação com Franco Rasetti, dedicou-se imediatamente a medir a vida média dos radioisótopos produzidos pela irradiação do Al, Si e P.

Rutherford, o grande guru da física nuclear, cumprimentou Fermi em tom de brincadeira, por ele ter passado da física teórica para a experimental, enquanto, em Copenhague, reino do grande Niels Bohr, estava Otto R. Frisch, sobrinho de Lise Meitner e um dos poucos a compreender italiano. Ali se esperava com ansiedade a chegada das cópias de *A pesquisa científica*, com os trabalhos de Fermi e de seus colaboradores, que se sucederam por toda a primavera de 1934. Quando, em maio de 1934, ouviu-se do próprio Fermi que, ao irradiar o urânio com nêutrons, ele pensava ter produzido um elemento transurânico, isso provocou um pandemônio. Lise Meitner, fascinada por esses experimentos, tentou convencer Otto Hahn a voltar a trabalhar com ela, a fim de esclarecer ou melhor definir o eventual elemento transurânico produzido por Fermi.

Pouco depois, em 1º de agosto de 1934, saía, na *Physical Review*, uma breve nota de Aristid von Grosse a M. Agruss (GROSSE; AGRUSS, 1934), em relação às observações de E. Amaldi sobre a fissão. A. von Grosse tinha sido aluno de Otto Hahn, que emigrara para os Estados Unidos, com quem Hahn se envolvera em uma desagradável polêmica quanto à descoberta e às propriedades do protoactínio (elemento de número atômico Z = 91). Agora, von Grosse sustentava que o elemento transurânico descoberto por Fermi tinha propriedades semelhantes àquelas do protoactínio. Reportemo-nos às partes mais importantes da nota:

> E. Fermi's interesting experiments on the bombardment of uranium by neutrons have led him to conclude that elements with an atomic number above 92 are formed. He specifically assumes that his product, with a period of 13 minutes, which is precipitated from a highly oxidizing and acid solution together with manganese, is the highest homologue of the latter of element 93.

> However, we would predict according to Mendelejeff's periodic law, other properties for element 93 or ekarhenium (En); its highest oxide En_2O_7 will surely be stable under the conditions of Fermi's experiment and form the acid soluble pereka-rhenic acid $HEnO_4$ (or its derivatives) similarly to Re_2O_7 and $HReO_4$. Element 94, if it is an ekaosmium (Eo), will also give the acid soluble and volatile EoO_4.
>
> These considerations have led us to repeat some of Fermi's experiments using protoactinium as an indicator. We found that element 91 gives identical reactions as Fermi's 93 [...] [...] Fermi's statement that the 13 minutes product is not identical with element 91 is based on experiments with its isotope brevium (UX2) which unfortunately, because of its very short life (T = 68 sec) introduces some difficulties into the chemical operations.
>
> We are forced to conclude that the product of uranium with a half period of 13 minutes is a new isotope of element 91; it can be called, according to the nomenclature recently introduced by Curie and Joliot, radio brevium (Rm) provided it meets the approval of its discoverer. (GROSSE; AGRUSS, 1934, p. 241).

Portanto, von Grosse e Agruss partem da firme consideração de que o hipotético elemento 93, descoberto por Fermi, deveria ter propriedades químicas bem diferentes daquelas evidenciadas por Fermi. Estava, porém, errada a posterior consideração deles de que o hipotético transurânico coincidia com um isótopo do elemento 91 (protoactínio).

Irritado com o artigo de von Grosse e Agruss, principalmente por conta da antiga desavença com von Grosse, Hahn decidiu-se por retomar as medidas com Lise Meitner, motivado, provavelmente, pelo desejo de refutar aquela hipótese[41]. Essa era a intenção de Otto Hahn (MEITNER, 1934a). Meitner, por seu turno, já vinha alimentando o interesse de retomar as experiências com o urânio desde o mês de junho do ano passado.

Em setembro de 1934, Hahn e Meitner participaram, em Leningrado, de um congresso em celebração ao centenário de nascimento de

[41] Aristid von Grosse foi aluno de Otto Hahn. Posteriormente, explodiu entre eles uma longa e também violenta controvérsia relativa à descoberta e às propriedades do protoactínio que, de 1931 a 1932, chegou até às páginas do *Die Naturwissenschaften*. Depois, von Grosse emigrou para os Estados Unidos, onde se estabeleceu primeiro no Kent Chemical Laboratory da Universidade de Chicago, e, depois, na Columbia University; nesta última, colaborou com Fermi, participando das medidas do U-235 e do U-238 (ver também, mais à frente, neste mesmo capítulo).

Mendeleev. Em 11 de setembro, Meitner faz uma apresentação – *O núcleo atômico e o sistema periódico –,* que concluía com a sugestão de um possível aumento da Tabela Periódica com os elementos transurânicos descobertos por Fermi (MEITNER, 1934a). O. Hahn, por seu turno, sustentava que ele e Lise Meitner só haviam tomado conhecimento das medidas de Fermi quando retornaram de Leningrado, informados por Max Delbrück. De qualquer forma, quando voltou de Leningrado, L. Meitner preparou a instrumentação necessária e, em especial, a fonte de nêutrons, para repetir os experimentos de Fermi. Ela observou a dependência dos processos nucleares estudados por Fermi da energia dos nêutrons e, em particular, levantou a hipótese de que os nêutrons lentos pudessem ser mais eficazes do que os velozes (MEITNER, 1934b). Na metade de outubro de 1934, enviou uma curtíssima nota ao *Die Naturwissenschaften,* com o título *Sobre a transmutação de elementos por meio de nêutrons*, que vale a pena transcrever integralmente:

> Szilàrd e Chalmers mostraram que a irradiação de Be com raios γ do rádio produz nêutrons que, por sua vez, produzem radioatividade artificial no iodo, como foi observado por Fermi e seus colaboradores. Repetindo essas experiências verifiquei que esses nêutrons, produzidos pelos raios γ do rádio, são capazes de despedaçar I, Ag e Au, mas não Na, Al e Si. Uma possível explicação parece ser a seguinte: os nêutrons produzidos pelos raios γ do Ra possuem uma energia nitidamente inferior à produzida, irradiando e com radiação α. Assim, são adequados para provocar aqueles processos que, segundo Fermi, produzem isótopos em colisões múltiplas, isto é, exatamente processos que intervêm no caso de Ag, I e Au. Os processos no caso de Na, Al e Si requerem nêutrons de maior energia, como os que são obtidos bombardeando-se com partículas α. (MEITNER, 1934b, p. 759).

Portanto, Lise Meitner foi a primeira a sugerir o uso de nêutrons lentos nas reações nucleares. Poucos dias depois, numa segunda-feira, 22 de outubro de 1934, Fermi e seus colaboradores realizaram os primeiros experimentos históricos sobre nêutrons térmicos, obtidos com a desaceleração dos nêutrons velozes com parafina e observaram o dramático aumento da radioatividade. Essas experiências e a suposição de que os nêutrons térmicos pudessem ser mais eficazes do que os velozes para

induzir a radioatividade, e também a intuição sobre o efeito dos materiais hidrogenados sobre a desaceleração dos nêutrons, são temas exaustivamente conhecidos e descritos.Fermi, como de costume, enviou um *pré-print* do seu trabalho também a Meitner (FERMI et al., 1934), que lhe agradeceu, em data de 26 de outubro, anexando à resposta um *pré-print* do trabalho impresso no *Die Naturwissenschaften*.

A partir daquele momento, Otto Hahn e Lise Meitner iniciaram um estudo sistemático dos produtos da irradiação do urânio com nêutrons. Antes de tudo, demonstraram, de modo inequívoco, que nenhum dos elementos produzidos tinha associação com o protoactínio, abandonando, assim, a hipótese de von Grosse (HAHN; MEITNER, 1935b). Além disso, no primeiro período, chegaram a conclusões semelhantes às de Fermi, obtendo tempos de divisão de 10 segundos, 40 segundos, 13 minutos e 90 minutos. Concluíram que os isótopos com 13 minutos e com 90 minutos eram, com muita probabilidade, isótopos de elementos transurânicos (HAHN; MEITNER, 1935b). A seguir, em março de 1935, descobriram que a substância com 90 minutos de tempo de divisão na realidade continha uma segunda atividade, uma vida média muito maior.

A situação tornava-se cada vez mais complexa, e agravava-se com o fato de O. Hahn estar também ocupado com a direção do Kaiser Wilhelm Institut. Por esse motivo, pediram a Fritz Strassmann, um dos assistentes de Hahn, que se associasse a eles nesse trabalho, que, nessa fase, era preponderantemente de radioquímica. Os três estavam muito acostumados a trabalhar juntos, porque tinham afinidade científica, conquanto tivessem formação diferente: a vienense e judia L. Meitner era física, enquanto Hahn e Strassmann eram químicos. Além disso, partilhavam as mesmas opiniões políticas, sendo os três assumidamente antinazistas. Na primeira publicação conjunta, em agosto de 1935, L. Meitner e F. Strassmann verificaram as pesquisas anteriores, confirmando as atividades de 13 minutos e de 90 minutos (corrigida para 100 minutos) e encontrando uma posterior atividade com vida média maior, de 3,5 dias (HAHN et al., 1935).

Esse tipo de trabalho de radioquímica era muito complexo em razão da necessidade de separar os produtos da irradiação do urânio, por causa da forte radioatividade natural desse elemento. Verificada a precipitação desses produtos, continuava-se a trabalhar apenas com os precipitados, procurando desembaraçar o novelo das múltiplas atividades superpostas.

Nesse ínterim, em Roma – laboratório da descoberta da irradiação com nêutrons –, depois dos grandes resultados experimentais de 1934, o ritmo do sucesso tinha desacelerado. Em janeiro de 1935, Fermi e seus colaboradores fizeram um enorme esforço para explicar o grande número de atividades observadas na irradiação do urânio e do tório pelos vários grupos de pesquisa europeus e para correlacioná-los aos isótopos certos.

A base dos fundamentos das pesquisas em Roma era a seguinte: na cadeia de decaimento dos radioisótopos naturais de elementos pesados, depois de algumas emissões β, sempre se observava um decaimento α. Ora, se as várias atividades β observadas na irradiação do urânio eram devidas à série de elementos transurânicos, então, entre esses, deveria existir também alguma emissão α. Como essa não foi observada, pensou-se que deveria ser de vida média muito curta e, portanto, pela lei de Geiger-Nuttal, caracterizada por uma emissão α muito energética. Assim, decidiu-se irradiar o urânio, imerso em parafina, diretamente em frente a um contador Geiger. Depois foi colocada (infelizmente!) uma folha de Al diante do revelador, para protegê-lo da emissão α natural, de energia mais baixa. Não se observou nada, mas, como salientou Amaldi, se não tivesse sido colocada a folha de Al, talvez tivessem sido observados, desde então, os elevados impulsos decorrentes dos produzidos pela fissão. Porém, Fermi e seus colaboradores ainda não estavam preparados para a ideia da fissão.

Esses resultados negativos provavelmente contribuíram para mudar o rumo das pesquisas em Roma. Desta vez, a física não era capaz de

fornecer as respostas certas; e talvez faltasse, em Roma, a grande experiência e tradição que a química tinha em Berlim e, em parte, em Paris. Fermi preferiu continuar as suas pesquisas aprofundando-se no estudo teórico da desaceleração dos nêutrons, para cuja pesquisa deu, como sempre, contribuições fundamentais.

No outono de 1935, o grupo de Roma separou-se definitivamente. Rasetti, para não participar da guerra da Abissínia, foi para a Columbia University e não mais retornou dos Estados Unidos. Segré, aprovado em concurso, foi assumir uma cátedra em Palermo. Pontecorvo, convidado a trabalhar com F. Joliot, mudou-se para Paris. O. d'Agostino assumiu um emprego definitivo no Istituto Superiore di Sanità.

Quanto ao grupo do Kaiser Wilhelm Institut de Berlim, conquanto em plena atividade, enfrentava alguns problemas. Em março de 1936, Hahn, Meitner e Strassmann publicaram um primeiro trabalho completo sobre atividades sucessivas à irradiação do urânio com nêutrons (HAHN et al., 1936). Conseguiram elencar uma série de dez espécies radioativas, classificando-as do seguinte modo: urânio: 24 minutos; eka-rênio: 16 minutos; eka-ósmio: 12 horas; eka-irídio: 3 dias; urânio: 10 segundos; eka-ósmio: 59 minutos; tório: 4 minutos; eka-rênio: 2,2 minutos; Pa: muito breve. O símbolo eka (do sânscrito) indica um suposto transurânico, quimicamente semelhante ao elemento que acompanha no símbolo.

A situação, como se pode ver, ficava cada vez mais complexa. O trabalho principal era o de radioquímica (que era a especialidade de Hahn e Strassmann), enquanto Meitner ocupava-se em inserir os resultados em um contexto coerente com os fundamentos da física nuclear. Uma complicação posterior se apresentaria, com o possível uso de nêutrons de energia diversa: térmicos, epitérmicos e velozes.

Em 1936, parece que Strassmann deve ter suspeitado da presença de bário entre os produtos da irradiação do urânio, mas, diante da incredulidade de Meitner, deixou de lado esse fato. Se o episódio for verdadeiro,

poderá, talvez, ter relação com uma declaração de Hahn, feita muitos anos depois, na qual ele observa, com azedume, que, se Meitner tivesse permanecido em Berlim, ele e Strassmann jamais teriam descoberto a fissão do urânio.

Em 1937, também o grupo de Berlim entrou em crise com as pesquisas sobre o urânio, tendo abandonado o urânio temporariamente para dedicar-se à irradiação do tório, na esperança de obter informações de outro modo, ou mesmo, como escreveu Strassmann, "para se recuperar do horror do trabalho com o urânio".

Hahn e Meitner já haviam trabalhado anteriormente com o tório: em 1935, tinham encontrado dois processos distintos induzidos por nêutrons e, além disso, tinham muita experiência em extrair mesotório, o precursor do radiotório (HAHN; MEITNER, 1935a). O trabalho com o tório parece, também ele, complicado e, em pouco tempo, foram isoladas seis atividades induzidas por nêutrons no tório.

Na mesma época, em Paris, Irène Curie e Pavel Savitch usavam um método diferente para estudar as reações produzidas por nêutrons sobre o urânio. Ao invés de empregarem técnicas químicas de separação, empregavam sistemas de contadores múltiplos e de filtros para isolar a atividade natural do urânio. Com esse sistema, encontraram as atividades de 40 segundos, 2 minutos e 16 minutos, e mais uma de 3,5 horas, jamais identificada anteriormente. A atividade relativa era intensa e induzida por nêutrons velozes, e não por nêutrons térmicos. Não tinha sido ainda identificada porque ficava no que era filtrado depois da precipitação do urânio. Curie e Savitch postularam que poderia tratar-se de um isótopo do tório (CURIE; SAVITCH, 1937).

Lise Meitner não acreditava nesses resultados, certa de que jamais os nêutrons poderiam interagir com o urânio (Z = 92) para o aparecimento do tório (Z = 90). De qualquer forma, Strassmann procurou tório no produto filtrado, repetindo o experimento de Curie e de Savitch, mas não encontrou nada (MEITNER, 1936).

Curie e Savitch também repetiram o experimento e, em maio de 1938, declararam que a substância caracterizada por 3,5 horas de tempo de decaimento comportava-se como lantânio. Excluindo-se a hipótese de que verdadeiramente se tratava de lantânio, levantaram a hipótese da existência de um transurânico com propriedades semelhantes às do lantânio:

> [...] il semble donc que ce corps ne puisse être qu'un élément transuranien possédant des propriétés très différentes de celles des autres éléments transuraniens connus, hypothèse qui soulève des difficultés d'interprétation (CURIE; SAVITCH, 1938, p. 907).

Assim, pela segunda vez, confirmava-se a observação sobre o bário, feita por Strassmann: os produtos de uma cisão do urânio eram vistos superficialmente, isto é, eram medidos, mas não eram compreendidos nem identificados.

Provavelmente, o foram uma terceira e uma quarta vez. De fato, após a descoberta da fissão do urânio, disseminou-se a ideia de que, anteriormente, no Politécnico de Zurique, Braun, Preiswerk e Scherrer tinham visto os grandes impulsos resultantes de uma fissão, mas esses foram erroneamente atribuídos a problemas eletrônicos. Esse juízo parece plausível e é possível ver evidências dele em um curtíssimo trabalho do grupo de Zurique publicado na *Nature*, onde se lê:

> [...] we have made an attempt to detect directly the presence of these α-particles, which we expected to be of high energy. We used an ionization chamber in conjunction with a linear amplifier. When thorium was bombarded by neutrons from a radium beryllium source, α-particles were detected, which must be ascribed to the reaction $_{90}Th^{232}$ (n,α) $_{88}Ra^{229}$. Preliminary measurements with absorbing screens have shown that those α-particles possess an energy greater than 9 MeV. A full account of these experiments will appear in due course in Helvetica Physica Acta. (BRAUN, 1937, p. 682).

Porém, nada foi publicado sobre esse assunto, nem na *Helv. Phys. Acta*, nem em lugar nenhum.

Outro episódio com interpretação duvidosa é atribuído ao físico Otto Haxel, na época trabalhando no Instituto de Física da Technische Hochschule de Berlim.

> Em julho de 1938, o físico O. Haxel fez uma visita a Hahn para dizer-lhe que, para ele, o produto do bombardeamento de urânio com nêutrons não parecia ser o rádio. "Você diz que não é o rádio" – retrucou Hahn. "Deveria dizer isso a Lise Meitner". Quando Haxel foi ao escritório de Meitner, ela se mostrou totalmente indiferente. (POWERS, 1994).

Depois, ao saber da fuga de L. Meitner, alguns dias depois, Haxel compreenderia o motivo da sua indiferença.

Também esse episódio parece verossímil. Haxel era um ótimo físico experimental e, depois, foi o primeiro na Alemanha a medir diretamente os produtos da fissão por meio de um contador proporcional a gás (HAXEL, 1939).

Em relação a Lise Meitner, nesse mês de julho de 1938, sua situação pessoal, sendo judia, agravou-se em razão das perseguições antissemitas. L. Meitner viu-se obrigada a deixar precipitadamente a Alemanha, com poucos marcos na bolsa, indo, no dia 13 de julho de 1938, primeiro para a Holanda e depois para a Suécia, onde, em Estocolmo, ficou hospedada no instituto dirigido por Manne Siegbahn, Prêmio Nobel de Física em 1924, autoritário "barãozinho" da física sueca e influente membro da Academia Nobel. Lise Meitner já tinha sido hóspede de Siegbahn em 1921, daquela vez em Lund, onde havia passado várias semanas, quando formou uma sólida amizade com Dirk Coster, espectroscopista holandês. Desta vez, porém, Meitner foi apenas tolerada por Siegbahn, que lhe deu uma espécie de bolsa de estudos de uma entidade bastante modesta e não facilitou, de nenhum modo, o seu trabalho.

Além de o Instituto de Siegbahn se mostrar inóspito a L. Meitner, não possuía a maior parte dos equipamentos com os quais estava acostumada em Berlim. As péssimas relações entre Meitner e Siegbahn merece-

riam uma análise separada, em parte porque não se entende o motivo, em parte porque influenciaram de modo negativo o futuro de Lise Meitner, em especial pela não concessão a ela do Prêmio Nobel no período de 1944 a 1946 (CRAWFORD et al., 1997).

Enquanto Lise Meitner definhava em Estocolmo, Hahn e Strassmann continuavam as experiências, mantendo contínuo contato com ela por meio de cartas, e também para obter seus conselhos para a execução de medidas posteriores e para a interpretação dos resultados.

Em 25 de outubro de 1938, Hahn escreveu a Meitner dizendo ter observado a famosa atividade de 3,5 horas, melhor do que I. Curie e Savitch, e de ter a convicção de que se tratava de isótopos do rádio, segundo o processo:

$$_{92}U^{238} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{2}\alpha^{4} + {}_{90}Th^{235} \rightarrow {}_{88}Ra^{231} + {}_{2}\alpha^{4} \quad ...$$

Na realidade, esse processo parecia extremamente improvável, em especial com nêutrons lentos. Lise Meitner não confiava na interpretação de Hahn, cuja competência como químico ela admirava, mas não como físico nuclear. Ouviu-se, muitas vezes, ela assim referir-se a ele, embora em tom de brincadeira: "[...] fique com a química, pois de física você não entende nada!"

Porém, pouco antes do Natal, em 19 de dezembro de 1938, houve uma mudança inesperada. Hahn escreveu à Meitner, falando da perturbadora novidade:

> Segunda-feira à noite, no laboratório. Querida Lise [...] [...] agora são 11 horas da noite. O tempo de decaimento dos três radioisótopos foram determinados exatamente, e eles foram separados de todos os elementos, exceto o bário. Os nossos isótopos de rádio comportam-se como bário [...] [...] pense bem se você encontra uma explicação para tudo isso. Será que se trata de um isótopo do bário com peso atômico muito superior a 137? (HAHN; STRASSMANN, 1939b, p. 11)[42].

[42] Cerca de um mês depois, publicaram um novo trabalho no qual definem melhor alguns detalhes (HAHN; STRASSMANN, 1939b) e logo a seguir outro (HAHN; STRASSMANN, 1939c).

Assim, o ano de 1938 estava terminando com a descoberta, embora ainda não compreendida pelos próprios autores, da fissão nuclear. Parecia que Otto Hahn não tinha percebido as perturbadoras implicações das suas pesquisas. De fato, ele estava relativamente seguro da sua radioquímica, ou seja, de ter isolado o bário como produto da irradiação de urânio com nêutrons, mas, no momento, não tinha nenhuma ideia do seu significado. Pela sua carta parecia, de fato, que ele pensasse em uma espécie de superbário. Em todo caso, pedia ajuda a Meitner para uma correta interpretação.

A carta de Hahn chegou em Estocolmo no dia 21 de dezembro. Ela respondeu quase que imediatamente:

> [...] uma reação com nêutrons que produz bário?! [...] no momento a hipótese de uma grande explosão parece-me difícil, mas, em física nuclear, já experimentamos tantas surpresas que certamente não podemos dizer que seja impossível. (FRISCH, 1979, p. 70).

Porém, enquanto isso, Hahn, sem esperar pela resposta de Meitner, que chegaria no dia 23 de dezembro, envia, em 21 de dezembro de 1938, um breve relatório do seu trabalho à revista *Die Naturwissenschaften*. Nele, refere-se às medidas experimentais que levaram a evidenciar a presença de bário nos produtos da irradiação de urânio com nêutrons lentos (HAHN; STRASSMANN, 1939a). Mais ou menos ao mesmo tempo, enviou também uma cópia do trabalho para Lise, no seu endereço de Estocolmo.

É útil relatar uma das frases conclusivas do trabalho:

> Em relação aos transurânicos, estes são, na realidade, quimicamente parentes dos homólogos Rh, Os, Ir, Pt, mas não iguais a eles [...] Portanto, como químicos, devemos utilizar os símbolos Ba, La, Ce, ao invés de Ra, Ac, Th. Por outro lado, no nosso papel de radioquímicos e, assim, de algum modo, vizinhos da física, não conseguimos ainda decidir fazer esse salto, que contrariaria todos os experimentos feitos até agora na física nuclear. (FRISCH, 1979, p. 71).

Poucos dias depois, em 23 de dezembro, Lise Meitner deixava Estocolmo para passar as férias de Natal com a amiga e física sueca Eva von Bahr-Bergius, em Kungälv, poucos quilômetros ao norte de Göteborg. Foi também convidado Robert Frisch, sobrinho de Lise Meitner, também ele físico, que, no momento, trabalhava com Niels Bohr, em Copenhagen. Frisch tinha fugido de Viena em 1934 e tinha encontrado hospitalidade como refugiado político no Instituto de Bohr, onde trabalhava como assistente de James Franck. Ficou em Copenhague até 1939, antes de transferir-se para os Estados Unidos.

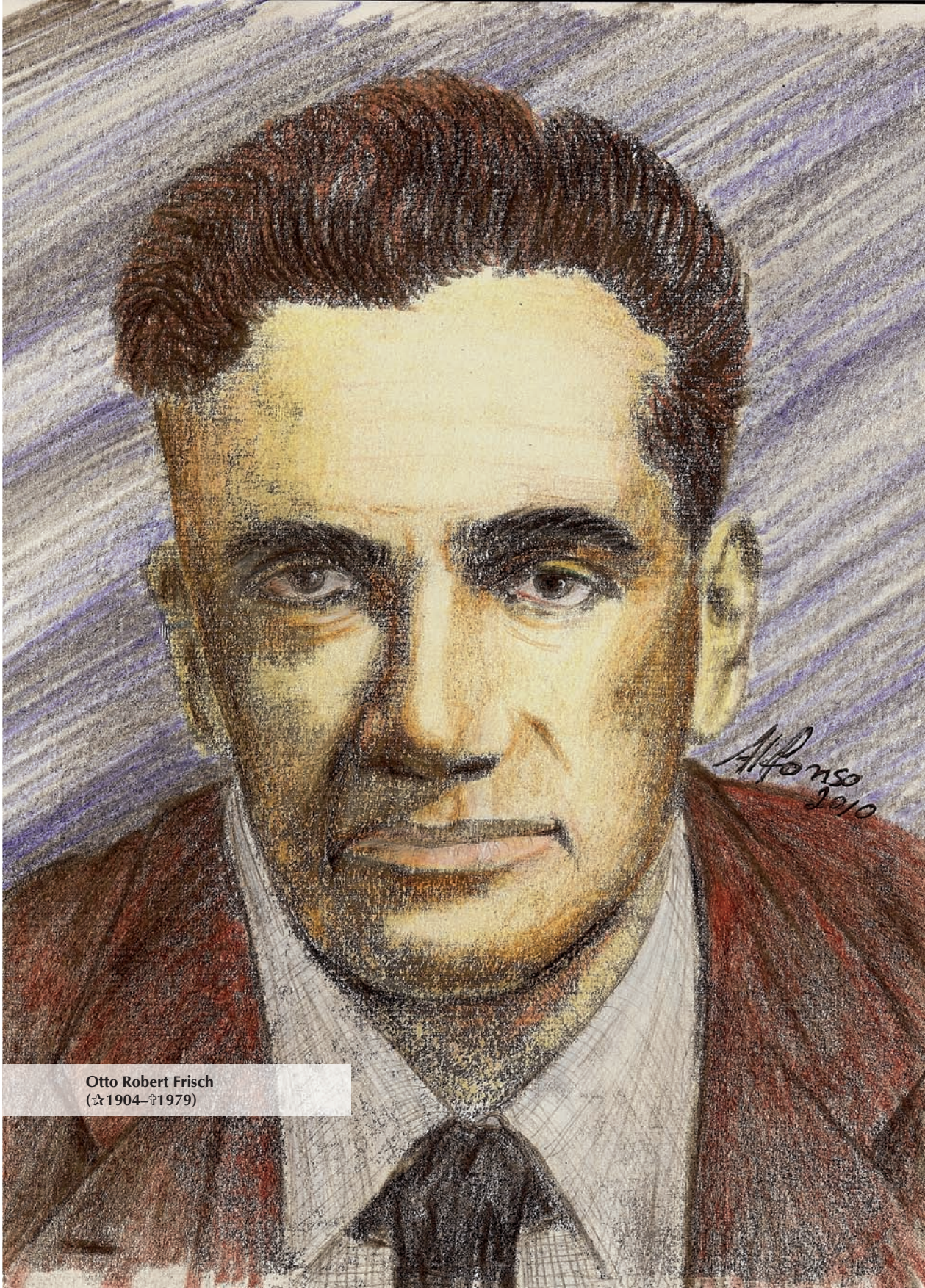
Sobre o que acontece em Kungälv[43], deixemos a palavra com Otto Robert Frisch:

> Quando saí do meu hotel em Kungälv, onde havia passado a noite, encontrei Lise, que estava lendo uma carta de Hahn[44]. Pretendia falar-lhe sobre um novo experimento que tinha em mente, mas ela não queria ouvir-me; queria ler a carta. Hahn e Strassmann tinham achado que aquelas três substâncias radioativas eram bário, e não rádio. A hipótese de que nas suas medidas pudesse ter um erro logo foi descartada por Lise. Hahn era um químico muito bom [...] Caminhamos na neve, para frente e para trás, eu com esquis e ela a pé, e, lentamente, foi ficando claro para nós a hipótese de que, no experimento de Hahn e de Strassmann, não teria acontecido uma fragmentação nem uma fratura do núcleo, mas, ao contrário, um processo que poderia ser explicado com base na hipótese de Bohr de que o núcleo se comportasse como uma gota líquida [...] [...] Sabíamos que existiam forças intensas opondo-se a isso, mas, também, havia entre o núcleo e a gota líquida uma profunda diferença, uma vez que existiam no núcleo cargas elétricas que diminuíam o efeito da tensão superficial. Sentamo-nos sobre um tronco de árvore e começamos a fazer as contas. A carga elétrica do núcleo de urânio era suficientemente grande para anular os efeitos da tensão superficial; portanto, o núcleo de urânio era uma gota instá-

---

[43] Não ficou claro em qual dia aconteceu esse encontro "iluminado" em Kungälv, pois as lembranças dos protagonistas são um pouco confusas. R. L. Sime (1996) tende pelo dia 24 de dezembro, mas também é possível ter acontecido no dia 29 de dezembro. Tudo está ligado à data quando Otto chegou a Kungälv. De fato, não está claro nas lembranças de Lise e de Otto se passaram o Natal juntos, ou se Otto chegou depois do Natal. Otto Frisch contou que passou poucos dias em Kungälv, mas reconheceu não se lembrar bem do episódio. Há dúvidas também se tudo foi compreendido de uma só vez, rapidamente, como conta Otto, romanceando, ou se aconteceu lentamente (SIME, 1996).

[44] Qual carta? Aquela do dia 21? Ou, mais provavelmente, a de 28 de dezembro, que se sabe ter chegado a Kungälv no dia 29? (Como funcionavam bem os Correios naquele tempo!).



Otto Robert Frisch
(☆1904–✝1979)

> vel, pronta para ser dividida com uma mínima perturbação (como o impacto com um nêutron). Mas havia um outro ponto: quando o núcleo de urânio fosse dividido em duas partes por causa da repulsão eletrostática, seriam produzidos cerca de 200 MeV; de onde viria essa energia? Lise lembrava-se de como se faziam os cálculos de massas dos núcleos da chamada *packing fraction formula* (calculada por Karl Friedrich von Weizsäcker (HAHN; STRASSMANN, p. 11), pessoa que tinha sido, entre outros, assistente de Meitner em 1936), e calculou que a massa final seria inferior à inicial em cerca de 1/5 da massa do próton. Como, quando desaparece massa, aparece energia, foi fácil calcular que a tal diferença de massa correspondia exatamente a uma energia de cerca de 200 MeV (WEIZSÄCKER, 1935, p. 431).

Tudo se ajustava! Mas tudo se baseava sobre um só fato experimental: a presença do bário nos produtos de irradiação do urânio. Também era óbvio prever que, com base na sua hipótese, o segundo fragmento da explosão do urânio deveria ser crípton. Além do mais, Lise Meitner compreendeu imediatamente que a descoberta dos assim chamados transurânicos poderia muito bem ser interpretada com a presença de elementos intermediários formados pela quebra dos núcleos de urânio ou de tório.

As experiências sobre os transurânicos deveriam ser reinterpretadas. Otto Hahn pensava a mesma coisa.

Poucos dias depois de ter recebido a carta de L. Meitner, do dia 21 de dezembro, Hahn, no dia 27 de dezembro, telefonou a Paul Rosbaud, editor da *Die Naturwissenschaften*, para acrescentar, ao trabalho já enviado, a seguinte frase, inspirada pela carta de Meitner:

> [...] em relação aos transurânicos, esses elementos são quimicamente aparentados com os homólogos rênio, ósmio, irídio, platina, mas não idênticos. Se são quimicamente iguais aos homólogos mais leves – masúrio, rutênio, ródio, paládio –, nada foi provado até agora. Sobre isso não se podia pensar anteriormente. A soma de Ba + Ma, 138 + 101, dá, por exemplo, 239. (HAHN, 1939c, p. 163).

Em 28 de dezembro, Hahn escreve a L. Meitner, submentendo a ela essa questão:

> [...] em relação às minhas fantasias sobre o bário, talvez possa discutir sobre isso com Otto Robert, que está aí com você [...] [...] seria possível que o urânio 239 (urânio 238 + 1 nêutron) se quebrasse em bário e masúrio (aquele que depois é descoberto e chamado de tecnécio por Emilio Segré!) [...] [...] não sei, só sei que o nosso rádio tem as características do bário e que o nosso actínio não tem as características corretas do elemento 89. Se existe alguma coisa de verdade em tudo isso, então os transurânicos estão todos errados. Não sei se estou triste, mas, com certeza, não é por isso. (FRISCH, 1979, p. 57).

Também Otto Hahn estava começando a compreender, mas, confundindo número de massa com número atômico, errava clamorosamente nas contas. De fato, a soma dos números atômicos do bário (Z = 56) com o masúrio (Z = 43) dá Z = 99, que é realmente muito! Sobre esses erros, que hoje parecem despropositados, deve-se lembrar, em defesa de Hahn, que ele era químico e, ademais, estava-se ainda no início da compreensão dos fenômenos nucleares.

Em 1º de janeiro de 1939, Lise Meitner responde à carta, aproveitando também para cumprimentar pelo novo ano, que, talvez, seja bem possível que o núcleo de urânio se quebre, mas [...] "[...] a sua hipótese, que dá como resultado bário e molibdênio, é impossível" (Meitner escreveu Mo como molibdênio, e não Ma – como masúrio). Otto Frisch "intromete-se" na carta, observando: "[...] se a sua descoberta for verdadeira, então é do maior interesse! Temos aqui uma bela neve e estou esquiando[45]".

Como se vê, Lise Meitner é reticente com O. Hahn, não lhe descrevendo, por exemplo, a discussão tida com O. R. Frisch. Não estava convencida da interpretação dada, ou não queria mostrar a Hahn os resultados da interpretação antes de a pesquisa ser publicada?

Em 3 de janeiro de 1939, Otto Frisch, que, nessa altura, tinha retornado a Copenhague (provavelmente na segunda-feira, dia 2), escreveu

---

[45] Se é verdade que O. Frisch passou poucos dias em Kungälv, conforme ele mesmo escreveu, então o famoso encontro deve ter ocorrido pouco antes do final do ano, talvez no dia 29 de dezembro.

à tia que tinha discutido com Niels Bohr sobre sua teoria da cisão da gota d'água, em relação ao bombardeamento de urânio com nêutrons, e sentiu Bohr entusiasmado com a interpretação deles. Bohr havia lhe prometido que não falaria com ninguém sobre a descoberta deles, antes da publicação do respectivo trabalho. Depois da entusiástica aprovação de Bohr, L. Meitner e O. R. Frisch, para tornar mais rápida a publicação, decidiram enviar uma nota à revista *Nature* (MEITNER; FRISCH, 1939).

Ao contrário da sua tia em Estocolmo, O. R. Frisch tinha à sua disposição, em Copenhague, uma estrutura científica excepcional, que incluía um cíclotron em condição de gerar nêutrons; além do mais, estava cercado por outros físicos de alto nível. Assim, imediatamente pensou em fazer uma verificação experimental da hipótese deles, procurando revelar os fragmentos da fissão do núcleo de urânio, que deveriam ter uma elevadíssima energia cinética e, portanto, deveriam dar lugar a impulsos de elevada amplitude. Durante muitos dias, a tia e o sobrinho discutiram o experimento por carta e por telefone, estudando como evidenciar os íons pesados emitidos na quebra do núcleo de urânio, em relação à emissão α natural.

Enquanto isso, no dia 6 de janeiro de 1939, tinha saído, na *Die Naturwissenschaften,* o trabalho de Hahn e de Strassmann sobre a evidência da presença de bário na irradiação de urânio com nêutrons. Naturalmente, o trabalho provocou alvoroço entre a comunidade dos físicos europeus (a revista somente chegaria às mãos dos americanos algumas semanas depois)[46].

No dia 8 de janeiro de 1939, Otto Robert Frisch ainda escreveu à sua tia:

---

[46] A descoberta da fissão deu a Otto Hahn o Prêmio Nobel de Química de 1944 (entregue em 1945). Sobre o porquê da não premiação de F. Strassmann ou de L. Meitner e O. Frisch, leia-se: *A Nobel tale of postwar injustice*, de E. Crawford, R. L. Sime e M. Walker (1997).

> [...] o que você acha de isolar os fragmentos constituídos pelos núcleos de recuo com um contador proporcional, dada a sua elevadíssima capacidade de ionização[...] [...] sexta-feira (6 de janeiro) falei novamente, por bastante tempo, com Bohr, em particular sobre a avaliação da tensão superficial, e ele concordou comigo plenamente [...] [...] na manhã seguinte escrevi estes rascunhos (do trabalho que pretendem enviar à *Nature*, do qual lhe envio uma cópia) e os levei a Bohr na estação, antes que ele partisse [...] [...] Ontem, quando chegou o trabalho de Hahn e de Strassmann, falei com Placzek, que se mostrou cético (mas ele sempre o é!) [...] [...] George (von Hevesy), ao contrário, quando viu o trabalho, disse-me que Irène Curie tinha lhe dito, no fim da primavera passada, que ela havia encontrado elementos leves na irradiação do urânio com nêutrons, mas não tinha se decidido a publicar os resultados. Bem, ela já ganhou o Prêmio Nobel e, seja como for, pode dar-se por satisfeita! (FRISCH, 1979, p. 70).

Será que von Hevesy fazia referência ao citado trabalho (HAHN; MEITNER, 1935) de Irène Curie e de Pavel Savitch?

Em 13 de janeiro de 1939, Otto Frisch realizou as medidas previstas e, imediatamente, viu os impulsos relativos aos fragmentos da "quebra" do núcleo de urânio. Assim, retardou alguns dias o envio da nota à *Nature,* de modo a poder enviar, ao mesmo tempo, uma nota posterior com a descrição das medidas feitas (FRISCH, 1939). Em 16 de janeiro, finalmente, encaminhou as duas notas à *Nature,* tendo a primeira, a que foi escrita juntamente com sua tia, aparecido em data de 11 de fevereiro. É útil relatar alguns pontos importantes dessa primeira nota:

> [...] Hahn e Strassmann deveriam ter concluído que isótopos do bário (Z = 56) são produzidos como consequência do bombardeamento de urânio (Z = 92) com nêutrons.
>
> À primeira vista, esse resultado parece difícil de interpretar [...] [...] Todavia, com base em recentes ideias sobre o comportamento dos núcleos pesados, pode ser sugerido um quadro completamente diferente e substancialmente clássico [...] [...] Em um núcleo pesado, pode-se esperar que as partículas se movam de modo coletivo, como em uma gota d'água. Se esse movimento é acelerado por uma adição externa de energia, essa gota pode dividir-se em duas gotas menores. (FRISCH, 1939, p. 276).

Na segunda nota de O. R. Frisch à *Nature*, apareceu pela primeira vez o termo *fission* (fissão) para descrever a quebra do núcleo de urânio.

Esse termo, que era usado para descrever a divisão celular, foi sugerido a Frisch por William A. Arnold, que também trabalhava no Instituto de Niels Bohr.

Enquanto O. Frisch enviava seus trabalhos à *Nature*, o entusiasmo pela descoberta da fissão nuclear estava se propagando rapidamente, inclusive nos Estados Unidos. O agente, embora involuntário, era Niels Bohr. É interessante relatar detalhadadamente como as coisas aconteceram, lembrando que havíamos deixado Niels Bohr na estação de Copenhague, enquanto cumprimentava O. R. Frisch, que tinha acabado de lhe dar um primeiro rascunho da nota que enviaria à *Nature* (a primeira).

Niels Bohr tinha decidido, desde o começo de 1938, que passaria o segundo semestre do ano acadêmico seguinte no Institute for Advanced Study, em Princeton, como professor-visitante (AASERUD, 1985; STUEWER, 1985). Além disso, conseguira uma bolsa de estudos, em Princeton, para Leon Rosenfeld, seu colaborador direto. No sábado, 7 de janeiro de 1939, às 10h30, Niels Bohr, com o filho Erik, estavam prestes a pegar o trem que os levaria a Göteborg, onde embarcariam no navio Drottingholm, que os levaria a New York.

Nessa mesma manhã de 7 de janeiro de 1939, O. R. Frisch estava escrevendo o trabalho que enviaria à *Nature* e que havia discutido no dia anterior com Bohr. Este último tinha sugerido algumas modificações que, naquele momento, Frisch estava incorporando ao texto, na máquina de escrever. Escreve O. R. Frisch à sua tia: "[...] na manhã seguinte (7 de janeiro), comecei a bater à máquina o trabalho, mas consegui terminar somente duas páginas, que levei a Bohr, que estava partindo. Ele as colocou no bolso, sem tempo para lê-las" (FRISCH, 1979, p. 57).

Leon Rosenfeld, que chegou ao navio separadamente, assim descreveu a viagem até New York:

> [...] Assim que chegamos a bordo, Bohr disse-me que tinha recebido um pouco antes uma nota de Frisch e de Meitner sobre a possível explicação dos fenô-

> menos descritos por Hahn e por Strassmann; depois, o tempo ficou péssimo durante toda a travessia e Bohr passou muito mal. Apesar disso, trabalhou muito sobre as possíveis implicações do trabalho de Frisch e de Meitner e sobre as probabilidades do processo de fissão em relação a outros processos em andamento (COHEN; STACHED, 1979, p. 75).

Não parece que Bohr tenha recomendado a Rosenfeld que não falasse com ninguém sobre a descoberta de Frisch e de Meitner, como Bohr tinha prometido a Frisch.

Depois de 9 dias de navegação, na segunda-feira, 16 de janeiro de 1939, às 13 horas, o Drollingholm chegava a New York, onde Bohr era esperado no cais por Enrico e Laura Fermi. Enquanto Bohr permanecia por alguns dias em New York, onde não falou sobre a fissão com Fermi, Rosenfeld seguia para Princeton, onde participou, naquele mesmo dia, do "Monday-evening meeting of Princeton's Physics Journal Club", oportunidade em que falou com todos sobre a fissão do urânio.

Alguns dias depois, em 20 de janeiro, Bohr chegava a Princeton, onde esperou, ansioso, por notícias de Frisch. Não tendo recebido nenhuma correspondência e, provavelmente, estando preocupado com o "vazamento" das notícias, escreveu-lhe imediatamente, perguntando sobre o trabalho que Frisch deveria enviar à *Nature*. E anexou à carta um trabalho seu, com um pedido para que a secretária o encaminhasse à *Nature*.

No dia 24 de janeiro, diante da falta de notícias e cada vez mais preocupado, voltou a escrever a Frisch, relembrando-lhe da urgência do envio do artigo à *Nature*, e observando que, nos Estados Unidos, estavam preparando várias experiências para a verificação da fissão nuclear, sendo que, nesse ínterim, tinha chegado o trabalho de Hahn e de Strassmann publicado na *Die Naturwissenschaften*. Escreveu Bohr: "estou muito ansioso por novas notícias do seu trabalho". Enquanto isso, Frisch, ignorando tudo e ainda estressado por todo o trabalho que havia feito, escreveu a Bohr, no dia 22 de janeiro.

Depois da Conferência de Washington, da qual falaremos a seguir, no domingo, 29 de janeiro, Bohr retornou a Princeton, onde, ainda sem notícias de Frisch, começou a bombardeá-lo com telegramas. Frisch, por seu lado, não sabia explicar todo esse nervosismo de Bohr, não imaginando que ele estava extremamente preocupado em salvaguardar a prioridade de Frisch e Meitner em relação à interpretação da fissão, e, além disso, por sentir-se culpado por não ter sabido manter o silêncio sobre ela, como havia prometido. Finalmente, Frisch respondeu-lhe com um longo telegrama, explicando-lhe que enviara os trabalhos à *Nature* e resumindo-lhe as medidas feitas nesse ínterim.

Por fim, no dia 2 de fevereiro, chegaram, mais ou menos ao mesmo tempo, o telegrama e a carta de Frisch, de 22 de janeiro, juntamente com a cópia dos dois trabalhos enviados. Bohr, ao receber a carta, literalmente deu saltos de alegria e se tranquilizou. Enfim, em 15 de março, Frisch desculpou-se por todos esses inconvenientes, explicando a Bohr: [...] isto foi devido, em parte, à minha falta de imaginação; jamais teria pensado que o trabalho de Hahn e Strassmann desencadearia tal corrida [...] [...] quando repenso em tudo isso não encontro explicações para o meu comportamento, a não ser o meu cansaço depois dos experimentos.[47]

Antes disso, no dia 26 de janeiro, Bohr e Fermi (este último tinha tomado conhecimento dos resultados e, em particular, do relatório de Rosenfeld em Princeton, pelo seu colaborador Anderson, mas também por outros relatos de Willis Lamb) participaram de um Seminário de Física Teórica, que foi rapidamente organizado por G. Gamow e M. Tuve, na Carnegie Institution, em Washington, no âmbito de um Congresso sobre Propriedades Eletromagnéticas da Matéria, que aconteceria de 26 a 28 de janeiro.

---

[47] Na realidade, Otto R. Frisch tinha, naquele período, um motivo de grave preocupação: seus pais, Auguste (irmã de Lise Meitner) e Justinian, judeus, tinham sido presos em Viena durante a Noite dos Cristais, e levados para Dachau. Otto e Lise tiveram muito trabalho, naquele início de janeiro de 1939, para lhes obter um visto para a Suécia. Finalmente, tudo deu certo e, em 14 de janeiro, os dois obtiveram o visto e foram para Estocolmo.

Depois de concordarem com o conteúdo, Bohr e Fermi tomaram a palavra e contaram os mais recentes progressos da física nuclear. Assim se lê no *report* do seminário:

> [...] certamente a discussão mais excitante foi aquela sobre a desintegração do U-239 em duas partes quase iguais, com uma liberação de cerca de 200 MeV de energia por desintegração. A produção de bário, em seguida ao bombardeamento de urânio com nêutrons, foi descoberta por Hahn e por Strassmann, há aproximadamente 2 meses. A explicação do fenômeno foi dada por Frisch e Meitner. Os professores Bohr e Rosenfeld chegaram há duas semanas com essas notícias. Os professores Bohr e Fermi discutiram sobre energias de excitação e sobre as probabilidades de transição (SQUIRE, 1939, p. 180).

Alguém que participou da reunião escreveu, depois, que Bohr tinha, como de costume[48], murmurado alguma coisa quase incompreensível sobre o fenômeno descoberto por Hahn e Strassmann, enquanto Fermi, claramente, o explicou e interpretou.

Retornemos agora a um grande protagonista desta história, isto é, a Enrico Fermi. Fermi partiu de Roma para Estocolmo no dia 6 de dezembro de 1938, para participar da premiação e receber o Prêmio Nobel, mas com a declarada intenção, confessada apenas a seus colaboradores mais íntimos, de deixar definitivamente a Itália e ir para os Estados Unidos, onde já lhe tinha sido oferecida uma prestigiada posição na Columbia University. A decisão de Fermi, em boa parte, era devida ao fato de que sua mulher, Laura Capon, era judia.

Desde 1929, Fermi era sócio da Reale Accademia d'Italia e era secretário da Seção das Ciências Físicas, Matemáticas e Naturais (o presidente era Giancarlo Vallauri). É interessante observar que, no Anuário da Academia, no período de 1937 a 1940, não há nenhuma referência sobre a outorga do Prêmio Nobel de Física a Fermi (novembro de 1938); e,

---

[48] O tom de voz de Bohr era sempre muito baixo, o que dava a impressão de que ele não tinha o dom da clareza. Depois de um colóquio de uma hora com o secretário de Estado Dean Acheson, esse lhe confidenciou que "estava muito interessado nas opiniões de Bohr, mas não tinha entendido nenhuma palavra".

nas Assembleias da Seção das Ciências, depois da partida de Fermi, há apenas a indicação de "ausente justificado", pelo menos até o fim de maio de 1939. Depois desse período, nada mais se fala sobre ele. Emilio Segré, na biografia que escreveu sobre Fermi, contou assim:

> [...] Fermi soube da descoberta da fissão pouco depois de sua chegada a New York, no dia 2 de janeiro de 1939. No dia 16 de janeiro, também Niels Bohr chegou aos Estados Unidos, e dirigiu-se a Princeton, onde, em uma conferência, anunciou a descoberta da fissão e a sua interpretação. O físico Willis Lamb tinha assisitido à conferência e transmitiu a notícia a Fermi. (SEGRÉ, 1970).

H. L. Anderson, da Columbia University, dá uma versão diferente dos fatos, pelo menos quanto aos detalhes (ANDERSON et al., 1939). Em relação à biografia de Segré, pode-se notar que foi excluído da versão de Anderson que Fermi tinha sabido da fissão na sua chegada a New York, no dia 2 de janeiro. De fato, o número da *Die Naturwissenschaften*, com o artigo de Hahn e Strassmann, saiu apenas em 6 de janeiro, na Europa, e cerca de 2 semanas depois nos Estados Unidos. É praticamente certo que Fermi tenha recebido a notícia sobre a fissão por intermédio de I. Rabi e/ou de W. Lamb – ambos presentes em Princeton, de 16 a 20 de janeiro –, ou talvez em 20 de janeiro, quando do retorno deles a New York, ou até mesmo no início da semana seguinte. Vinte e cinco anos depois, o próprio Fermi escreveria que fora informado por Willis Lamb (FERMI, 1955).

Não se tem informações sobre a reação ou sobre os comentários de Fermi diante do anúncio da fissão nuclear, de cuja descoberta ele e seus colaboradores chegaram tão perto, aproximadamente 5 anos antes. Aliás, Fermi não era uma pessoa de manifestar fortes emoções.

Na quarta-feira, 25 de janeiro, Fermi combinou com Anderson e Dunning um experimento semelhante ao executado nos dias 13 e 14 de janeiro, por Frisch, em Copenhague. Ainda no dia 25 de janeiro, Dunning havia observado, por meio de uma câmara de ionização e de um osciloscópio, os intensos impulsos de ionização produzidos por

fragmentos da fissão do urânio (ANDERSON, 1939), que Frisch já havia visto cerca de 10 dias antes em Copenhague, e Joliot mais ou menos nos mesmos dias, 25 e 26 de janeiro.[49]

Uma contribuição semelhante foi relatada por Henry Barschall (BARSCHAL, 1987), que tinha deixado a Alemanha em 1937, e, no começo de 1939, estava completando a sua tese de graduação com Morton Kanner, sob a orientação de Rudolf Ladenburg, também ele alemão, fugido do Kaiser Wilhelm Institut de Berlim em 1931, para

---

[49] A "corrida para a fissão" foi espasmódica, especialmente nos Estados Unidos. Uma lista, provavelmente incompleta, em ordem de acontecimentos, é a seguinte:

a) O. R. Frisch. Physical evidence for the division of heavy nuclei under neutron bombardment. (FRISCH, 1939). Medidas de 13 de janeiro de 1939.

b) F. Joliot. Preuve experimentelle de la rupture explosive des noyaux d'uranium et de thorium sous l'action des nêutrons. (JOLIOT, 1939b). Experimento realizado em 26 de janeiro.

c) H. H. Anderson, E. T. Booth, J. R. Dunning, E. Fermi, G. N. Glasoe, F. G. Slack: The fission of uranium. (ANDERSON, 1939).

d) G. K. Green, L. W. Alvarez: Heavily ionizing particles from uranium. (GREEN; ALVAREZ, 1939). 31 de janeiro de 1939.

e) Fowler, R. D.; Dodson, R. W. Intensely ionizing particles produced by neutrons bombardment of uranium and thorium. (FOWLER; DODSON, 1939). 3 de fevereiro de 1939, experimento de 28 de janeiro.

f) P. Abelson. Cleavage of uranium nucleus. (ABELSON, 1939). 3 de fevereiro de 1939.

g) R. B. Roberts, R. C. Meyer, L. R. Hafstad. Droplet fission of uranium and thorium nuclei. (ROBERTS et al., 1939). 4 de fevereiro de 1939, experimento de 28 de fevereiro, mostrado a Fermi e Bohr, na Carnegie Institution de Washington.

h) D. R. Corson, R. L. Thornton. Disintegration of uranium. (CORSON, THORNTON, 1939). 16 de fevereiro de 1939.

i) E. McMillan. Radioactive recoils from uranium activated by neutrons. (McMILLAN, 1939). 17 de fevereiro de 1939.

j) R. Roberts, R. C. Meyer, P. Wang. Further observations on the splitting of U and Th. (ROBERTS et al., 1939). 18 de fevereiro de 1939.

k) J. Thibaud, A. Moussa. La disintegration de l'uranium par l'effet de neutrons et la particion de cet élément. (THIBAUD; MOUSSA, 1939). 27 de fevereiro de 1939.

l) W. Jentschke, F. Prankl: Untersuchung der schweren Kernbruchstücke beim Zerfall von neutronenbestrahlten Uranium und Thorium. (JENTSCHKE; PRANKL, 1939). 14 de fevereiro de 1939.

m) M. Ageno, E. Amaldi. (AGENO; AMALDI, 1939).

n) R. Ladenburg, M. H. Kanner, H. Barschall, C. C. van Voorthis: Study of uranium and thorium fission produced by fast neutrons. (LADENBURG, 1939). 22 de maio de 1939.

o) L. Turner. (TURNER, 1940).

tornar-se professor em Princeton. Em 16 de janeiro, os dois formandos ouviram com grande interesse a apresentação de Rosenfeld, de quem já falamos, e ficaram tentados a abandonar, temporariamente, as suas teses para poderem se dedicar ao estudo da irradiação com nêutrons. Alguns dias depois, Ladenburg levou Bohr ao seu laboratório e o convenceu a tentar observar os produtos da fissão do urânio com um contador proporcional a gás. Preparadas a instrumentação e uma amostra de urânio, Barschall e Kanner não tiveram nenhuma dificuldade em revelar os impulsos da fissão do urânio irradiado com nêutrons velozes (BARSCHAL, 1939, p. 989).

Emilio Segré, que, por sua vez, também tinha se transferido para os Estados Unidos, em julho de 1938, e tinha aceitado um cargo em Berkeley, assim anotou em sua autobiografia:

> [...] no começo de 1939 (provavelmente ao redor de 20 de janeiro), a notícia da descoberta da fissão do urânio por Hahn e por Strassmann chegou a Berkeley. As experiências foram imediatamente repetidas, mas não por mim. Não me agradava precipitar-me naquela competição e, ainda que tenha sido um dos primeiros a trabalhar com o urânio, continuei as minhas pesquisas sobre outros assuntos. (SEGRÉ, 1995, p. 93).

Em ordem cronológica, talvez o primeiro, depois de Meitner e de Frisch, a perceber, na Europa, a importância da descoberta de Hahn e de Strassmann, foi Frédéric Joliot, em Paris, aliás, com quem começamos este capítulo. Ele apressou-se em fazer medidas com o urânio e o tório, imediatamente registrou os produtos da fissão nuclear e apresentou os resultados na Académie de Sciences, na reunião de 30 de janeiro de 1939 (JOLIOT, 1939a).

Edoardo Amaldi, por seu turno, assim descreveu aquele período:

> [...] em janeiro de 1939 veio a lume o trabalho de Hahn e de Strassmann, no qual era comunicada a descoberta da fissão. Em seguida, foi divulgado o trabalho de O. R. Frisch e de F. Joliot, onde foram observados, diretamente, embora com métodos diversos, os produtos da fissão. Mario Ageno e eu tínhamos projetado, nos anos anteriores, um amplificador proporcional, no qual, entre outras coisas, se empregavam tubos eletrônicos mais modernos do que aqueles

> que eram até então usados, seguindo o esquema de Wynn-Williams. Em seguida, fizemos algumas medidas semelhantes às de Frisch, ou seja, observamos os fragmentos da fissão emitidos, sob a ação de nêutrons lentos, por uma fina camada de urânio colocada diante de uma pequena câmara de ionização conectada ao amplificador. Os nossos resultados não só confirmaram os de Frisch, como se mostraram melhores. Estávamos nos preparando para publicá-los, mas Rasetti nos convenceu a não fazê-lo. Foi um erro, porque experimentos análogos, alguns inferiores aos nossos, continuaram a ser publicados durante todo o ano de 1939, na imprensa internacional. Depois de anos, várias vezes nos perguntamos, eu e Ageno, por que tínhamos nos deixado influenciar de tal forma por Rasetti (AGENO; AMALDI, 1939, p. 207).

Da leitura de revistas especializadas (*Z. Physik*, *Die Naturwissenschaften*, *Phys. Re.*, *Nature*, entre outras), nos primeiros meses de 1939, e de artigos sobre as medidas de revelação da fissão, podemos fazer algumas observações interessantes:

- Há um grande número de breves comunicações sobre a revelação do processo de fissão nos Estados Unidos, onde a notícia da fissão chegou mais ou menos em 20 de janeiro; na *Phys. Rev.,* entre o fim de janeiro e o mês de abril, pode-se ler umas 20 breves verificações experimentais da fissão. Os centros interessados são: Laboratório Pupin da Columbia University, onde estavam Fermi e Szilàrd; Princeton, onde, no Institute for Advanced Study, Bohr e Wheeler desenvolviam os aspectos teóricos, e onde Ladenburg e seus colaboradores realizavam as medidas; Berkeley, onde as escolas de Lawrence e de McMillan tinham todos os equipamentos experimentais; e em Washington, na Carnegie Institution, onde, em 26 de janeiro, Bohr e Fermi deram a notícia da fissão.

- Há, ao contrário, uma escassez de artigos escritos por pesquisadores da Alemanha, onde, afinal, a fissão fora descoberta. De fato, além de artigos posteriores de O. Hahn e de F. Strassmann, nos quais foram especificados alguns detalhes, não foram encontrados mais do que dois ou três artigos. Entre os artigos alemães, é interessante ler um de Ida Noddack, que protesta veementemente por jamais ter sido citada por O. Hahn, L. Meitner e F. Strassmann (NODDACK, 1939, p. 212).

> Assim escreveu Ida Noddack: "Meine Kritik der Fermischen Versuch haben sie weder in ihrer ersten noch in ihrer vielen späteren Publikationen zitiert […] […] lehnte O. Hahn ein Zitieren meiner Arbeit ab[…] […] für irrsinnig hielt […]".[50]

A esse artigo, seguem-se poucas linhas de comentários por parte de Hahn e de Strassmann (Lise Meitner já estava em Estocolmo e não sabemos se foi advertida sobre o artigo de Noddack): "Die Herren Otto Hahn und Fritz Strassmann haben [...] […] weder Zeit noch Lust auf vorstehende Notiz zu antworten […]"[51]

Trata-se, evidentemente, de uma resposta absolutamente gélida. Já havíamos tentado explicar essa atitude hostil por parte principalmente de Otto Hahn, mas a explicação não é nada convincente. Teria havido alguma conflito pessoal, no passado, entre Otto Hahn e Ida Noddack?

Somente em 1966, pouco antes de morrer, Otto Hahn declarará: "[...] und die Ida hatte doch Recht".[52]

Referências

AASERUD, F. Niels Bohr as fund raiser. **Physics Today**, Melville, v. 38, n. 10, p. 38-47, 1985.

ABELSON, P. Cleavage of uranium nucleus. **Physical Review**, College Park, v. 55, n. 4, p. 418, 1939.

ACOCELLA, G.; GUERRA, F.; ROBOTTI, N. La scoperta della radioattività indotta da neutroni: il ritrovamento ad Avellino del 1°. quaderno di laboratorio di Enrico Fermi. **Il Nuovo Saggiatore**, Bologna, v. 19, n. 1/2, p. 9-18, 2003.

---

[50] Minhas críticas ao experimento de Fermi jamais foram citadas, nem na primeira publicação dos experimentos, nem nas posteriores [...] [...] O. Hahn na realidade sempre considerou louca a minha hipótese [...].

[51] Otto Hahn e Fritz Strassmann não têm tempo nem vontade de responder à precedente comunicação (sequer citam o nome de Noddack).

[52] Indubitavelmente, Ida tinha razão!

AGENO, M.; AMALDI, E. Echi dall'estero: il núcleo dell'uranio scisso in due parti. **Ricerca Scientifica**, Rome, v. 10, p. 207-208, 1939.

AMALDI, E. From the discovery of the neutron to the discovery of nuclear fission. **Physics Reports**, Amsterdam, v. 111, n. 1/4, p. 1-331, 1984.

ANDERSON, H. H.; BOOTH, E. T.; DUNNING, J. R.; FERMI, E.; GLASOE, G. N.; SLACK; F. G. The fission of uranium. **Physical Review**, College Park, v. 55, n. 5, p. 511-512, 1939.

BARSCHALL, H. H. Penetrative beta particles from uranium activated by neutrons. **Physics Today**, Melville, v. 55, n. 10, p. 989, 1939.

BARSCHALL, H. H. Reminiscences of the early days of fission. **Physics Today**, Melville, v. 40, n. 6, p. 27-32, 1987.

BOHR, N. Disintegration of heavy nuclei. **Nature**, London, v. 143, p. 330, 1939. Letters to the editor.

BOHR, N. Neutron capture and nuclear constitution. **Nature**, London, v. 137, n. 344-351, 1936.

BRAUN, A.; PREISWERK, P.; SCHERRER, P. Detection of alpha particles in the desintegration of thorium. **Nature**, London, v. 141, p. 682, 1937.

COHEN, R. S.; STACHED, J. J. (Ed.). **Selected papers of Leon Rosenfeld**. Boston: Reidel, 1979.

CORSON, D. R.; THORNTON, R. L. Disintegration of uranium. **Physical Review**, College Park, v. 55, p. 509, 1939.

CRAWFORD, E.; SIME, L.; WALKER, M. A Nobel tale of postwar injustice. **Physics Today**, Melville, v. 50, n. 9, p. 26-32, 1997.

CURIE, I.; JOLIOT, F. Un nouveau type de radioactivité. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 197, p. 254, 1934.

CURIE, I.; SAVITCH, P. Sur les radioéléments de période 3.5 heures formé dans l'uranium irradié par les nêutrons. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 206, p. 906-908, 1938.

CURIE, I.; SAVITCH, P. Sur les radioéléments formés dans l'uranium irradié par les neutrons. **Journal de Physique et Le Radium**, v. 8, p. 385, 1937.

FERMI, E. Physics at Columbia University: the genesis of the Nuclear Energy Project. **Physics Today**, Melville, v. 8, p. 12-16, 1955. Discurso feito na C. U. The Fifth Washington Conference on Theoretical Physics, em 30 de Janeiro de 1954.

FERMI, E. Possible production of elements of atomic number higher than 92. **Nature**, London, v. 133, p. 757, 1934.

FERMI, E. Radioattivitá prodotta da bombardamento di neutroni. **La Ricerca Scientifica**, Rome, v. 1, p. 283, 1934. Carta à Direção de 25 de março de 1934.

FERMI, E.; AMALDI, E.; PONTECORVO, B.; RASETTI, F.; SEGRÉ, E. Azione di sostanze idrogenate sulla radioattività provocata da neutroni. **La Ricerca Scientifica**, Rome, v. 2, n. 7/8, p. 282, 1934.

FERMI, L. **Atomi in famiglia**. Milano: Mondadori, 1965.

FOWLER, R. D.; DODSON, R. W. Intensely ionizing particles produced by neutrons bombardment of uranium and thorium. **Physical Review**, College Park, v. 55, p. 417, 1939.

FRISCH, O. R. Physical evidence for the division of heavy nuclei under neutron bombardment. **Nature**, London, v. 143, p. 276, 1939. Letters to the editor.

FRISCH, O. R. **What little I remember**. Cambridge: Cambridge University Press, 1979.

GREEN, G. K.; ALVAREZ, L. W. Heavily ionizing particles from uranium. **Physical Review**, College Park, v. 55, p. 417, 1939.

GROSSE, A. von; AGRUSS, M. The chemistry of element 93 and Fermi's discovery. **Physical Review**, College Park, v. 46, n. 3, p. 241, 1934.

HAHN, O. **Mein Leben**. München: Bruckmann, 1968.

HAHN, O.; MEITNER, L. Die künstliche Umwandlung des Thoriums durch Neutronen. **Die Naturwissenschaften**, Heidelberg, v. 23, p. 320, 1935.

HAHN, O.; MEITNER, L. Über die umwandlung des urans durch neutronen. **Die Naturwissenschaften**, Heidelberg, v. 23, n. 2, p. 37-38, 1935.

HAHN, O.; MEITNER, L.; STRASSMANN, F. Einige weitere bemerkungen über die künstlichen umwandlungsprodukte beim Uran. **Die Naturwissenschaften**, Heidelberg, v. 23, n. 31, p. 544-545, 1935.

HAHN, O.; MEITNER, L.; STRASSMANN, F. Neue umwandlungsprozesse bei bestrahlung des urans: elemente jenseits Uran. **Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft**, Berlin, v. 69, p. 905-919, 1936.

HAHN, O.; STRASSMANN, F. Nachweis aktiver bariumisotope aus uran und thorium durch neutronenbestrahlung: nachweis weiterer aktiver bruchstücke bei der uranspaltung. **Die Naturwissenschaften**, Heidelberg, v. 27, n. 6, p. 89-95, 1939a.

HAHN, O.; STRASSMANN, F. Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittles Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle. **Die Naturwissenschaften**, Heidelberg, v. 27, n. 1, p. 11-15, 1939b.

HAHN, O.; STRASSMANN, F. Über die Bruchstücke beim Zerplatzen des Urans. **Die Naturwissenschaften**, Heidelberg, v. 27, n. 10, p. 163-164, 1939c.

HAXEL, O. Energie und Reihweite der schweren Urantrümmel. **Zeitschrift fur Physikalische Chemie**, Munich, n. 112, p. 681, 1939.

JENTSCHKE, W.; PRANKL, F. Untersuchung der schweren Kernbruchstücke beim Zerfall von neutronenbestrahlten Uranium und Thorium. **Die Naturwissenschaften**, Heidelberg, v. 27, v. 134, 1939.

JOLIOT, F. Observations par la méthode de Wilson des trajectoires de brouillard des produits de l'explosion des noyaux d'uranium. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 208, p. 341-647, 1939a.

JOLIOT, F. Preuve experimentelle de la rupture explosive des noyaux d'uranium et de thorium sous l'action des nêutrons **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 208, p. 341-343, 1939b.

JOLIOT, F.; CURIE, I. **Radioactivité artificielle**. Paris: Hermann, 1935.

KOLIC, O. Bohemium. **Chemiker Zeitung**, Leipzig, v. 58, p. 591, 1934.

LADENBURG, R.; KANNER, M. H.; BARSCHALL, H.; VOORTHIS, C. C. van. Study of uranium and thorium fission produced by fast neutrons. **Physical Review**, College Park, v. 56, p. 168, 1939.

McMILLAN, E. Radioactive recoils from uranium activated by neutrons. **Physical Review**, College Park, v. 55, p. 510, 1939.

MEITNER, L. Atomkern und periodisches system der elemente. **Die Naturwissenschaften**, Heidelberg, v. 22, n. 44, p. 733-739, 1934a.

MEITNER, L. Über die Umwandlung der Elemente durch Neutronen. **Die Naturwissenschaften**, Heidelberg, v. 22, n. 45, p. 759, 1934b.

MEITNER, L. Wege und Irrwege zur Kernenergie. **Naturwissenschaftliche Rundschau**, Stuttgart, v. 16, p. 167-169, 1936.

MEITNER, L.; FRISCH, O. R. Disintegration of uranium by neutrons, a new type of nuclear reaction. **Nature**, London, v. 143, p. 239, 1939. Letters to the editor.

NODDACK, I. Bemerkung zu der Untersuchungen von O. Hahn, L. Meitner und F. Strassmann über die Produkte, die bei der Bestrahlung von Uran mit Neutronen entstehen. **Die Naturwissenschaften**, Heidelberg, v. 27, p. 212-213, 1939.

NODDACK, I. Über das Element 93. **Angewandte Chemie**, Weinheim, v. 47, p. 653, 1934.

PERRIER, C.; SEGRÉ, E. Some chemical properties of element 43. **Journal of Chemical Physics**, Melville, v. 5, p. 712-716, 1937.

POWERS, T. **La storia segreta dell'atomica tedesca**. Milano: Mondadori, 1994.

RASETTI, F. Sopra un forte preparato di Radio D ottenuto nell'Istituto Físico di Roma. **La Ricerca Scientifica**, Rome, v. 1, p. 1-31934.

ROBERTS, R. B.; MEYER, R. C.; HAFSTAD, L. R. Droplet fission of uranium and thorium nuclei. **Physical Review**, College Park, v. 55, p. 416, 1939.

ROBERTS, R.; MEYER, R. C.; WANG, P. Further observations on the splitting of U and Th; **Physical Review**, College Park, v. 55, p. 510, 1939.

SEGRÉ, E. **A mind always in motion**. Berkeley: University of California Press, 1993.

SEGRÉ, E. **Autobiografia di un fisico**. Bologna: Il Mulino, 1995. 417 p.

SEGRÉ, E. Enrico Fermi: físico. **Zanichelli**, Bologna, 1970.

SEGRÉ, E. Misure sulle sostanze radioattive artificiali sensibilità dei radio elementi alle sostanze ideogenate. **Nuovo Cimento**, Bologna, v. 12, n. 4, p. 232-239, 1935.

SIME, L. **Lise Meitner**: a life in physics. Berkeley: University of Califórnia Press, 1996.

SQUIRE, C. F.; BRICKWEDDE, F. G.; TELLER, E.; TUVE, M. A. The Fifth Washington Conference on Theoretical Physics. **Science**, v. 89, n. 2304, p. 180-182, 1939.

STUEWER, R. H. Bringing the news of fission in America. **Physics Today**, Melville, v. 38, n. 10, p. 48-65, 1985.

THIBAUD, J.; MOUSSA, A. La disintegration de l'uranium par l'effet de neutrons et la particion de cet élément. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 208, p. 742, 1939.

TURNER, L. Nuclear Fission. **Reviews of Modern Physics**, v. 12, p. 1-291940.

WEIZSÄCKER, F. W. von. Zur Theorie der Kernmassen. **Zeitschrift fur Physikalische Chemie**, Munich, n. 96, p. 431-458, 1935.

Capítulo 9

A FÍSICA DURANTE O NAZIFASCISMO

Os cientistas alemães não devem se perguntar se estão pesquisando a verdade, mas se suas pesquisas contribuirão para o progresso do nacional-socialismo.
Joseph Goebbels

O nacional-socialismo e, em menor grau, o fascismo (dada a menor importância científica da Itália) provocaram graves danos à ciência alemã, à italiana e à europeia, em geral; em particular, provocaram danos irreparáveis à física alemã. Como veremos, os grandes beneficiários da crise da ciência europeia foram os Estados Unidos da América, e, em menor grau, o Canadá e a América Latina, com especial atenção para a Argentina e o Brasil, tradicionais destinos de emigrantes europeus.

Para se ter uma ideia sobre a situação, basta dar uma olhada na distribuição das nacionalidades dos prêmios Nobel em matérias científicas (física, química e medicina) entre 1901 e 1945, e compará-la com a distribuição entre 1946 e 2000. No primeiro período, o percentual de prêmios Nobel europeus (excluindo os alemães) foi de 54%; apenas os alemães, 30%; e os americanos, 15%. Foi quase nula a contribuição dos outros países. No segundo período, depois da guerra, o percentual europeu (excluindo o alemão) diminuiu para 22%, o alemão decresceu para 12%, enquanto o percentual americano subiu para 51% e o dos outros países foi de 14% (NOBEL PRIZE, 2005).

É evidente que o aumento de prêmios Nobel para americanos está correlacionado à emigração, em particular antes, durante e depois da II Guerra Mundial, de muitos físicos europeus, em especial (mas não só) de alemães, principalmente em razão da perseguição aos judeus e aos adversários do nazifascismo. Certamente, o crescimento científico americano não foi devido apenas a esse fenômeno, mas também a um crescimento natural e geral desse país, que já era ou estava se encaminhando para ser, além de maior potência econômica e militar, a maior potência científica mundial.

De qualquer forma, é indiscutível a perda de competitividade alemã, demonstrada pela grande queda em prêmios Nobel nas matérias científicas, reduzidos a aproximadamente um terço, enquanto a dos europeus, a mais do que a metade. Depois da II Guerra Mundial, a Europa perdeu sua primazia na ciência. E, em relação à física, o seu centro de gravidade deslocou-se da Alemanha para os EUA (poder-se-ia dizer, simbolicamente, de Göttingen para Princeton). E também a "língua" da física, que até a II Guerra Mundial era proponderantemente o alemão – tanto que era praticamente obrigatório para os físicos falar, ler e escrever em alemão, e muitas entre as mais importantes revistas eram alemãs –, passou a ser, depois da guerra, a língua inglesa.

Procuremos, agora, analisar detalhadamente a situação da física alemã (e depois da física italiana) antes, durante e depois do nacional-socialismo e do fascismo, lembrando que, antes do advento do nazismo, a física alemã era, com certeza, a mais importante do mundo, como servem de testemunho os cerca de 15 prêmios Nobel em 25 anos.

Os danos que provocou o regime nacional-socialista, que chegou ao poder em 1933, foram particularmente graves, em razão da ação conjunta de várias causas:

- A intenção do regime nazista de colocar, sob controle político, a ciência e a universidade, em geral, e a física, em particular, por considerá-la um covil de judeus e comunistas.

- As leis sobre a regulamentação dos empregos estatais, do fim de janeiro de 1933, que levaram à expulsão dos judeus e de parte dos dissidentes, das universidades e dos centros de pesquisa.
- As fortes divergências intrínsecas à física, entre a física alemã (ou física ariana), personificada, como veremos, por P. Lenard e J. Stark (ambos prêmios Nobel e, portanto, personagens de relevo), e a física moderna (representada pelos defensores da relatividade e da mecânica quântica), defendida pela maior parte dos físicos alemães.

As três causas listadas entrelaçavam-se naturalmente, amplificando seus efeitos. A última causa é também a cronologicamente mais antiga, uma vez que remonta à I Guerra Mundial, ou um pouco depois, isto é, ao ano de 1918. Philipp Lenard foi quem iniciou essa divergência e depois passou a ser o inspirador daqueles que o seguiram, tendo recebido o Prêmio Nobel em 1905, por suas pesquisas fundamentais sobre os raios catódicos.

Lenard tinha uma personalidade difícil[53]. Foi assistente de Heinrich Hertz em Bonn e, antes da morte deste, em 1892, já havia dado uma importante contribuição à pesquisa experimental. Depois que Röntgen descobriu os raios X, Lenard ficou amargurado pelo fato de jamais ter sido citado por Röntgen nos seus trabalhos como um dos seus inspiradores, porque acreditava, com certa razão, ter sido ele a lhe preparar o terreno.

Em 1901, Lenard fez outra importante descoberta: era possível extrair elétrons de um metal, irradiando-o com raios ultravioleta (LENARD, 1899, 1905), isto é, tinha descoberto o efeito fotoelétrico, cuja explicação teórica foi dada por Einstein, em 1905 (EISNTEIN, 1905). No início do século 20, o relacionamento entre Einstein e Lenard era ótimo,

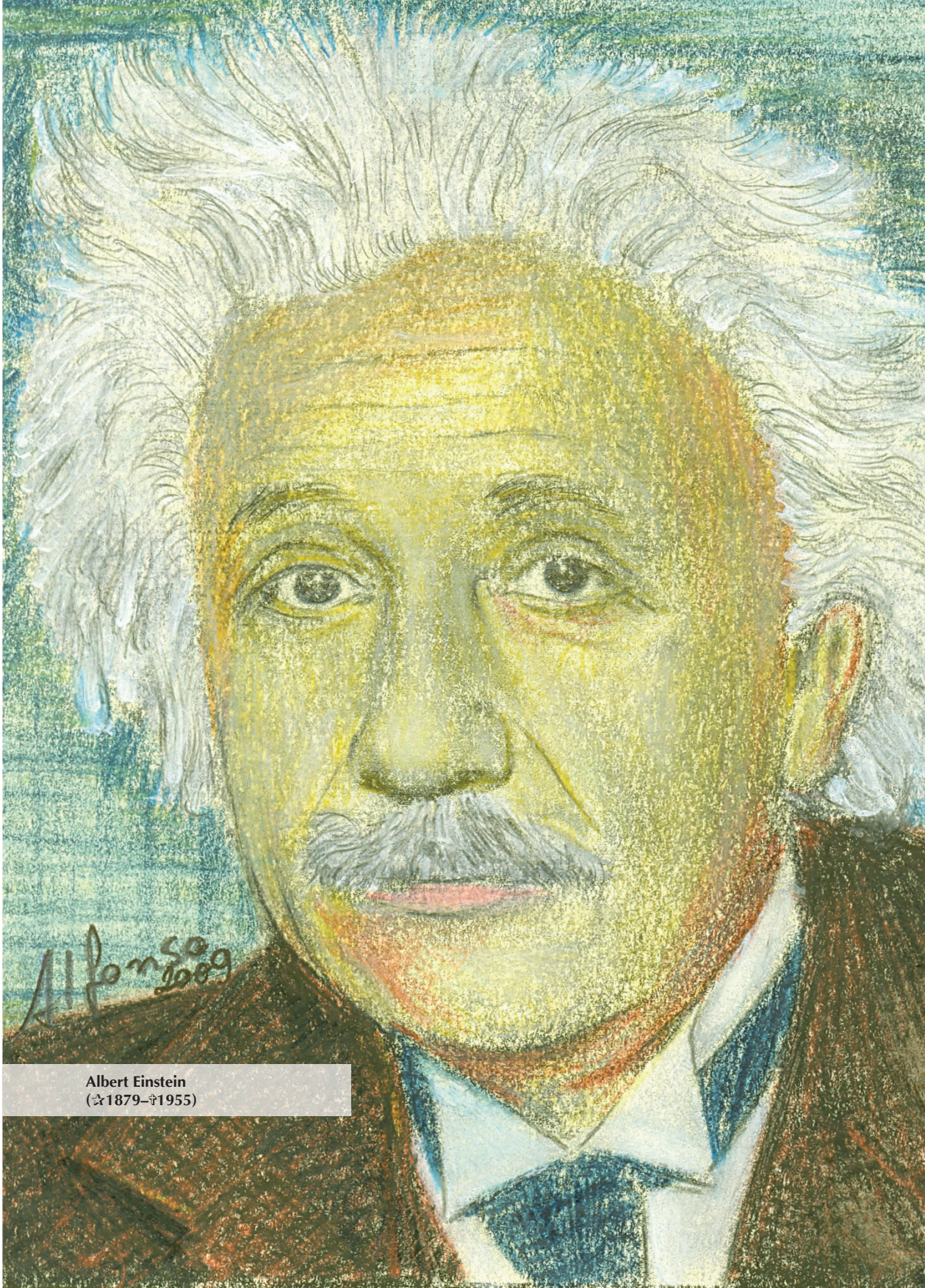
[53] Ver o capítulo 2, dedicado a Philip Lenard.

mesmo que mantido apenas por cartas. Entre outras coisas, Lenard foi professor de Mileva, que se tornaria a mulher de Einstein durante uma permanência dela em Heidelberg, de outubro de 1897 a maio de 1898. Mileva tinha ficado entusiasmada com as aulas de Lenard.

A partir de então, Lenard praticamente deixou de trabalhar experimentalmente, mas começou a fazer especulações sobre o éter, mesmo depois de Einstein já ter elaborado a teoria da relatividade. Depois, começou a polemizar com o próprio Einstein e, a seguir, com os grandes físicos da mecânica quântica (Sommerfeld, Born, Heisenberg, entre outros), primeiro com motivações de tipo pseudocientífico, observando que não se tratava de física experimental, a única física, segundo ele, válida, mas de estranhas teorias matemáticas, e, depois, com considerações "germânicas" e antissemitas.

Aproximadamente na metade dos anos 1920, começava a nascer o nacional-socialismo, com o qual Lenard identificou-se imediatamente, e, por certo, não foi por oportunismo. Pouco depois, iniciou uma singular amizade com Johannes Stark, também ele Prêmio Nobel em 1919, e descobridor da separação das linhas espectrais em um campo elétrico, mas, com certeza, pesquisador inferior, cientificamente, a Lenard. Curiosamente, nos primeiros anos da sua carreira, também Stark era um admirador de Einstein, para quem escreveu, em 1908: "eu me empenho por você todas as vezes que posso e faço votos para que seja dada uma oportunidade de indicá-lo, o mais rápido possível, para uma cátedra de física teórica na Alemanha" (BORN, 1980, p. 69).

A história de Stark, outro grande promotor da física ariana, foi, sob vários aspectos, diversa da de Lenard. Johannes Stark nasceu em 15 de abril de 1874, nas terras da família, em Schickenhof, na Baixa Renânia. Depois de ter frequentado escolas em Weiden e em Regensburg, estudou física em Munique, onde terminou os estudos depois de 3 anos, em 1897. Ficou em Munique por algum tempo, como assistente, e depois se transferiu para Göttingen, como assistente e livre-docente. Ali ensinou



Albert Einstein
(☆1879–✝1955)

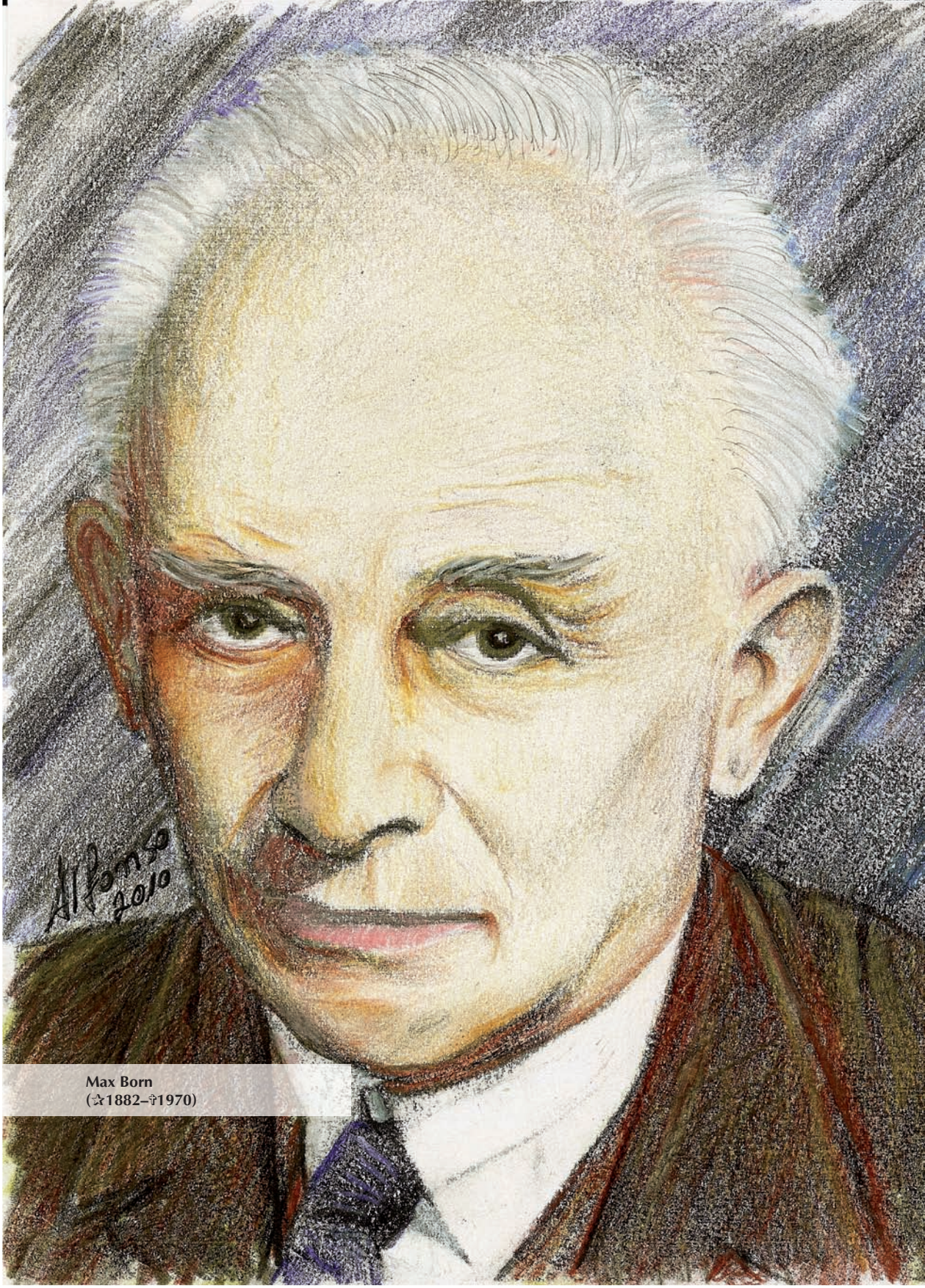
radioatividade e descobriu o efeito Doppler para os "raios-canal", cuja descoberta, juntamente com a do assim chamado "efeito Stark", que descobriu em 1913, lhe deram o Prêmio Nobel em 1919.

Atentemos para o que Max Born disse sobre Stark, que, quando estudante, o teve como professor de radioatividade:

> [...] a minha primeira tentativa com os cursos de física foi um fracasso total. O professor Johannes Stark tinha anunciado um curso sobre radioatividade [...] [...] Não fazia demonstrações experimentais e descrevia as experiências de modo obscuro, e os resultados eram formulados como se fossem atos de fé.
>
> [...] A seguir, Stark deveria atravessar várias vezes o meu caminho: sem dúvida tinha uma habilidade genial para manobrar os aparelhos, mas jamais aprendi, com ele, qualquer coisa de física. [...] era um homem mal-humorado que entrava em conflito com qualquer faculdade da qual fizesse parte. E como precisasse de um bode expiatório para justificar o seu péssimo caráter, começou a odiar os físicos teóricos porque não conseguia compreendê-los, e os judeus porque, entre os físicos teóricos, havia muitos deles. (BORN, 1980, p. 40).

Em 1906, Stark foi contratado como professor pela Technische Hochschule de Hanover e, em 1909, como professor-titular de física pela Technische Hochschule (TH): tratava-se de uma escola técnica superior, bastante comum na Alemanha, de Aachen. Nos primeiros anos como professor, Stark demonstrou uma atitude favorável à física moderna e manteve uma intensa correspondência com Einstein, manifestando grande admiração por sua teoria da relatividade e pela teoria do efeito fotoelétrico. Tanto é verdade que, enquanto estava em Aachen, chegou a oferecer a Einstein um cargo de assistente.

Começou a brigar com Einstein por problemas de prioridades ligados à explicação da fotoquímica como processo quântico, e depois indispôs-se com muitos colegas, entre os quais, Sommerfeld. Em 1913, descobriu o efeito Stark, isto é, o efeito de um campo elétrico sobre órbitas eletrônicas (STARK, 1914). Esse efeito não poderia ser explicado pela física clássica, e as tentativas bem-sucedidas de explicá-lo por meio da mecânica quântica foram rejeitadas por ele.



Max Born
(☆1882–✞1970)

No período de 1917 a 1920, Stark esteve na Universidade de Greifswald e, durante os 2 anos que se seguiram, em Würzburg. Ali foi muito criticado por algumas de suas iniciativas, como a de investir o que tinha ganhado com o Prêmio Nobel em uma fábrica de porcelana e de dedicar suas pesquisas a problemas puramente técnicos. Foi de tal forma contestado que, em 1922, deixou a universidade para dedicar-se à propriedade da família em Schickenhof, nas proximidades de Munique, onde organizou um laboratório pessoal. A partir de então, Stark ficou isolado pelos acadêmicos, e cada candidatura sua a um cargo de professor nas universidades de Berlim, de Tübingen, de Breslau, de Marburg, de Heidelberg e de Munique, entre 1924 e 1928, foi rejeitada. Os motivos foram, além da sua já citada personalidade difícil, a sua recusa em aceitar as teorias físicas modernas, em particular a mecânica quântica. Um pouco frustrado, Stark começou a dedicar-se à política. Na verdade, desde o final da I Guerra Mundial, tinha desenvolvido um arraigado sentimento de nacionalismo e, depois, fez uma forte oposição ao regime de Weimar.

Em 1924, assinou, juntamente com Lenard, uma apelação a favor de Hitler (LENARD, STARK, 1924), gesto que se materializou em solidariedade quando sua mulher passou a manter Hitler com pacotes de mantimentos durante a sua prisão, depois do frustrado golpe de Munique. Em 1º. de abril de 1930, Stark entrou, entre os primeiros intelectuais, para o Partido Nacional-Socialista. A partir daí, iniciou também uma notável atividade como orador político, ocasião de que se serviu para criticar em especial a igreja católica e as bases do sistema educacional.

Quando Hitler assumiu o poder, no início de 1933, as coisas começaram a dar certo para Stark. De fato, em 1º de maio de 1933, foi nomeado presidente da Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR), uma instituição de prestígio, semelhante ao National Bureau of Standards americano. Nesta posição, iniciou uma longa batalha para tentar "apropriar-se" das estruturas da pesquisa alemã. Em 30 de abril de 1934, propôs a fun-

dação da Reichsforschungsakademie (Academia de Pesquisa do Reich), que deveria indicar as linhas diretivas da pesquisa.

Naturalmente, o projeto de Stark provocou muitas reações contrárias e foi deixado de lado. Para limitar e controlar seu poder, foi-lhe, então, oferecida a presidência da Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft (NDW) – a partir de 1937, Deutsche Forschungsgemeinschaft, DF –, que ele assumiu em 23 de junho de 1934. Esse instituto tinha grande importância para a pesquisa alemã, porque financiava boa parte das pesquisas. Também aí encontrou muita oposição, principalmente por tentar impor um novo Comitê Central segundo os princípios nazistas. Em 1936, ficou mais vulnerável por conta de inimizades feitas com Alfred Rosenberg, Rudolf Menzel e os poderosos da SS, a quem tinha negado financiamento, alegando que suas pesquisas não eram científicas. Finalmente, atolou-se em problemas, ao conceder um elevado financiamento a um ambicioso projeto, pelo qual estava muito interessado, de prospecção de ouro nas zonas pantanosas do sul da Alemanha. Em 15 de janeiro de 1937, foi obrigado a deixar a presidência da NDW. E, em 1939, deixaria também a presidência da PTR. De qualquer modo, seu projeto de controlar a física alemã estava falido desde 1936.

Depois da II Guerra Mundial, Stark foi submetido a um processo criminal, do qual resultou sua condenação a 5 anos de prisão, mas a Corte de Apelação de Munique preferiu considerá-lo como responsável secundário e o condenou a uma simples pena pecuniária. Morreu em 1957, em Traunstein, na fronteira entre a Alemanha e a Áustria, próximo a Salzburgo.

Na década de 1920, Lenard e Stark, conhecidos e estimados nos ambientes da direita alemã, tinham sido, em contrapartida, excluídos do grande cenário da física alemã da época – antes e durante o período do nacional-socialismo –, física que era capitaneada por grandes cientistas, como Planck, Einstein, von Laue, Franck, Born, Hahn, Sommerfeld e Stern.

Alguns deles tinham influência na indicação de nomes para as cátedras, podendo, por exemplo, sugerir os próprios alunos para elas. Lenard, que também era professor na conceituada universidade de Heidelberg, ali era marginalizado, enquanto Stark, como vimos, que já tinha abandonado a universidade para dedicar-se a pesquisas aplicadas em sua indústria particular, nunca mais conseguiu retornar ao meio acadêmico.

Depois que Hitler assumiu o poder, em janeiro de 1933, muitas coisas mudaram, mas Lenard não foi favorecido, em termos práticos, pelo nazismo, do qual recebeu, de qualquer forma, muitas honrarias. Mas Stark, mais jovem e mais esperto, soube se beneficiar da situação, conseguindo ser nomeado para cargos de grande projeção na área da física alemã.

Anteviam-se tempos difíceis para a nova física, em particular para os representantes e defensores da teoria da relatividade e da mecânica quântica. Como costuma suceder nesses casos, alguns físicos aliaram-se a Lenard e a Stark, quer por motivos ideológicos, quer por oportunismo. Já outros, como Plank, von Laue e Heisenberg, por medo, preferiram não ficar em evidência e não alcançaram, de qualquer forma, grande projeção. Einstein tinha emigrado para os Estados Unidos no final de 1932.

Não havia consenso entre os expoentes da física alemã, que discordavam entre si, em especial sobre o conceito de tecnologias aplicadas à física. De fato, para Lenard e seus seguidores, os desenvolvimentos tecnológicos representavam um desvio da verdadeira física, e as bases tecnológicas da industrialização eram tidas como uma afronta. Por sua vez, Stark e seus seguidores consideravam a técnica como uma fonte de poder. Mas essa divergência "menor" foi fortemente mascarada pelo fato de que ambos eram fanáticos nacional-socialistas e antissemitas.

A regulamentação dos empregos estatais, efetuada em lei do fim de janeiro de 1933, portanto menos de um mês depois da subida de Hitler ao poder (isso nos faz compreender o quanto esse comportamento estava no coração do regime), de fato expulsava os professores e pesquisadores



Arnald J. W. Sommerfeld
(☆1868–✝1951)

judeus (era suficiente ter um quarto de sangue judeu) e dava um golpe de misericórdia na física alemã. Consultando uma lista sumária dos físicos judeus ou dos opositores ao regime nazista que foram embora da Alemanha, espontânea ou forçadamente, podemos sentir a extensão do problema: Einstein, Born, Stern, Franck, Heitler, Peierls, Wigner, Teller, Szilàrd, von Neumann, Bethe, Schrödinger, Meitner, Frisch, Bloch, Beck e Göppert-Mayer. Nem todos eram alemães de nascimento (por exemplo, Schrödinger, Meitner e Frisch eram austríacos; Wigner, Szilàrd, Teller e von Neumann, húngaros), mas todos tinham como referência a ciência e a cultura da grande Alemanha.

Mas retomemos nossa história do começo, isto é, a partir de 1907, focalizando a figura de Philip Lenard, que foi, mais tarde, provavelmente em 1922, o iniciador do movimento antissemitismo na física alemã. Aproximadamente em 1907, Lenard começou a estudar pormenorizadamente a teoria da relatividade, elaborada por Einstein em 1905, a publicar trabalhos sobre o éter e a participar de discussões relativas à própria teoria. A posição de Lenard em relação à teoria da relatividade especial pode ser dividida, com bastante precisão, em três períodos (LENARD, 1930): o da adesão (de 1907 a 1910), o da aceitação limitada (de 1915 a 1919) e o de total desacordo (de 1920 a 1922). Na primeira fase, aderiu à teoria da relatividade e estava de acordo com algumas das suas conclusões, como a dependêndia da massa da velocidade e a velocidade da luz como limite insuperável. Todavia, insistia na sua teoria do éter como portador das cargas elétricas e magnéticas (LENARD, 2003).

Em 1909, Johann Laub, o primeiro colaborador de Einstein em Berna, começou a trabalhar como assistente de Lenard em Heidelberg.

Da troca de cartas entre Laub e Einstein, apreendemos que, nesse período, Einstein e Lenard tinham uma grande estima um pelo outro. Ainda em março de 1910, Einstein definia Lenard como um gênio. Isso durou pelo menos até uma conferência sobre o éter, que Lenard fez em 1910.

Quando conheceu os detalhes do texto dessa conferência, Einstein manifestou claramente sua opinião a Laub (22.8.1910): "Lenard, por muitos motivos, deve estar profundamente confuso. A sua recente conferência sobre esse complicado éter parece-me quase infantil. [...] Desagrada-me muito que ele se ocupe com estas besteiras" (EINSTEIN, 2005, p. 39). E, em uma carta seguinte: "[...] é mesmo um tipo confuso este Lenard!" (EINSTEIN, 2005, p. 39). No final, Laub, também por solicitação e com a ajuda de Einstein, foi para La Plata, Argentina, como professor de física teórica (mais ou menos no fim de 1911). Nas memórias de Lenard (LENARD, 1930), jamais apareceu o nome de Laub. Porém, ainda em 1913, quando Lenard procurava um docente de física teórica para o seu instituto, assim escreveu para Arnold Sommerfeld: "[...] se eu pudesse ter uma personalidade como a de Einstein!" (LENARD, 1936, p. 51). De todo modo, o comportamento de Lenard até a explosão da I Guerra Mundial foi completamente apolítico.

Durante a I Guerra Mundial, no dia 4 de outubro de 1914, 93 dos mais importantes cientistas alemães – entre os quais Lenard, Stark, Röntgen e Planck – assinaram um manifesto de solidariedade ao Exército[54], a propósito de uma presumida brutalidade da qual era acusado quando da ocupação da Bélgica. É interessante observar que, naquela época, aderiram ao manifesto e, também, com certo entusiasmo, à guerra, tanto os físicos "arianos" quanto os físicos "judeus", sem qualquer distinção. Planck, que não era judeu, aderiu com entusiasmo, mas aderiram e depois participaram da guerra vários físicos judeus, entre os quais Otto Stern, Karl Schwarzschild, Max Born, o matemático David Hilbert, o químico Fritz Haber e muitos outros. Este último ofereceu-se prontamente como voluntário para o serviço militar, mas foi reprovado no exame físico. A rejeição o deixou chateado, mas as suas descobertas químicas, em particular a do amoníaco, foram cruciais para a guerra, da qual pôde participar, uniformizado, como especialista.

---

[54] 4/10/1914 – Manifesto de 100 cientistas a favor do Exército.

Einstein recusou-se a assinar o manifesto, mas, sendo cidadão suíço[55], correu pouco risco de ser tratado como traidor. Ademais, o seu pacifismo ainda não era evidente, tanto que, indiretamente, participou do desenvolvimento de um sistema giroscópico e, com certeza, tentou projetar um aeroplano. Em uma carta endereçada ao chefe do Departamento Experimental da Luftverkehrgesellschaft, Einstein propunha usar asas curvas, como o dorso de um gato, para aumentar o impulso de ascensão. Depois de uma discussão com os engenheiros da sociedade, ficou decidida a tentativa de montar, sobre um avião, essas asas curvas, mas o voo não foi bem-sucedido, e o piloto salvou-se por milagre. Em seguida, Einstein admitiu ter ficado bastante embaraçado.

Lenard começou a reanalisar a teoria da relatividade geral entre 1915 e 1919, então, durante o período da guerra. Na verdade, quem iniciou essa polêmica foi o físico Ernst Gehrcke, que sustentava que o deslocamento do periélio do planeta Mercúrio, uma das consequências da relatividade geral, já tinha sido previsto e calculado anteriormente, em 1898, por Paul Gerber, com considerações da mecânica clássica. Lenard apoiou a solicitação de Gehrcke de reimprimir o trabalho de Gerber, o que veio a acontecer. Mas, nos *Annalen der Physik,* apareceram duas críticas destrutivas sobre o trabalho de Gerber, feitas por H. Seeliger e M. von Laue, nas quais mostravam, entre outras coisas, erros matemáticos (LAUE, 1917).

Sobre outros pontos importantes da teoria da relatividade, Lenard sustentava que Einstein havia copiado cientistas que o precederam. Em especial, em relação à deflexão da luz em um campo gravitacional, ele teria copiado de um astrônomo que viveu no início do século 19, Johann Soldner (SOLDNER, 1804), enquanto, para a famosa equivalência $E = mc^2$, ele teria se inspirado no físico austríaco Friedrich Hasenöhrl

[55] Em 1901, Einstein renunciou à cidadania alemã e adotou a cidadania suíça, que conservou por toda a vida. Emigrou para os Estados Unidos em 1933 e nunca mais quis colocar os pés em território alemão.

(HASENÖHRL, 1904), que, com efeito, tinha estabelecido a equivalência $E = \frac{3}{4} mc^2$ um ano antes de Einstein. Cumpre salientar, porém, que, neste último caso, jamais existiram questões de prioridade entre Einstein e Hasenöhrl, sendo que ambos participaram dos congressos Solvay de 1911 e de 1913. Hasenöhrl morreu na guerra, em 1915. É curioso o fato de que Einstein jamais o tenha citado no seu estudo fundamental sobre a relatividade especial, de 1905.

Em 1918, Lenard publicou o trabalho *Sobre os princípios da relatividade, do éter e da gravitação* (LENARD, 1918), no qual aceita totalmente a teoria da relatividade especial, mas, apenas parcialmente a da relatividade geral. Note-se que, para Lenard, o conceito de éter é irrenunciável; e a relatividade geral deve limitar-se a acelarações dependentes da massa, isto é, somente no campo gravitacional.

Hermann Weyl comentou, com expressões sarcásticas, no *Umschau*, no dia 23.10.1920: "[...] deve-se simplesmente constatar que Lenard não captou o sentido da teoria da relatividade" (STARK, 1936, p. 107). Todavia, os trabalhos de Lenard em 1918 e 1919 e as contínuas trocas de opinião entre os dois confirmam que não havia, até então, nenhuma ruptura entre ele e Einstein, o que só viria a acontecer na metade dos anos 1920.

Para se compreender completamente o que aconteceu em agosto de 1920, em Berlim, é interessante recordar e entender a situação em que se vivia naquela época, na Alemanha.

Perdida a guerra, o país amargou a perda de cerca de 1/6 dos seus territórios e a morte de aproximadamente 6 milhões de habitantes. Depois do Tratado de Versalhes, foi obrigado a pagar elevados custos "de reparação". A situação econômica era péssima e o país estava tomado por greves contínuas e inflação, fome e desemprego. A Alemanha estava em estado de caos, e o povo buscava um bode expiatório sobre cujos ombros pudesse descarregar suas frustrações. Muitos encontraram o

bode expiatório nos judeus. Naquela época, em Berlim, viviam 140 mil judeus, e o antissemitismo, que praticamente sempre esteve incubado na Europa Central, era abertamente manifestado. A isso juntaram-se as divisões culturais e científicas criadas, por exemplo, pela "nova física", principalmente pela teoria da relatividade. Enfim, deve-se lembrar que, sempre por causa da guerra, os cientistas alemães ficaram isolados e não lhes era permitido participar de congressos e encontros internacionais.

Anteriormente, em 1919, duas expedições inglesas tinham observado um eclipse solar e tinham visto a luz das estrelas que se curvava, segundo a teoria de Einstein. Inicialmente, esses resultados encheram de orgulho os alemães, uma vez que esta teoria tinha sido formulada por um alemão, ou, pelo menos, por alguém considerado alemão, já que tinha nascido em Ulm, na Alemanha, e que, embora pacifista, democrático, cidadão do mundo e judeu, tinha atingido, em pouco tempo, uma grande popularidade. Essa sua inesperada fama deveu-se, provavelmente, às entusiásticas manchetes nos jornais ingleses e americanos. *Triunfa a teoria de Einstein*, anunciou, por exemplo, o *New York Times*.

À medida que a história se difundia, os jornalistas tentavam conhecer o homem que a motivara. Admiraram-se ao encontrar, ao invés de um professor universitário velho e estereotipado, um homem excêntrico, com uma cabeleira selvagem, um fascínio inconstante, muitas vezes um conquistador, dotado de um notável senso de humor. Assim, Einstein revelou-se matéria de grande interesse e logo suas opiniões passaram a ser solicitadas para qualquer assunto. "Todos querem artigos, declarações, fotografias", escreveu Einstein (2005, p. 39) em dezembro de 1919.

Naturalmente, pelos mesmos motivos pelos quais tornou-se popular para alguns, Einstein e a sua teoria da relatividade tornaram-se, para outros, um alvo fácil para o ressentimento que tomava conta da população alemã depois da humilhação da I Guerra Mundial. Ergueu-se contra ele

uma campanha de ódio, que se alimentava de antissemitismo, talvez de inveja por parte dos seus colegas e de hostilidade pela sua oposição à guerra. Em fevereiro de 1920, criou-se um tumulto durante uma conferência ministrada por ele na Universidade de Berlim, e, em 24 de agosto, houve uma grande manifestação popular na maior sala de concerto da cidade, a Filamônica, com o único objetivo de desacreditar as suas teorias.

Aquele encontro era patrocinado por uma nova organização, conhecida por Grupo de Estudo dos Físicos Alemães, e pela Sociedade Alemã para a Conservação de uma Ciência Pura. Esse congresso tinha sido organizado por um tal Paul Weyland (1888-1972), que não era físico nem especialista em ciência, e que, depois, se revelaria um simples charlatão. No começo de agosto, Weyland apresentou-se a Lenard em Heidelberg, talvez para conseguir sua adesão ao Congresso de Berlim, mas, pelo que parece, não obteve sucesso. De qualquer forma, o nome de Lenard aparecia entre os relatores do Congresso, durante o qual também foram vendidos resumos do seu último trabalho sobre éter e gravitação. Porém, parece que Lenard desconhecia esses fatos. Weyland fez uma apresentação introdutória do Congresso, à qual se seguiram outras apresentações, entre as quais a de Ernst Gehrcke, que com certeza não era um físico. Einstein estava entre o público e parece ter achado divertida a experiência. Porém, a sua raiva explodiu alguns dias depois, e, no dia 27 de agosto, escreveu uma carta, que foi publicada no *Berliner Tageblatt*, com o título *Über die anti-relativitätstheoretische GmbH* (*Sobre a sociedade dos antirrelativistas a r.l.*), cujos trechos mais importantes vale a pena reproduzir:

> Um multicolorido grupo constituiu-se com o pretensioso nome de Sindicato dos Físicos Alemães, com o único objetivo de denegrir a teoria da relatividade e a mim, como seu autor, aos olhos dos não físicos. Recentemente, os senhores Weyland e Gehrke fizeram uma conferência com esse escopo na sala da Filarmônica. Compareci a essa conferência. Estou plenamente consciente do fato de que esses senhores não merecem uma resposta. Todavia, considero que, por trás dessa operação, não esteja a procura da verdade, mas outros motivos (se

> eu fosse um alemão ariano, com ou sem a suástica, ao invés de um judeu...). Respondo apenas porque, repetidas vezes, pessoas burguesas querem conhecer minhas ideias [...]. [...] A teoria da relatividade já é aceita por todo o mundo científico [...]. [...] Somente Lenard, entre os físicos famosos, rejeitou abertamente essa teoria. Lenard é um mestre na física experimental, mas ele ainda deve produzir alguma coisa de sensato na física teórica e suas objeções relativas à teoria da relatividade são de tal modo superficiais que não considero oportuno responder-lhe. Voltarei a esse ponto mais à frente [...]. Passemos, agora, às conferências. O senhor Weyland, que não deve ser realmente um especialista (mas quem ele é? Um doutor? Um engenheiro? Um político? Não consegui sabê-lo, não disse nada de pertinente), exibiu-se apenas com acusações e idiotices. O segundo apresentador, o senhor Gehrke, em parte levantou hipóteses erradas e, em parte, distorceu os fatos [...]
>
> Finalmente, gostaria de observar que, por minha iniciativa, foi organizada uma sessão de discussão sobre a teoria da relatividade na Conferência Científica de Nauheim. Qualquer um que queira confrontar-se em um local sério e profissional pode apresentar suas objeções[56]. (EINSTEIN, 1920, p. 1).

Os Ehrenfest, grandes amigos de Einstein (Paul Ehrenfest era professor de física na Universidade de Leyden, na Holanda), julgaram a sua reação tão vulgar quanto o ataque que tinha sofrido. A mulher de Max Born, Hedwig, lhe escreveu, dizendo: "[...] que as pessoas ainda possam desiludi-lo e irritá-lo a ponto de perturbar a paz da sua mente não se enquadra de jeito nenhum à imagem que tenho de você" (EISNTEIN, 2005, p. 39).

Quanto a Lenard, ele mal conseguia se manter depois do fim da I Guerra. Até o início da guerra, ele não tinha manifestado nenhum interesse pela política. Mas, durante os 4 anos que durou a guerra, o difícil período pós-guerra, as dificuldades pessoais e o nascimento da República de Weimar, à qual era hostil, tudo isso o levou, lentamente, a um exasperado nacionalismo, seguido por racismo, antissemitismo, para, enfim, chegar ao nacional-socialismo. Além disso, na década 1920, suas pesquisas anteriores foram esquecidas e sequer foi convidado a participar das co-

[56] Einstein refere-se aqui ao Congresso de Bad Nauheim, localidade situada nas proximidades de Frankfurt, do qual falaremos mais adiante.

memorações do 25º. aniversário da descoberta dos raios X. É compreensível que isso o tenha ferido muito.

Logo depois da guerra, entre 1919 e 1922, Lenard teve que enfrentar mais uma grave dificuldade, quando, por causa da guerra, perdeu toda a sua poupança que fizera, inclusive o dinheiro do Prêmio Nobel. Ademais, em consequência da guerra (segundo ele mesmo julgava), tinha perdido o único filho de sexo masculino. Já antes da guerra, mais precisamente no fim do século 19, tinha desenvolvido uma incrível aversão aos britânicos, devido, primeiro, a um grande conflito com J. J. Thomson, que acusava de ter se apropriado dos resultados de algumas de suas pesquisas sobre os elétrons, e, depois, pelo comportamento da Inglaterra durante a I Guerra Mundial, que considerava ultrajante. Assim, sofria intensamente com aquilo que havia interpretado como uma agressão dos povos à Alemanha. Portanto, vivia em estado de depressão e confusão, procurando algo ou alguém em quem agarrar-se.

A clareza lhe chega, escreveu ele mesmo em suas memórias, por meio dos discursos de Hitler, mais ou menos no final de 1919. Esses discursos, publicados no *Münchner Beobachter*, o impressionaram, e, desde esse momento, criou uma forte relação com Hitler pela sua "racionalidade e iluminada clareza" (LENARD, 1930). Foi nessa época que aderiu ao Partido Nacional-Socialista dos Trabalhadores Alemães (National Sozialistische Deutsche Arbeiterpartei – NSDAP), partido que, depois, seria refundado, após o falido golpe de 1923, por Adolf Hitler, em 25 de fevereiro de 1925. Em 1924, afirma Lenard:

> [...] durante o período de prisão de Hitler, aumentou muito a minha confiança nele, embora o NSDAP tivesse sido considerado ilegal. No dia 8 de maio de 1924, foi publicada a minha declaração pró-Hitler no jornal *Grossdeutsche Zeitung*, assinada também por Johannes Stark, que, àquela época, tinha deixado seu cargo de professor em Würzburg (apesar do seu Prêmio Nobel, ele não era muito apreciado) para tornar-se um industrial. (LENARD, 1930, p. 78).

Porém, até o final de julho de 1920, jamais tinha brigado com Einstein. Foi o artigo escrito por Einstein no jornal berlinense *Berliner Tageblatt*, no

qual fazia duras críticas a Lenard, na verdade despropositadas, que tirou Lenard do sério. O artigo de Einstein, que foi levado ao conhecimento de Lenard por Stark, feriu muito Lenard, que, na época, estava em férias na Floresta Negra. Arnold Sommerfeld, influente professor de física teórica em Munique, então presidente da Sociedade Alemã de Física, procurou de todos os modos apaziguar os ânimos, escrevendo tanto para Lenard quanto para Einstein. O primeiro respondeu-lhe que Einstein poderia pôr fim à briga se publicasse uma retratação formal na imprensa. Não é conhecida a resposta de Einstein, mas, certamente, ele jamais se retratou abertamente. Porém, com a mesma certeza, arrependeu-se de ter escrito aquele artigo e, é provável, também aquela frase excessivamente dura e, depois, assim se expressou para Max Born: "De vez em quando, algum de nós deve dar sua contribuição ao altar da estupidez [...] [...] E eu o fiz profundamente com o meu artigo". E assim escreveu a Sommerfeld: "[...] aquele artigo, melhor seria não tê-lo escrito". (EINSTEIN, 2005, p. 40).

Em 23.9.1920, no Congresso de Cientistas e Médicos ao qual se referiu Einstein na sua carta, em Bad Nauheim, perto de Frankfurt, Lenard e Einstein encontraram-se, parece que por iniciativa de Sommerfeld e Planck. Nessa ocasião, quando se encontraram pela primeira e última vez, discutiram, ao que parece, bastante pacificamente[57] sobre o éter e a teoria da relatividade geral.

As respostas de Einstein a algumas questões importantes sobre a relatividade não satisfizeram Lenard. É desnecessário lembrar que as hipóteses de Lenard sobre éter, uréter, entre outras, estavam erradas e foram completamente esquecidas.

---

[57] Na verdade, as impressões sobre esse encontro parecem discordantes. H. Weyl fala de "um dramático duelo verbal", mas P. Ehrenfest fala de "uma cortês divergência sobre o tema da relatividade". Max Born, na época professor em Frankfurt e muito amigo de Einstein, assim se recordou daqueles dias: "Einstein, durante aquele congresso, era nosso hóspede, e, todos os dias, tomávamos o bonde juntos para irmos a Nauheim; poderia ter sido um período agradável, mas foi estragado por aquela controvérsia que levou, também, a um esfriamento da nossa amizade, uma vez que nós desaprovávamos a atitude de Einstein e não deixávamos de lhe dizer." (BORN, 1980, p. 20).

O fato é que, em Bad Nauheim, Lenard sentiu-se (e foi) completamente isolado, e as suas ideias (contrárias às de Einstein) não encontraram eco entre os físicos. Naquela reunião, como já se disse, muitas pessoas tentaram reconciliar Lenard com Einstein. Entre elas, Nernst e von Laue. Parece que o próprio Einstein teria seguido Lenard até a chapelaria, depois da discussão, para convencê-lo a ficar. Lenard, que tinha um caráter irascível, respondeu: "[...] a esta altura, é muito tarde." (BORN, 1980, p. 35).

Lenard saiu da Sociedade Alemã de Física e afastou-se dos colegas. Na porta do seu instituto, em Heidelberg, colocou um aviso com os seguintes dizeres: "É proibida a entrada aos membros da Sociedade Alemã de Física".

Por fim, a conclusão de toda essa elocubração mental, Lenard assim a descreveu, em 1922:

> [...] a teoria da relatividade é uma típica confusão judia, coisa que se podia presumir desde o início uma vez que seu autor era judeu. Mas a minha desilusão é ainda maior porque um grande número de representantes da física aderiu a esta teoria. Um outro grande desprazer é que Max Planck desempenhe o papel de promover o judeu Einstein; de fato, ele o introduziu na Academia Alemã e em outros importantes círculos científicos. E pensar que Planck teve como único mérito a descoberta da Lei de Emissão dos Corpos Negros, pela qual deve muitíssimo ao trabalho de Boltzmann (LENARD, 1930, p. 79).

É interessante observar, contudo, que, com certeza, não foram apenas Lenard e os seus discípulos a se opor às novas teorias de Einstein. Na Inglaterra, elas eram ainda menos consideradas do que na Alemanha, e o único que as ratificava era Eddington. Além do fator Newton, havia o fato de que Einstein era considerado alemão e que, depois da I Guerra Mundial, a ciência alemã foi praticamente excluída da comunidade internacional.

Dez anos depois de Einstein haver formulado o conceito de que a luz era composta de pequenos feixes (quanta de fótons) discretos de energia, ou

Lichtenquanten, e, assim, interpretado o efeito fotoelétrico, descoberto experimentalmente por Lenard alguns anos antes, o conceito dos quanta de luz era ainda um conceito estarrecedor para a maior parte dos físicos. Foi típico o comentário de Robert Millikan, físico americano e Prêmio Nobel, que assim se expressou, em 1915: "[...] a equação do efeito fotoelétrico de Einstein parece prever exatamente os resultados observados [...] [...] porém, a teoria semicorpuscular através da qual Einstein chegou às suas equações parece totalmente insustentável" (AMALDI, 1990, p. 104).

Os ataques a Einstein continuaram mesmo depois que ele recebeu o Prêmio Nobel de Física, em 1921 (o prêmio lhe foi dado não pela teoria da relatividade, mas "[...] principalmente pelo efeito fotoelétrico"). E culminaram, na Alemanha, em um volume que continha as manifestações de 100 autores contra Einstein (ISRAEL et al., 1931).

Em 8 de maio de 1924, Philipp Lenard e Johannes Stark publicaram uma carta na qual tomaram, oficialmente, uma posição a favor de Hitler (LENARD; STARK, 1924). Essa data assinala uma linha limite entre "físicos arianos" e "físicos modernos".

As leis antissemitas de janeiro de 1933[58] constituíram naturalmente, na Alemanha, outro primordial momento para a ciência em geral e para a física em particular. Muitos docentes e pesquisadores judeus compreenderam que tudo caminharia cada vez pior para eles. Einstein tinha deixado a Alemanha em dezembro de 1932. Em 28 de março de 1933, ele escreveu, em Anversa, sua carta de demissão da Academia de Ciências de Berlim e da universidade: "[...] dadas as presentes circunstâncias, considero intolerável a minha condição de dependente do governo prussiano" (EINSTEIN, 2005, p. 41).

Em 17 de abril de 1933, James Franck, prestigiado professor da Universidade de Göttingen e Prêmio Nobel, também requereu a sua de-

[58] Hitler tornou-se Chanceler em 30 de janeiro de 1933.

missão, com uma carta oficial na qual escreveu, entre outras coisas: "[...] Nós, alemães de origem judia, somos tratados como estrangeiros e como inimigos da Pátria" (AMALDI, 1997, p. 153). Também a demissão de Franck provocou muito boato na Alemanha. Mas muitos docentes da Universidade de Göttingen, aproximadamente 40, mandaram uma carta aberta ao jornal *Göttinger Tageblatt*, na qual julgavam a demissão de Franck como um ato de sabotagem.

Em 30 de abril de 1933, Fritz Haber, conhecidíssimo Prêmio Nobel de Química e professor de químico-física na Universidade de Berlim, enviou também uma carta de demissão ao ministro de Ciência da Prússia, na qual afirmava, entre outras coisas:

> [...] o conteúdo do meu pedido de demissão é idêntico àquele apresentado pelos professores H. Freundlich e M. Polanyi, a quem apoiei [...] [...] O senhor não pode pensar que um homem de 65 anos rejeite o modo de pensar e de agir que o guiaram nos 39 anos de sua atividade acadêmica. (AMALDI, 1990, p. 105).

Também naqueles dias, Max Born foi suspenso da Universidade de Göttingen. Em 30 de maio de 1933, Einstein assim lhe escreveu, de Oxford, onde se encontrava temporariamente:

> [...] estou contente que o senhor e Franck tenham apresentado suas demissões à universidade. Peço a Deus que não tenham problemas [...] [...] o senhor sabe, creio eu, que jamais tive uma opinião favorável em relação aos alemães (tanto moral como politicamente). Porém, devo confessar que o nível da brutalidade e covardia deles foi uma surpresa para mim [...]. (EINSTEIN; BORN, 2005, p. 50).

Não é ocioso lembrar que foram escritas muitíssimas cartas semelhantes e que as demissões e, depois, as fugas da Alemanha continuaram por muitos anos.

Em 13 de maio de 1933, Johannes Stark, como já foi comentado, foi nomeado presidente do antigo, respeitadíssimo e eficiente instituto conhecido como Physikalisch-technischen Reichsanstalt. Nessa ocasião,

Philipp Lenard publicou, no jornal *Völkischer Beobachter,* uma carta aberta, na qual escreveu:

> [...] a recente nomeação é um importante evento para todos aqueles que trabalham com ciência. Isto significa uma renúncia definitiva ao predomínio do que comumente aparece sob o nome de pensamento einsteiniano na física [...] [...] com a maciça invasão dos judeus em posições influentes nas universidades e nas academias [...]. (LENARD, 1930, p. 92).

Em um opúsculo publicado no segundo ano do regime nazista, Stark propõe novamente o panegírico de Hitler escrito por Lenard em 1924. Correlacionando de forma apropriada as tarefas dos militares com a política racial dos nazistas, que apenas começava, Stark fez, em especial, a seguinte declaração:

> [...] uma parte importante da ideologia nacional-socialista fundamenta-se nessa concepção biológica. E desta, as que servem de guia para o estado nacional-socialista deduzem os princípios orientadores das medidas de política racial, dirigidas ao melhoramento da raça alemã. Essas medidas, voltadas à eliminação da influência judia sobre a nação alemã, danosa para o nosso povo, estão fundamentadas nas ciências biológicas. (STARK, 1936, p. 108).

Apesar disso, o conceito de cientista judeu era razoavelmente flexível na ideologia de Stark. Mais ou menos no fim de 1934, uma Associação de Docentes Universitários Nazistas solicitou a Johannes Stark, em uma carta confidencial, uma consideração especial para com Gustav Hertz, da Universidade de Berlim, e Richard Gans, da Universidade de Königsberg, ambos de origem judia. J. Stark assim respondeu sobre Hertz, declarando que "[...] er ist mir persönlich sehr lieb"[59] (STARK, 1936 p. 109).

> Não existe nada de judeu no aspecto externo de Gustav Hertz, nem no seu comportamento, nem na sua atividade científica. Ele é um dos nossos físicos de maior classe e é, também, ganhador do Prêmio Nobel. Além do mais, ele é sobrinho do grande físico Heinrich Hertz. Seria, então, um grave erro negar-lhe o direito de examinar estudantes, somente porque seu avô era judeu. Estou con-

[59] "Ele me é pessoalmente muito querido".

> vencido de que ele não aceitaria esse insulto pessoal; pelo contrário, entregaria seu pedido de demissão, iria embora para o exterior e seria bem recebido em qualquer lugar.
>
> O professor Gans não pode ser comparado a Hertz. Todavia, a sua atividade científica tem valor. Com base em informações de conhecedores de notório patriotismo, ele tem manifestado abertamente o seu patriotismo em Königsberg (STARK, 1936, p. 110).

Portanto, parece que o antissemitismo de Stark era mais fruto de sua ideologia do que de um preconceito. Essa conduta, aliás, será retomada mais tarde quando ele se manifesta contra os arianos Heisenberg e Sommerfeld, taxados de "judeus brancos" por defenderem os judeus que lhes eram simpáticos.

Em relação à universidade, em 1933, a seção saxã da União dos Docentes Nacional-Socialistas Alemães publicou um "juramento de fidelidade", com a assinatura de nove professores, alguns dos quais, reitores de universidade. O professor Eugen Fischer, reitor da Universidade de Berlim, concluiu sua intervenção com a exclamação "vida longa ao Führer!". O professor Martin Heidegger, famoso filósofo de Friburgo, expressou seu pensamento do seguinte modo:

> [...] saber para nós significa ter poder sobre as coisas segundo a razão e estar prontos para agir [...] [...] A revolução nacional-socialista não é simplesmente o ato de assumir um poder já existente no Estado por parte de uma outra formação política que tem os números suficientes para fazê-lo; essa revolução significa uma total revolução na existência dos alemães [...] [...] Heil Hitler. (HEISENBERG, 1984, p. 123).

Em contraste com as provas citadas, resta o fato inegável de que, durante os primeiros anos de poder, os nazistas não se ajustaram às instituições universitárias; preferiram fundar institutos próprios, como a Akademie für deutsches Recht (Academia Alemã de Direito) e o Reichsinstitut für die Geschichte des neuen Deutschland (Instituto da História da Nova Alemanha), ou mesmo assumir o controle de instituições não diretamente ligadas a universidades, como a Deutsche Hochschule für

Politik (Instituto Superior de Estudos Políticos), de Berlim, ou, então, a Deutsche Akademie, de Munique (Academia Alemã de Munique).

Aos poucos, porém, os nazistas começaram a observar e ambicionar os cargos de direção nas universidades e, a partir do primeiro ano do regime, transferiram, para outras mãos, muitas reitorias. Por exemplo: Ernst Krieck foi nomeado reitor da Universidade de Frankfurt, Eugen Fischer, reitor da Universidade de Berlim e Wolf Meyer Erlach, reitor da Universidade de Jena. Mesmo assim, os nazistas continuaram a desconfiar das universidades. Foi, então, sob um clima de desconfiança que o reitor Krieck declarou, em tom irritado, em uma assembleia de estudantes em Heidelberg: "[...] os professores não deveriam se resguardar declarando apenas 'sempre fomos nacional-socialistas'; nós, verdadeiros nacional-socialistas, devemos continuar a lutar corajosamente." (HEISENBERG, 1984, p. 124).

O nacional-socialismo cresceu nas universidades, em especial nas faculdades jurídicas e literárias, mas, certamente, muito menos nos ambientes científicos, particularmente na física.

Um interessante exemplo do clima da época é dado pelo relatório da visita que Max Planck, Prêmio Nobel de Física, e, desde 1930, presidente da Kaiser Wilhelm Gesellschaft (que equivale ao nosso Conselho Nacional de Pesquisa), fez, em 16 de maio de 1933, em Berlim, a Adolf Hitler. O encontro entre Hitler e Planck foi meticulosamente preparado. Em 23 de abril de 1933, Hitler tinha escrito a Planck cumprimentando-o pelo aniversário (ele tinha completado 75 anos), e Planck, aproveitando o pretexto para lhe agradecer, solicitou, em 2 de maio do mesmo ano, um encontro para lhe explicar a situação da KWG e os planos futuros.

Eis como Planck (1947), depois da guerra, descreve esse encontro:

> Depois que Hitler assumiu o poder, eu tinha a responsabilidade, como presidente da KWG, de lhe apresentar minhas respeitosas saudações. Acreditava,

> também, poder utilizar essa oportunidade para fazer a defesa de meu colega judeu Fritz Haber, inventor de um processo de produção de amoníaco a partir do nitrogênio do ar, a cuja invenção Hitler devia o sucesso na guerra, desde o seu começo. Hitler me respondeu com estas palavras: "[...] eu não tenho nada contra os judeus, mas os judeus são todos comunistas, e é por isso que são meus inimigos e é contra isso que está direcionada a minha luta". Comentei que existem diversos tipos de judeus, alguns dignos e outros indignos em relação à humanidade. Entre os primeiros estavam velhas famílias de antigas tradições e cultura germânica. Quando comentei sobre esse tipo de distinção, ele me respondeu: "[...] isso não é verdade. Um judeu é um judeu. Onde estiver um judeu, outros judeus se reunirão a ele. Seria uma obrigação dos próprios judeus colocar uma linha divisória entre os diversos tipos. Não o fazem e, por este motivo, devo ser contra todos eles." Ignorou a minha observação sobre o fato de que obrigá-los a emigrar produziria uma mutilação em nós mesmos, porque somos nós que temos necessidade da contribuição científica deles e agora irão para outros países. Ao invés de responder sobre estas questões específicas, começou a falar de modo geral e, no final, terminou dizendo: "[...] algumas pessoas dizem que, ocasionalmente, eu sofro ataques nervosos. Isto é uma calúnia!" E, dizendo isto, começou a bater rapidamente no joelho e a falar cada vez mais depressa e a excitar-se cada vez mais, com terrível fúria, tanto que não me restou senão ficar em silêncio e ir embora. (PLANCK, 1947, p. 143).

O relatório desse encontro, que Planck tornou público apenas em 1947, depois da II Guerra Mundial, é instrutivo sob muitos aspectos. Planck era, e sentia-se, um alemão não antissemita. Portanto, tentou mostrar a Führer a distinção entre judeus dignos e judeus indignos, o que nos faz compreender o quanto o antissemitismo se tornara invasivo, mesmo para a inteligência alemã. Pode-se observar também que Planck, lucidamente, colocou em evidência as contribuições judias à ciência alemã e o perigo que, depois de algum tempo, com a contínua fuga dos cientistas judeus, isso pudesse vir a favorecer outros países. E, como já observado, foi exatamente o que aconteceu, em essência, a favor dos Estados Unidos.

A visita de Planck a Hitler é relatada nas memórias de Heisenberg (HEISENBERG, 1894), para quem o próprio Planck fez o relato, provavelmente pouco depois da sua visita a Hitler. Heisenberg, que passava

por grave crise pessoal (ver capítulo 10), foi encontrá-lo em suas férias nos Alpes, para aconselhar-se. Assim Heisenberg relata o colóquio:

> Planck pareceu-me muito envelhecido desde a última vez que o tinha visto. Sorria a muito custo, um sorriso doloroso. Parecia terrivelmente cansado.
>
> "Falei com Hitler alguns dias atrás" – disse-me. "Esperava convencê-lo que expulsar os nossos colegas judeus importaria um dano gravíssimo para as universidades alemãs e para as pesquisas na física, em particular [...] [...] Não consegui, talvez porque não exista uma linguagem com a qual se possa falar com essas pessoas. Hitler perdeu todo o contato com a realidade [...] [...] está tão possuído por suas pseudoideias que ninguém mais pode discutir com ele. E um homem nessas condições só pode levar a Alemanha a um desastre [...]. Em suma, acredito que todos aqueles que têm um trabalho a realizar e que, certamente, não são obrigados a emigrar por motivos raciais ou de outra natureza, devem permanecer e lançar os alicerces para construir uma vida melhor, quando este pesadelo tiver terminado [...] [...] qualquer coisa que se faça, será insuficiente para impedir as injustiças menores, até que esta grande injustiça coletiva tenha terminado o seu curso. E pense, por favor, no futuro." (HEISENBERG, 1984, p. 105).

Heisenberg declara ainda que, durante sua viagem de retorno, pensava nas palavras de Planck e sentia inveja dos amigos que eram obrigados a emigrar, já que a vida deles tinha se tornado impossível na Alemanha.

Também Max Born conta o episódio da visita de Planck a Hitler, quando foi encontrá-lo no verão de 1933. Ambos estavam em férias no Alto Adige; Born em Selva e Planck em S. Pietro (BORN, 1980). Eis como o episódio foi-lhe descrito pelo próprio Planck:

> [...] contou-me que, durante as críticas semanas da primavera de 1933, encontrava-se em férias na Itália e pouco ficou sabendo do que acontecia na Alemanha, até que recebeu uma mensagem de Lise Meitner, que o informava da destituição de Fritz Haber como diretor na química do KWI de Berlin-Dahlem. Retornou imediatamente a Berlim e pediu uma audiência a Hitler. Não teve tempo para dizer além de poucas palavras, pois Hitler começou a falar e, logo depois, a berrar, lançando injúrias contra os judeus em geral e contra os seus cientistas em particular, tanto que Planck não teve oportunidade de responder. Logo depois, como presidente da Academia de Berlim, teria que assinar o documento de expulsão de Einstein. Planck não era um fraco, mas me pergunto se von Laue o teria assinado em um caso semelhante, uma vez que existia algo de mais heroico em seu caráter, e, ademais, não era, como Planck, um funcionário do Estado, disposto a obedecer inclusive a ordens injustas. (BORN, 1980, p. 74).

De qualquer forma, em 28 de junho desse mesmo ano, Planck foi reconfirmado como presidente da KWG, cargo no qual permaneceu até 1º. de abril de 1936.

Em agosto de 1935, Philipp Lenard publicou o primeiro dos quatro volumes da *Física alemã*[60] (LENARD, 1936), cuja introdução (ver capítulo 2) representa um verdadeiro manifesto da física ariana e anti-hebraica. Em 13 de dezembro de 1935, o Instituto de Física de Heidelberg foi indicado a Lenard, e, naquela ocasião, J. Stark fez um discurso (STARK, 1936) com o significativo título: *Philipp Lenard: um cientista ariano.* Pouco depois, em 29 de janeiro de 1936, Willi Menzel, químico nacional-socialista e protegido de Stark, publicou um artigo no jornal *Völkischer Beobachter,* com o título *Física Alemã e Física Judia,* claramente inspirado na introdução de Lenard à *Física Alemã*. Cerca de um mês depois, Heisenberg publicou, no mesmo jornal, uma réplica detalhada e tecnicamente motivada. Stark posteriormente respondeu a ela e concluiu o artigo com as seguintes observações:

> [...] o artigo de Menzel é um sinal positivo de que os jovens cientistas alemães estão se liberando da influência judia e mostra que desejamos estudar física com o mesmo espírito que perpassa o recente livro de texto de Lenard, *Deutsche Physik,* que reflete a realidade da física sem os assim chamados novos sistemas de conceitos. (STARK, 1936, p. 111).

Em abril de 1936, Ernst Gehrke, físico experimental, que em Berlim já tinha participado da campanha antirrelativista, colocou em dúvida a descoberta da emissão do corpo negro feita por Planck, descoberta essa que, ao contrário, atribuiu aos trabalhos experimentais de Lummer, Kurlbaum e Pringsheim (GEHRKE, 1936).

Pouco depois, Peter Debye fez uma réplica a essa tese. Como se vê, naquela época, tudo servia para criar polêmica, e eram misturadas argumentações técnicas com políticas e antissemitismo, em uma confusão inextrincável.

---

[60] *Deutsche Physik in vier Bänder. Erster Band: Einleitung und Mechanik*.

Impunha-se uma tomada de posição coletiva e, na primavera de 1936, Werner Heisenberg, Hans Geiger e Max Wien, professores de física em importantes universidades, escreveram uma carta aberta ao ministro da Educação e da Ciência Alemã, que foi assinada por outros 75 físicos, na qual lamentam os contínuos ataques à física teórica alemã (HEISENBERG et al., 1936). Essa carta é assinada, entre outros, por Bothe, Debye, Gerlach, Hahn, Lenz, Madelung, Nernst, Planck e Sommerfeld, a nata dos físicos que permaneceram na Alemanha.

O ponto máximo do conflito entre a física alemã e a física simplesmente, pelo menos em relação ao aspecto acadêmico, deve ter sido atingido em 1937, durante a escolha do sucessor de Arnold Sommerfeld, que se aposentara, para a prestigiada cátedra de física teórica de Munique. O candidato natural era, também, o que tinha sido indicado pelo próprio Sommerfeld e pela faculdade. Era o mais prestigiado físico teórico alemão, que foi aluno primeiramente de Sommerfeld e depois de Born: o Prêmio Nobel de Física em 1932, Werner Heisenberg. Mas o "fogo contrário" em relação a Heisenberg, em especial vindo da parte de Stark, foi terrível nesse caso. Em 25 de julho de 1937, Stark publicou no jornal das SS – *Das schwarze Korps* –, um longo artigo com o título *Judeus brancos na ciência,* no qual, depois de ter atacado a física judaica*,* ataca frontalmente Heisenberg. É útil reproduzir as passagens mais importantes do seu artigo:

> Existe uma maneira primitiva de ser antissemita, que se limita a combater os judeus apenas enquanto judeus. Os expoentes de tal teoria ficarão satisfeitos se for estabelecida uma clara linha de demarcação entre alemães e judeus. Pensam que o problema está resolvido se é proibida uma mistura sanguínea e se é proibido o acesso dos judeus à vida política, à econômica e à cultural da Alemanha [...] [...] Esta visão é errada [...] [...] não se trata somente de combater os judeus enquanto tais, mas também a sua influência na política e na vida cultural; em palavras chãs, a alma judia e a influência judia. Também pessoas de sangue ariano têm esta alma e esta influência judia [...] [...] A voz popular chama as pessoas que têm esta influência, estes infectadores, de judeus brancos (Weisse Juden) [...]

> Existe um setor, em especial, no qual a alma judia dos judeus brancos teve uma grande difusão: na ciência e, em particular, na física, que encontrou em Einstein o seu mais significativo representante [...] Os judeus Einstein, Haber e seus companheiros de fé, Sommerfeld e Prandtl, definem, praticamente sem discrepâncias, as nomeações de novos profesores. Apenas Sommerfeld orgulha-se de ter colocado uns 10 alunos [...] [...] E os judeus brancos sentem-se seguros nas suas posições, como foi demonstrado pelo professor Werner Heisenberg, professor de física teórica em Leipzig. Em 1936, ele não exitou em contrabandear para um órgão do partido a tese de que a teoria da relatividade de Einstein era "a premissa de pesquisas posteriores" e "uma das mais importantes tarefas da juventude científica alemã para um posterior desenvolvimento da física teórica".
>
> Esse lugar-tenente do espírito de Einstein, aluno de Sommerfeld, tornou-se professor-titular em 1928, com a idade de 26 anos, idade com a qual ainda não se teve tempo de desenvolver pesquisas decentes (sic!). Depois, ele começou a sua atividade tomando como assistentes o judeu vienense Beck e o judeu de Zurique, Bloch. Até 1933, seu seminário era frequentado preponderantemente por judeus.
>
> Em 1932, Heisenberg recebeu o Prêmio Nobel, juntamente com os discípulos de Einstein, Schrödinger e Dirac, numa demonstração de como o Comitê do Nobel foi influenciado pelos judeus contra a Alemanha nacional-socialista [...] [...] Em agosto de 1934, Heisenberg recusou-se a assinar um apelo ao Führer e ao Chanceler do Reich.
>
> Ele é, pois, apenas um dos tantos exemplos de pessoas que representam o judaísmo na vida intelectual alemã. Também eles devem desaparecer, assim como os judeus. (STARK, 1937, p. 6).

Como se vê, é um artigo muito duro (mas, também, de uma rudeza e de uma ignorância científica inacreditáveis por parte de um Prêmio Nobel de Física).

Naturalmente, Heisenberg preocupou-se muito e, como não era pessoa que se deixasse intimidar sem reagir, e, aproveitando-se da amizade entre sua mãe e a mãe de Himmler, então Reichsführer das SS e chefe da Gestapo, escreveu diretamente ao próprio Himmler, em 21 de julho de 1937, pedindo-lhe que interviesse e ficando pronto para pedir demissão caso Himmler tomasse o partido de Stark.

A resposta de Himmler chegou em 21 de julho de 1938, exatamente um ano depois da carta de Heisenberg. É uma resposta substancialmente

favorável a Heisenberg: Himmler não aprovou os excessos agressivos do professor Stark (ver detalhes no capítulo 10). Até mesmo para uma pessoa como Himmler, certamente favorável à física ariana, as posições anti-Heisenberg de Stark pareceram excessivas.

Não obstante todos os esforços de Heisenberg e o apoio da maioria dos físicos, em dezembro de 1939, o cargo de Sommerfeld foi destinado, finalmente, depois de muitas vicissitudes, a Wilhelm Müller, um obscuro físico dos fluidos e especialista em problemas aeronáuticos, mas com enorme fé nacional-socialista. Talvez ele soubesse física teórica um pouco mais do que Himmler. Müller conservou seu cargo até 1954. Só em 1958 Heisenberg pôde, finalmente, concluir sua carreira, e exatamente em Munique, onde a tinha iniciado.

Em novembro de 1939, Ludwig Glaser, físico experimental e protegido de Stark e de Lenard, publicou, na revista científica *Zeitschrift für die gesamte Naturwissenschaften,* em 1939, um artigo com o título *Os judeus na física: física judaica,* que vale a pena reproduzir, para se entender a que ponto havia chegado a física alemã:

> Em nenhum outro campo das ciências o homem nórdico teve, na Alemanha, uma influência maior do que na física. Mas, também, nenhum outro teve a desagradável capacidade de produzir física judia como, por exemplo, com Einstein. Este cidadão alemão, este parasita, expatriado em 1933, demonstrou ser um político judeu que, como sinal de gratidão em relação ao país que o havia hospedado, denunciou-o e o apontou ao ódio no mundo, em um típico estilo judeu.
>
> Mas a propaganda judia encontrou um terreno fértil que tinha sido preparado havia muito tempo, e quem o fez foi, sem dúvida, Helmholtz, cuja vida foi associada a muitos fatos perniciosos, dos quais apenas agora tomamos conhecimento. Não prestou homenagem aos méritos de Robert Meyer; como representante da Alemanha, contribuiu para eliminar nomes de importantes cientistas alemães, como Gauss e Weber, das unidades de medida. Não demonstrou devoção em relação a um grande matemático, Hermann Grassmann. Em 1877, contribuiu para a expulsão da Universidade de Berlim do conhecido antissemita Eugen Dühring, contribuindo ainda para a invasão dos judeus na física. O meio-judeu Heinrich Hertz, os judeus Wertheimer, Goldstein, Grunmach e

> muitos outros foram seus alunos e, sem dúvida, o biógrafo de Hertz, Leo Königsberger, era judeu. Helmholtz foi sucedido na Universidade de Berlim por um judeu, Warburg, e, depois dele, por um outro judeu, Heinrich Rubens. Depois, chegaram outros judeus, como R. Börnstein, J. Franck, P. Pringsheim, M. Born, F. Reiche e muitos outros. A influência judia no Kaiser Wilhelm Institut foi, sem dúvida, devastadora. Primeiro, Fritz Haber, depois, toda uma série de outros judeus: F. Kerschbaum, Lise Meitner, James Franck, Rudolf Ladenburg, H. Marck e M. von Polanyi, alguns dos quais emigraram junto com outros judeus.
>
> Isso em Berlim. Mas também Munique havia se tornado, nesse meio tempo, local privilegiado de judeus. Se pensarmos em Arthur Korn, Heinrich Graetz e em Arnold Sommerfeld que ali fez um berço de judeus mais ou menos como em Göttingen, com os seus judeus Max Born e James Franck. O judeu oriental Kasimir Fajan, que nem ao menos conseguia falar corretamente o alemão, foi, também ele, convidado para Munique, seguido por Karl Herzfeld. Outros ativos físicos judeus foram para Munique: A. Landé, W. Pauli, F. London, H. Bethe, W. Heitler, R. Peierls [...][61]
>
> Atualmente, por sorte, existem alguns físicos que empreenderam uma grande luta para salvar a verdadeira física: além de mim, Lenard, Gehrke, Stark, Uller. Em 1938, a grande tempestade de novembro[62] limpou o país. Os poucos judeus que ficaram, ou os parcialmente judeus, ou casados com judeus, desapareceram das academias e das salas de leitura. O judeu errante transferiu-se novamente de país para país com o objetivo de roubar o trabalho dos povos nórdicos, assim como o fez na Alemanha. Agradecemos ao nosso Führer Adolf Hitler por nos ter libertado do flagelo dos judeus. Os judeus na Alemanha não podem mais ensinar nas escolas e nas universidades; agora seus rastros estão sendo apagados e a mentalidade judaica, erradicada [...]. (GLASER, 1939, p. 37).

Não obstante toda essa política "confusa", Heisenberg não perdeu contato com a grande física teórica mundial, da qual é considerado um dos expoentes máximos, e, no verão de 1939, portanto pouco antes do início da II Guerra Mundial, o encontramos viajando pelos Estados Unidos, onde participou, como docente, do célebre curso de verão de Ann Arbor. Anteriormente, Heisenberg já havia recebido e recusado

---

[61] Na verdade, a associação entre os judeus e a física teórica não é totalmente arbitrária. O número de físicos teóricos judeus era, certamente, desproporcional. Isso se devia simplesmente ao fato de que, por um certo período, as cátedras de física teórica eram consideradas pouco atraentes.

[62] Glaser refere-se à "Noite dos cristais", durante a qual foram assaltadas e saqueadas lojas, empresas, sinagogas e casas de judeus. Foi assim chamada por causa das vitrines quebradas.

importantes propostas para transferir-se para universidades americanas, como para a Columbia University de New York. Em Ann Arbor, Heisenberg encontrou Fermi, Gouldsmit, Amaldi e outros; em Chicago, Arthur Compton; e, em New York, George Pegram, influente físico e administrador da Columbia University. Todos procuraram convencê-lo a abandonar a Alemanha, tão próxima da guerra, e a transferir-se para os Estados Unidos.

Ao fim de sua viagem aos USA, em agosto de 1939, encontrou novamente Pegram, em New York. Esse também o incitou a emigrar para os Estados Unidos, mas em vão. Pegram não entendia por que Heisenberg insistia em voltar para a Alemanha, cuja derrota, na guerra, já era certa. Poucos dias depois, Heisenberg embarcava no transatlântico Europa, que partia meio vazio para a Alemanha.

Em 1º de setembro a Alemanha invadiu a Polônia e teve início a II Guerra Mundial. Talvez, nos mais duros anos da guerra, Heisenberg tenha se lamentado da escolha feita.

Retornando à física alemã em geral, naturalmente, nesses anos, ela estava em grande decadência, e, de 1941 a 1942, também o presidente da Deutsche Physikalische Gesellschaft (Sociedade Alemã de Física), Carl Ramsauer (outrora assistente de Lenard em Heidelberg, mas com ideias mais moderadas), percebeu que a física alemã estava perdendo espaço, intensamente, para a física americana. Com efeito, o número de estudantes de física passara, na Alemanha, de cerca de 2.000, em 1930, para aproximadamente 500, em 1939. Ramsauer atribuiu essa redução, em boa parte, à guerra que tinha sido feita à física teórica moderna. Abordando esse assunto, escreveu ao ministro da Pesquisa, Bernhard Rust (RAMSAUER, 1996), em 20 de janeiro de 1942, anexando também uma tabela bastante explicativa. Ramsauer diz, preliminarmente:

> [...] como presidente da Sociedade Alemã de Física, tenho o dever de manifestar-lhe a minha ansiedade em relação ao futuro da física alemã, não só como

> ciência mas também como fonte de poder [...] [...] A física alemã perdeu a sua supremacia em relação aos Estados Unidos. Isto se deve não só ao fato de que a América empenha muito mais recursos do que nós, mas também ao fato de que conseguem atrair as novas gerações de jovens e motivados cientistas. (RAMSAUER, 1996, p. 327).

Assim, elencou quatro causas diversas para essa decadência, entre as quais, em primeira linha, a politização da física:

> [...] no nosso país uma das principais partes da física, a física teórica, está relegada, cada vez mais, para baixo. A legítima luta contra o judeu Einstein e contra a excrescência da sua física especulativa expandiu-se para toda a física moderna e isto levou a considerá-la como um produto do espírito judeu [...]. (RAMSAUER, 1996, p. 334).

O número de artigos de física escritos em alemão, observa Ramsauer na tabela anexada à carta, foram 47 em 1927, 77 em 1931, 129 em 1935 e 166 em 1939. Nos mesmos anos, os artigos anglo-americanos passaram de 35 para 77, e para 329 e para 471. Percentualmente, para os artigos alemães, passou-se de 57% para 50%, e para 28%, e para 26%. Os Prêmios Nobel de Física, observou ainda Ramsauer, para a Alemanha, passaram de 36%, no período de 1900 a 1920, para 11%, no período de 1921 a 1935. Nos mesmos anos, os Estados Unidos passaram de 6% para 28%.

Também Ramsauer, como visto, paga sua contribuição ao regime nazista com uma frase bastante dura, conforme relatada acima.

Depois da guerra, ele publicou, nos *Physikalische Blätter,* uma versão elaborada do seu memorando, retirando a frase sobre o judeu Einstein (HOFFMANN, 2004).

Curiosamente, na grande disputa entre a física "ariana" e a física "séria", esta última começou a ser favorecida a partir de 1939, justamente quando se iniciou a política agressiva de Hitler na Europa. Os grandes sustentáculos da física "alemã", Lenard e Stark (nascidos em 1862 e 1874, respectivamente), já começavam a envelhecer, e os jovens eram

cientificamente nulos. A reação foi dada pela mudança de comportamento em relação à "física ariana" por parte do regime nazista, ou, pelo menos, de uma parcela desse (H. Himmler, H. Göring, A. Speer). Um sinal disso foi a resposta de Himmler a Heisenberg, em julho de 1938. Os motivos dessa mudança são muitos, tendo alguns deles sido listados com perspicácia pelo historiador Alex Wellenstein. Porém, um que não foi citado foi o do registro civil: Lenard e Stark estavam, respectivamente, com quase 80 e 65 anos em 1939. Ademais, por conta do péssimo temperamento, tinham feito inúmeros inimigos, inclusive entre as fileiras nacional-socialistas. Isso diz respeito, em particular, a Stark, que ocupava posições de prestígio.

Os outros motivos, indicados por Wellenstein, são:

- A "física ariana" não é uma consequência da ideologia nazista, mesmo que, obviamente, a tenha influenciado.
- Com o início da preparação para a guerra, as necessidades práticas superavam as ideológicas, e a ciência e as indústrias alemãs tiveram que dedicar-se, preferencialmente, ao esforço bélico.
- A maior parte dos físicos não estava interessada na "física ariana".

Muitos físicos e industriais influentes, cujas atividades estavam ligadas à ciência, como Carl Ramsauer, que além de presidente da Sociedade Alemã de Física era presidente da AEG, opunham-se à "física ariana". Definitivamente, a "física ariana" não mais era crucial para a ideologia nazista, que, na prática, a abandonou ao próprio destino.

Um exemplo disso ocorreu em 1939, quando foi criado, em Berlim, o "Clube do Urânio" (Uranverein), cujo objetivo era examinar se, a partir da fissão nuclear, recém-descoberta por Hahn e Strassmann, poderia ser obtida uma nova arma. Quinze foram chamados a fazer parte do Clube, entre os maiores físicos alemães da época, nenhum dos quais, porém,

defensor da "física ariana", e alguns realmente inócuos, senão decididamente contrários ao nazismo.

A parte da história da física nuclear que toma o caminho da fissão nuclear com perspectivas de aplicações bélicas é, assim, completamente independente da "física ariana". Essa história começa exatamente em 19 de dezembro de 1938, quando Hahn e Strassmann descobrem, no Kaiser Wilhelm Institut für Chemie, em Berlin-Dahlem, que núcleos de urânio bombardeados com nêutrons dividem-se em dois fragmentos (sobre a descoberta da fissão nuclear, ver também o capítulo 8). A corrida para a bomba atômica, que começou logo depois, nos primeiros meses de 1939, será descrita com detalhes no capítulo 13.

Na mesma época, a extenuante luta acadêmica em prol da integridade da ciência também defendia a bandeira de uma física séria. De fato, recordemo-nos de que a primeira batalha resultou favorável à física ariana, que conseguira impedir a nomeação de Heisenberg para Munique em 1938–1939, e, pouco tempo depois, bloquear a solicitação de Sommerfeld para que fosse aprovada a ida para Munique de F. W. von Weizsäcker. Enfim, a física ariana conseguira nomear Alfons Bühl em Karlsruhe, Ludwig Wesch em Heidelberg e Ferdinand Schmidt em Stuttgart, todos personagens arianas, mas de fraco nível. Porém, já em 1939, quando foi fundada uma nova universidade em Estrasburgo, von Weizsäcker obteve a cátedra de física teórica, apesar do protesto dos funcionários do partido nazista, segundo os quais "[...] ele é completamente desinteressado dos eventos políticos do nosso tempo (o que não era verdade!) e não se pode pensar que tome parte ativa no movimento nacional-socialista do futuro"[63] (RAMSAUER, 1996, p. 347).

---

[63] Friedrich Wilhelm von Weizsäcker era filho de Ernst, personagem número dois do Ministério do Exterior alemão durante o nazismo, e, depois, embaixador no Vaticano. O irmão de Friedrich Wilhelm, Richard von Weizsäcker, tornou-se, de 1984 a 1994, presidente da República Federal da Alemanha, e, depois da queda do muro de Berlim, presidente da Alemanha.

Outros cargos universitários foram entregues, sempre em Estrasburgo, para físicos "sérios", como Rudolf Fleischmann e Wolfgang Finkelnburg.

Pouco depois, vieram outros sucessos para a física séria. No âmbito do projeto Uranverein, Heisenberg foi nomeado diretor do Instituto de Física de Berlin-Dahlen. Um outro empreendimento bem-sucedido foi a carta (resumida anteriormente) que Carl Ramsauer escreveu sobre o estado da pesquisa na Alemanha, a Bernhard Rust (conhecido político nacional-socialista), que ocupava o cargo de diretor do Ministério da Educação.

Ramsauer era a pessoa ideal para tomar tal iniciativa. Tinha estudado com Lenard, de quem fora assistente durante muitos anos em Heidelberg, não tinha nenhum interesse pessoal na política acadêmica e era presidente da Sociedade Alemã de Física, além de presidente da poderosa AEG. Segundo ele, o modo indigno como eram tratados os físicos teóricos do calibre de um Heisenberg tornava impossível para a Alemanha recuperar a desvantagem em que estava, especialmente no setor dos aceleradores de partículas: havia apenas um, em construção, em Heidelberg, contra 30 nos Estados Unidos. Anexa ao protesto de Ramsauer, estava uma carta de Ludwig Prandtl, reconhecido engenheiro aeronáutico, na qual definia a nomeação de Wilhelm Müller para a cátedra de Sommerfeld em Munique como uma ação de verdadeira sabotagem. Além disso, Ramsauer apressou-se em esclarecer que

> [...] está em jogo muito mais do que uma disputa acadêmica ou de opiniões científicas, mas a descoberta de novas fontes de energia. A física nuclear é a única área na qual podemos esperar obter progressos essenciais em relação à energia e aos explosivos. (RAMSAUER, 1996, p. 349).

Nem Rust, pessoalmente, nem seu ministério responderam formalmente ao ataque de Ramsauer, o que, realmente, não teria tido sentido, considerando o resultado da sua derrota. Mas, nos bastidores, os militares convenceram-se ou foram convencidos sobre a importância estratégica da física nuclear, e convenceram, por sua vez, Albert Speer, ministro do Armamento e colaborador direto de Hitler. Aproveitou-se do inte-

resse de Speer pela pesquisa nuclear para distanciar os poderosos defensores da Deutsche Physik do Ministério da Educação. Solicitado por Ramsauer e Prandtl, Speer organizou, em meados de 1942, a transferência da autoridade competente para as pesquisas de física nuclear, de Rust para Göring.

Apesar da derrota da Deutsche Physik, os chefes do partido nazista continuaram a suspeitar de Heisenberg, por ser ele um típico estudioso apolítico, embora ele admitisse que a ideologia deveria sujeitar-se à ciência. Porém, não foi um triunfo completo. Sobre uma questão, altamente simbólica, as autoridades nazistas não pretendiam ceder. Poder-se-ia defender a ciência, mas não os judeus. Poder-se-ia aceitar a teoria da relatividade, mas não o seu autor, que deveria ser ignorado e jamais citado. Tratava-se, na realidade, da relatividade sem Einstein.

Nem mesmo essa humilhação conseguiu ofuscar a vitória sobre a Deutsche Physik. No começo de novembro de 1942, um grupo de 30 físicos, entre os quais Heisenberg, Ramsauer, Finkelnburg e von Weizsäcker, reuniu-se em Seefeld, no Tirol, para elaborar as principais diretrizes para a didática da nova física. Depois, Heisenberg definiu essa reunião como a celebração da vitória. Assim, von Weizsäcker, com amargura, assumiria o compromisso firmado em Seefeld de permitir o ensino da física "do judeu sem o judeu": a teoria da relatividade seria formulada ainda que sem Einstein, mas não foi formulada sem ele.

Em todo caso, o desastre da física alemã era já bem visível nos primeiros anos da II Guerra Mundial. A emigração, preferencialmente para os Estados Unidos, de muitos físicos judeus da Alemanha, da Itália e, em geral, da Europa Central já tinha acontecido e, enquanto a Alemanha tinha empobrecido extraordinariamente, os Estados Unidos continuavam a enriquecer.

O melhor exemplo está em todos os estudos e aplicações que se seguiram à descoberta da fissão nuclear, os quais levaram à construção do primeiro reator nuclear e da bomba atômica.

Esta história, como já foi visto, começou no fim de 1938, e seu palco foi a Europa. A descoberta do nêutron por Chadwick (Inglaterra) e as descobertas da radioatividade artificial pelos Joliot-Curie (França) e por Fermi (Itália) levaram, em Berlim, em dezembro de 1938, à descoberta da fissão, por parte de Hahn e Strassmann, ajudados por Lise Meitner, cientista judia que fugira, havia pouco, da Alemanha.

As pesquisas seguintes desenvolveram-se, ainda que parcialmente, na Europa, em 1939, mas se transferiram pouco a pouco para os Estados Unidos, para onde, nesse meio tempo, transferiram-se, ou pelo menos transitaram pelo país temporariamente, personagens do calibre de Einstein, Fermi, Segrè, Bethe, Szilàrd, Teller, Wigner, Bohr, Frisch, Bloch e Ladenburg.

Nos Estados Unidos, eram fortíssimos os estímulos à continuação dos estudos pós-fissão para a formulação da bomba atômica, mas, entre os cientistas emigrantes, pairava a sombra do medo de que os físicos alemães já a tivessem produzido. Verificou-se, depois, que esse medo não era fundamentado. Nos Estados Unidos, dispunha-se de toda a tecnologia e de potencial industrial para se prosseguir nas pesquisas (era possível, por exemplo, produzir U-235 e Pu-239, e também grafite puríssima). E, como era de fundamental importância, os Estados Unidos empenharam cifras enormes e grande quantidade de pessoas na construção da bomba atômica (calcula-se que os Estados Unidos tenham gastado cerca de 2 bilhões de dólares e empregado dezenas de milhares de pessoas nessa empreitada).

Assim, no projeto de construção da bomba atômica americana, os emigrantes europeus tiveram papel fundamental. Obviamente, o projeto era dirigido por um americano, o general Groves, enquanto o diretor científico era Robert Oppenheimer, físico americano judeu, descendente de pais alemães, que tinha completado os seus estudos em Göttingen. Entre os maiores responsáveis pelo Projeto Manhattan, estavam Fermi, Segré

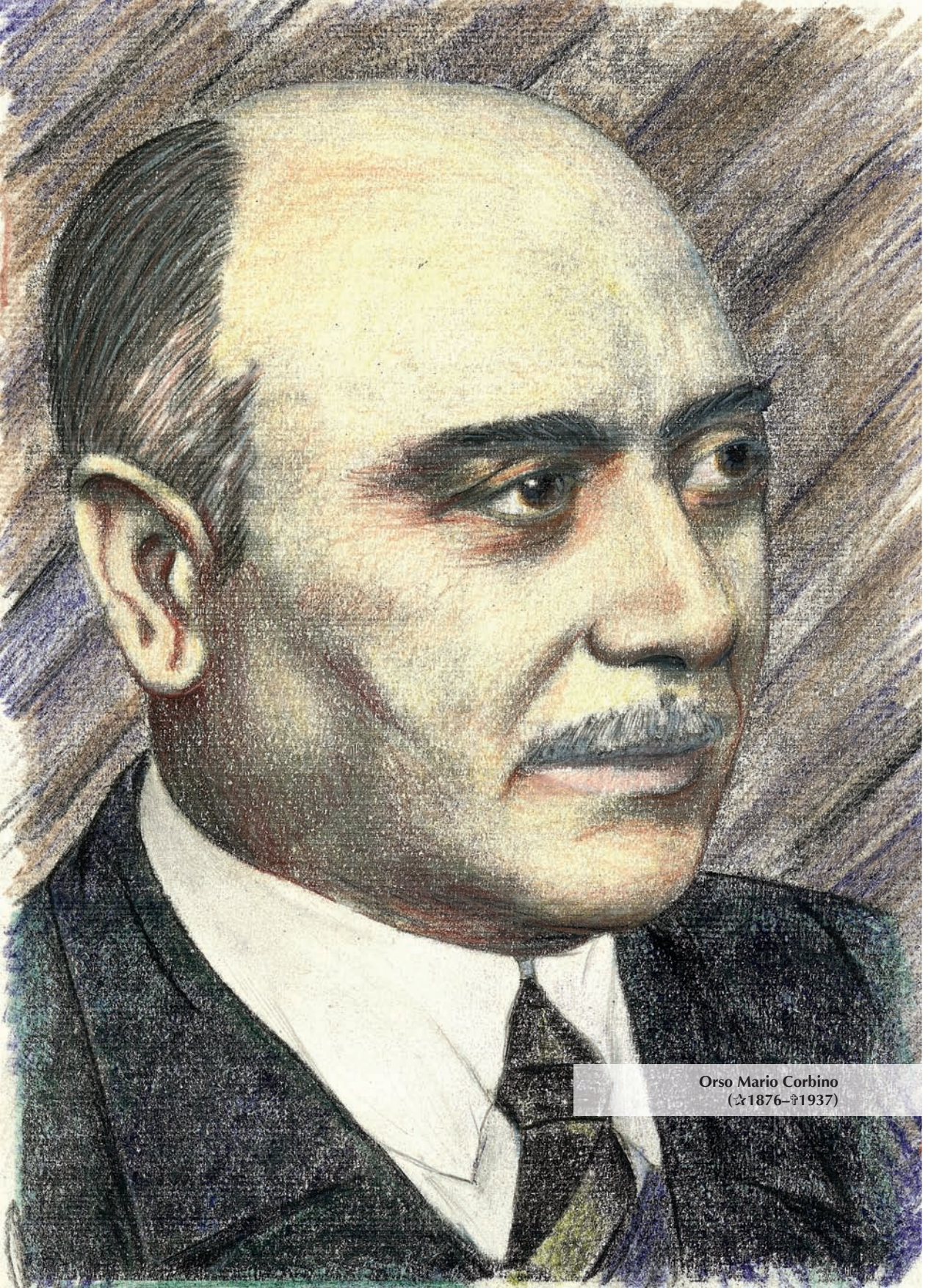
e Rossi (vindos da Itália), Bethe, Bloch, Staub, Teller, Weisskopf, von Neumann, Deutsch, Rotblat, Peierls e Frisch (vindos da Alemanha, da Hungria, da Polônia, entre outros países).

Em relação à Itália, a situação da física depois da I Guerra Mundial era de uma certa inconsistência em âmbito europeu e, portanto, mundial. Na verdade, não faltavam personagens de destaque, como os professores universitários Righi, Quirino Majorana e Giorgi, mas a fama deles não ultrapassava os limites nacionais. Porém, havia uma pessoa com perfil internacional, um professor siciliano, que, desde 1918, era o diretor do Istituto di Física dell'Università di Roma: Orso Mario Corbino. Além de excelente físico, Corbino possuía qualidades gerenciais e boas relações políticas. Ao mesmo tempo, começava a brilhar a estrela de um grande gênio, que se revelou de um nível tão alto que talvez somente outro italiano, Galileu, se lhe possa equiparar: Enrico Fermi. Nascido em Roma, em 1901, desde a década de 1920 vinha dando provas da sua capacidade.

Tudo já foi escrito sobre Fermi, sobre sua atividade e sobre seus colaboradores (SEGRÉ, 1971; MALTESE, 2000). Assim, importa aqui apenas recordar que Fermi, sob a direção de Corbino, que rapidamente intuiu sua grande capacidade, criou a primeira e única grande escola de física na Itália e levou o país, em relação às pesquisas físicas, a um nível jamais atingido antes e nunca igualado depois.

O regime fascista que, como sabido, tomou o poder em 1922 e teve Orso Mario Corbino como ministro, num primeiro período, procurou favorecer o desenvolvimento da ciência, criando o Consiglio Nazionale delle Ricerche e a Accademia d'Italia, entre outros, mas, num segundo momento, deixou de financiar adequadamente a pesquisa e inibiu as atividades das universidades, que passaram a oferecer, por exemplo, poucos cargos para professores.

Em outubro de 1926, em Bolonha, intervindo na reunião da Società Italiana per il Progresso delle Scienze, Mussolini perguntava, retorica-



Orso Mario Corbino
(☆1876–†1937)

mente, à plateia de cientistas "[...] o que eu, pessoalmente, dei à ciência?" Não obstante os presentes apressarem-se a sugerir "Tudo!", o Duce respondeu "Um grande nada!"[64] (MAIOCCHI, 2004). Mussolini tinha razão, mas, às belas frases, não se seguiu nada de concreto. Essa é, aliás, uma característica bem italiana: gastam-se muitas palavras sobre a importância da universidade e da pesquisa, mas, a essas afirmações, não se segue quase nada de concreto! O fascismo não foi exceção, mesmo considerando que, durante os 20 anos de facismo, não faltaram iniciativas e felizes intuições.

Com efeito, nasceram algumas universidades, as de Bari e de Milão, e, em 1923, foi instituído, como consequência do Ufficio Invenzioni e Ricerche, presidido pelo matemático Vito Volterra, o Consiglio Nazionale delle Ricerche, cuja primeira presidência foi confiada, por escolha natural, ao próprio Vito Volterra. Todavia, ele era um personagem incômodo, por ser um conhecido antifascista e judeu, e estava entre os poucos docentes universitários que rejeitaram o juramento de fidelidade ao fascismo.

Assim, criou-se uma fortíssima pressão para fazê-lo pedir demissão, deixando-o, nesse ínterim, sem recursos, tanto que o novo CNR não deixou rastros até sua reorganização, em 1927, depois da demissão de Volterra. Seus fundos foram, então, notavelmente aumentados, e, para presidi-lo, foi chamado Guglielmo Marconi, personagem politicamente próxima do fascismo. Em 1932, o CNR passou para a dependência direta do governo, mas o seu financiamento não foi suficiente para arcar com novas iniciativas. Em 1936, o CNR foi "atingido" por um onda de sorte, tanto que, em pouco tempo, seus financiamentos aumentaram seis vezes. Foram criados três institutos: o Istituto Nazionale di Chimica, dirigido por Nicola Parravano; o de Geofisica, dirigido por Antonino Lo Surdo; e o de Biologia, dirigido por Sabato Visco.

---

[64] Amaldi su Fermi (critiche su Stoccolma) (AMALDI, 1997, p. 39).

Em 1936, morreu Marconi e, depois de um período obscuro, foi nomeado presidente do CNR ninguém menos do que o marechal Badoglio que, enquanto proclamava o interesse científico por parte do fascismo, dava a entender que, pelo menos teoricamente, gostaria que a ciência servisse ao Exército e à preparação da guerra. Badoglio ficou no cargo até outubro de 1941 e foi obrigado a demitir-se (oficialmente, por limite de idade) em razão do péssimo andamento da guerra e, acima de tudo, por ser odiado pelo regime fascista. Em seguida, nos difíceis anos de guerra e ocupação, assumiu a direção o eletrotécnico Giancarlo Vallauri, diretor do Istituto Elettrotecnico Nazionale de Torino. Em setembro de 1944, o matemático Guido Castelnuovo foi nomeado comissário do CNR. E o círculo se fechou.

Mas retornemos a Fermi e a Corbino. Do ponto de vista político e, em especial, em relação ao fascismo, de 1935 a 1936, Fermi mostrou-se pouco interessado, ou mesmo agnóstico, mas não desfavorável a ele. Segrè assim descreve a sua posição (SEGRÉ, 1971; MALTESE, 2000):

> Nos primeiros tempos, certamente Fermi era favorável ao fascismo. Poucas pessoas, mais maduras e com maior conhecimento do mundo, como Vito Volterra, viram, desde o começo, que o fascismo traria, a longo prazo, consequências desastrosas. Corbino era ambivalente. Embora não tivesse ilusões em relação ao fascismo e jamais tivesse se inscrito no partido, tinha feito parte dos primeiros governos de Mussolini, que eram de coalizão. Graças a Corbino, Fermi tinha alcançado um nível de consciência política superior àquele conseguido com a leitura dos jornais [...] [...] Mesmo assim, Fermi dedicava-se pouco à política. Era extremamente ligado às suas pesquisas e tinha pouco tempo para o resto [...] [...] Estava bem cônscio das fragilidades do regime e não pretendia apoiá-lo, embora também não tivesse nenhuma intenção de participar de uma oposição militante. Desde que pudesse dedicar-se à sua ciência predileta, estaria disposto a ignorar o resto. (SEGRÉ, 1971 p. 49).

De qualquer maneira, Fermi foi nomeado Accademico d'Italia, em 18 de março de 1929, na primeira reunião de nomeação, junto com mais 15 acadêmicos, entre os quais Pietro Mascagni, Umberto Giordano, Pietro Canonica, Gioacchino Volpe, Tommaso Marinetti, Francesco

Severi, Marcello Piacentini e Giancarlo Vallauri. Em abril de 1929, inscreveu-se no Partito Nazionale Fascista. Depois, tomou parte no júri, na sessão de ciência, dos primeiros Littoriali (N.T.: no período fascista, eram competições culturais ou esportivas para estudantes universitários) de cultura e arte.

Durante muitos anos, Fermi, accademico d'Italia, mesmo sendo o mais jovem, foi secretário da Classe delle Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, presidida por Giancarlo Vallauri. É interessante acompanhar as reuniões da classe, com referência à física, naqueles anos. Na reunião de 11 de março de 1938, certamente por pressão de Fermi, ficou deliberado conferir ao professor Franco Rasetti o Prêmio Mussolini, enquanto Severi apontava a qualidade dos trabalhos da comissão para justificar as homenagens a Marconi. Na Reunião-Geral Solene, em 21 de abril de 1938, na presença do rei, foram entregues os prêmios Mussolini. Fermi leu o discurso referente ao prêmio concedido a F. Rasetti. Porém, a partir de setembro daquele ano, Fermi estava decidido a deixar a Itália e ir para os Estados Unidos.

Certamente, os motivos foram muitos, alguns dos quais ligados às condições de trabalho. Depois da morte de Orso Mario Corbino, seu protetor político, a direção do Istituto di Física dell'Università di Roma passou para o professor Lo Surdo, um professor do "velho regime" que não o tinha em especial consideração[65]. Além disso, foi rejeitada a solicitação feita ao CNR de criar um Istituto della Radioattività, que, com vultosos financiamentos, teria colocado o grupo de Fermi em condição de suportar a concorrência com o resto do mundo e, em especial, de construir um acelerador. Tudo isso convenceu Fermi de que a roda estava girando em sentido contrário.

---

[65] Antonino Lo Surdo tinha sido um bom físico experimental e tinha estudado e levado à máxima compreensão experimental o efeito Stark (LO SURDO, 1914), que é frequentemente citado, inclusive em textos alemães, como efeito Stark-Lo Surdo. Porém, na época da qual falamos, isto é, na década de 1930, ele já estava velho e incapaz de compreender os modernos desenvolvimentos da física.

Mas a gota que fez transbordar o copo foi, certamente, o Il Manifesto della Razza (ou o Manifesto dos Cientistas Racistas), de 14 de julho de 1938 (LA LEGISLAZIONE..., 1989), ao qual se seguiram medidas antijudaicas, também no âmbito da universidade e da pesquisa.

De modo geral, as leis raciais eram uma grosseira tentativa, muito desejada por Mussolini, de importar para a Itália o racismo ariano, com a finalidade de tornar mais sólida sua aliança com o nazismo. Mas a "eugenia italiana" não nascia de repente, pois tinha fortes raízes nas teorias de Lombroso, na "Lei Federzoni", de 1926, num célebre discurso de Mussolini, de maio de 1927, e na elaboração teórica do endocrinologista Nicola Pende, na década de 1930. Deste último, vale a pena ler algumas de suas afirmações:

> [...] na Itália, desde tempos remotíssimos, fundiu-se a beleza saudável, específica da nossa grande raça, dolicocéfala mediterrânea, ao seu espírito lógico, realístico, volitivo com os valores de grande resistência física, com o espírito fantástico, romântico e abstrato, que nos levaram, com seu sangue, a duas outras raças, a alpina e a nórdica [...] [...] ao que se deve o fato de que nós, italianos, possamos nos orgulhar de ser, como tipo étnico, o povo biologicamente mais harmonioso da Terra. E, para mim, esta é a profunda razão biológica à qual se deve a eternidade e a universalidade da civilização de Roma e se deve a poliédrica e insuperável grandeza do nosso gênio artístico e do nosso gênio científico [...].(FINZI, 1997, p. 53).

Retornando às medidas raciais de 1938, estas atingiram a mulher de Fermi, Laura Cappon, além de numerosos amigos e colaboradores. Em 10 de novembro de 1938, foi oficialmente comunicada a concessão do Prêmio Nobel a Fermi[66]. Não foi feita nenhuma observação em relação ao prestigiado prêmio em nenhuma das duas reuniões seguintes da Accademia d'Italia: uma, em 18 de novembro, da Classe delle Scienze,

---

[66] Na verdade, Fermi tinha recebido uma comunicação reservada de Bohr, durante o verão de 1938. Este lhe anunciou sua provável vitória para o Prêmio Nobel de Física de 1938 e lhe perguntou se isso o colocaria em dificuldades com o governo fascista. Essa pergunta não era comum, mas a Fundação Nobel queria "proteger-se", dadas as dificuldades que o governo nazista tinha colocado para os últimos vencedores do prêmio, que foram proibidos de ir recebê-lo.

e a outra, a Reunião-Geral Solene, de 20 de novembro, das quais Fermi participou. Os jornais publicaram apenas a concessão do Prêmio Nobel a Fermi, e isso nos faz pensar que Fermi já fosse olhado como suspeito pelo regime. A partir das reuniões de janeiro de 1939 até o fim de maio desse ano, a ausência de Fermi era registrada como falta justificada, e, depois, os relatórios sequer faziam referência a ele.

> As críticas do regime a Fermi começaram a assumir um tom mais explícito e duro quando foi projetado, nas salas cinematográficas italianas, um filme de Estocolmo, no qual se via a cerimônia da premiação. O fato de Fermi não usar o uniforme fascista somado ao de apertar a mão do soberano sueco, em vez de fazer a saudação fascista, determinaram uma onda de indignação na imprensa mais rigidamente controlada pelo regime. (AMALDI, 1997, p. 181).

Voltando ao Manifesto della Razza, esse afirmava, entre outras coisas, que: "[...] os judeus não pertencem à raça italiana". Logo depois, tiveram início as verdadeiras e próprias medidas legislativas. Em 2 de setembro, com um decreto-lei do Conselho dos Ministros, os judeus são excluídos do ensino nas escolas estatais, nas quais são proibidos também de se inscrever. Em 10 de novembro, foi proibido o casamento entre cidadãos italianos e elementos de raça não ariana, foi limitado o exercício do direito da propriedade imobiliária e de gestão de negócios e foi decretada a expulsão dos judeus das administrações do Estado, das administrações paraestatais, locais e outras mais.

Cerca de uma centena de professores universitários foram obrigados a deixar a docência. Nem todos, no âmbito universitário, se desagradaram com isso e, infelizmente, ocorreram notáveis exemplos de aproveitadores. Exemplarmente repulsivo foi o comunicado da Commissione Scientifica dell'Unione Matemática Italiana que, no início de dezembro de 1938, assim predizia:

> [...] que nenhuma das cátedras de matemática que ficaram vagas depois das providências para a integridade da raça seja cortada das disciplinas matemáticas mesmo depois da eliminação de alguns cultores da raça judia. (MAIOCCHI, 2004, p. 73).

Entres esses cultores, estavam eminentes chefes escolares da matemática italiana moderna, como Vito Volterra, Federico Enriques, Guido Castelnuovo e Guido Fubini.

A partida de Fermi da Itália, em 6 de dezembro de 1938, não foi tão dramática quanto a fuga de tantos judeus alemães da Alemanha (lembre-se de Szilàrd, Schrödinger e Lise Meitner, entre outros). Na realidade, Fermi obteve da Universidade de Roma uma licença regular para todo o ano acadêmico de 1938-1939, para ministrar cursos na Columbia University de New York. Depois da solicitação de expatriação, Fermi ficou sob o controle da polícia: em um informativo lê-se que, repetidamente, manifestou sua desaprovação em relação à campanha antijudaica.

A autorização para expatriação foi finalmente concedida, mas não sem grandes dificuldades, e Fermi, em 3 de dezembro, fez uma solicitação para falar diretamente com Mussolini: "Seria para mim uma grande honra ser recebido pelo Duce antes de minha partida, a fim de que possa receber eventuais diretivas sobre ações que eu possa desenvolver nos ambientes científicos daqueles países".

Esse encontro não se realizou porque Mussolini não recebeu Fermi. Mas o governo fascista continuou a ter interesse em Fermi mesmo durante a sua permanência nos Estados Unidos. E. Segrè, no seu livro *Enrico Fermi, físico* (SEGRÉ, 1971), relatou uma série de informativos por parte da Embaixada da Itália sobre o comportamento político de Fermi que, nos primeiros meses, foi definido como irrepreensível. Em 9 de setembro de 1940, um informativo da Embaixada da Itália ao Ministério do Exterior informava que:

> [...] informações dignas de confiança confirmam que o prof. Fermi, embora não tenha feito campanha antifascista, deve, neste momento, ter debandado para o campo dos opositores [...] [...] todas as suas relações são no campo dos intelectuais, os mais furiosos inimigos do nosso regime. (MALTESE, 2000, p. 46).

Naturalmente, é necessário lembrar que uma ruptura clamorosa com o regime fascista, que Fermi jamais fez, poderia ser perigosa para os parentes de Fermi e de sua mulher.

Em relação às repercussões das leis raciais, essas atingiram diretamente um dos mais antigos colaboradores de Fermi, Emilio Segrè, que emigrou para os Estados Unidos, e, também, um dos mais jovens, Pontecorvo, que se refugiou primeiro em Paris junto a Joliot e, depois, no Canadá, para, só então, participar do Projeto Manhattan. Indiretamente, atingiram também Franco Rasetti, espírito crítico e antifascista, que emigrou para o Canadá. Rasetti também foi convidado a participar do Projeto Manhattan, mas ele se recusou.

Foram obrigados a abandonar a Itália tanto alguns jovens colaboradores de Fermi, como Giulio Racah, como jovens e promissores físicos, por causa das leis raciais. Foram, assim, enriquecer a pesquisa americana: Bruno Rossi, Ugo Fano, Leo Pincherle, Eugenio Fubini e muitos outros. Alguns se foram não por serem judeus, mas porque eram assumidamente antifascistas: entre eles lembramos o já citado Rasetti, além de Giuseppe Occhialini e Gleb Wataghin. Estes dois últimos contribuíram para a fundação da física na Universidade de São Paulo, no Brasil (sobre este assunto, ver o capítulo 12). De qualquer modo, a física italiana saiu do fascismo e da guerra com os braços quebrados e não mais conseguiu recuperar o nível de qualidade do período anterior à guerra.

Edoardo Amaldi atribuiu o desastre da física à degradação da situação política, provocada, durante anos, pelos países fascistas da Europa, e especificou, como a última e a mais direta causa, a promulgação das leis raciais em 1938.

Emilio Segrè, casual e felizmente, tinha partido para a Califórnia em julho de 1938, prevendo retornar no início das aulas. Ele assim descreve aquele período:

> [...] em 13 de julho parti para New York, com a perspectiva de retornar no outono para o início das aulas. Em vez disso, passaram-se nove anos antes que eu pudesse rever a Itália. Chegando a New York, visitei meus amigos da Columbia University. Leo Szilàrd, o físico húngaro que alguns anos antes tinha conhecido na Inglaterra, veio cumprimentar-me quando da minha partida para São Francisco. Quando lhe expliquei que, segundo os meus planos, deveria retornar a Palermo em outubro, ele me disse que seria impossível, porque Mussolini acompanhara Hitler na sua política racial. Chegando a Chicago, comprei um jornal e li um artigo sobre o Manifesto della Razza. (SEGRÉ, 1993, p. 174).

Franco Rasetti lembra que

> [...] em 1935, com a preparação da Guerra da Etiópia, Mussolini e o fascismo transformavam-se rapidamente, saindo daquele tédio que tinham representado até aquele momento, para pessoas como eu, alheias à política, para uma tirania que condicionava a vida de todos os dias de seus infelizes submissos [...] [...] Passei o ano acadêmico 1935-1936 na Columbia University, e o verão seguinte em Cornell, e estava levando em consideração a possibilidade de permanecer nos Estados Unidos. (AMALDI, 1997, p. 143).

Bruno Rossi, indiscutível chefe das pesquisas sobre raios cósmicos na Itália, era professor de física experimental em Pádua, por ocasião da promulgação das leis raciais. Assim escreveu em suas memórias:

> [...] nos primeiros dias de setembro, compreendi que, como efeito desses decretos, não era mais um cidadão do meu país, e que, na Itália, as minhas atividades de ensino e de pesquisa tinham terminado. Isto foi um golpe cruel! (ROSSI, 1987, p. 34).

Em 1937, tinha sido inaugurado em Pádua o novo Istituto di Fisica. Depois da inauguração, intervieram as leis raciais, que impediram o acesso de B. Rossi. Como ele observa, amargamente: "[...] outros o usariam; mas, para mim, o tempo e o cansaço que dispendi para criá-lo foram desperdiçados" (ROSSI, 1987, p. 123).

Bruno Rossi nunca mais voltou dos Estados Unidos, mais especificamente do Massachussets Institute of Technology, onde trabalhou até aposentar-se. Mas ele permaneceu profundamente ligado à Itália, tanto que manifestou o desejo de ser enterrado em Florença, como de fato

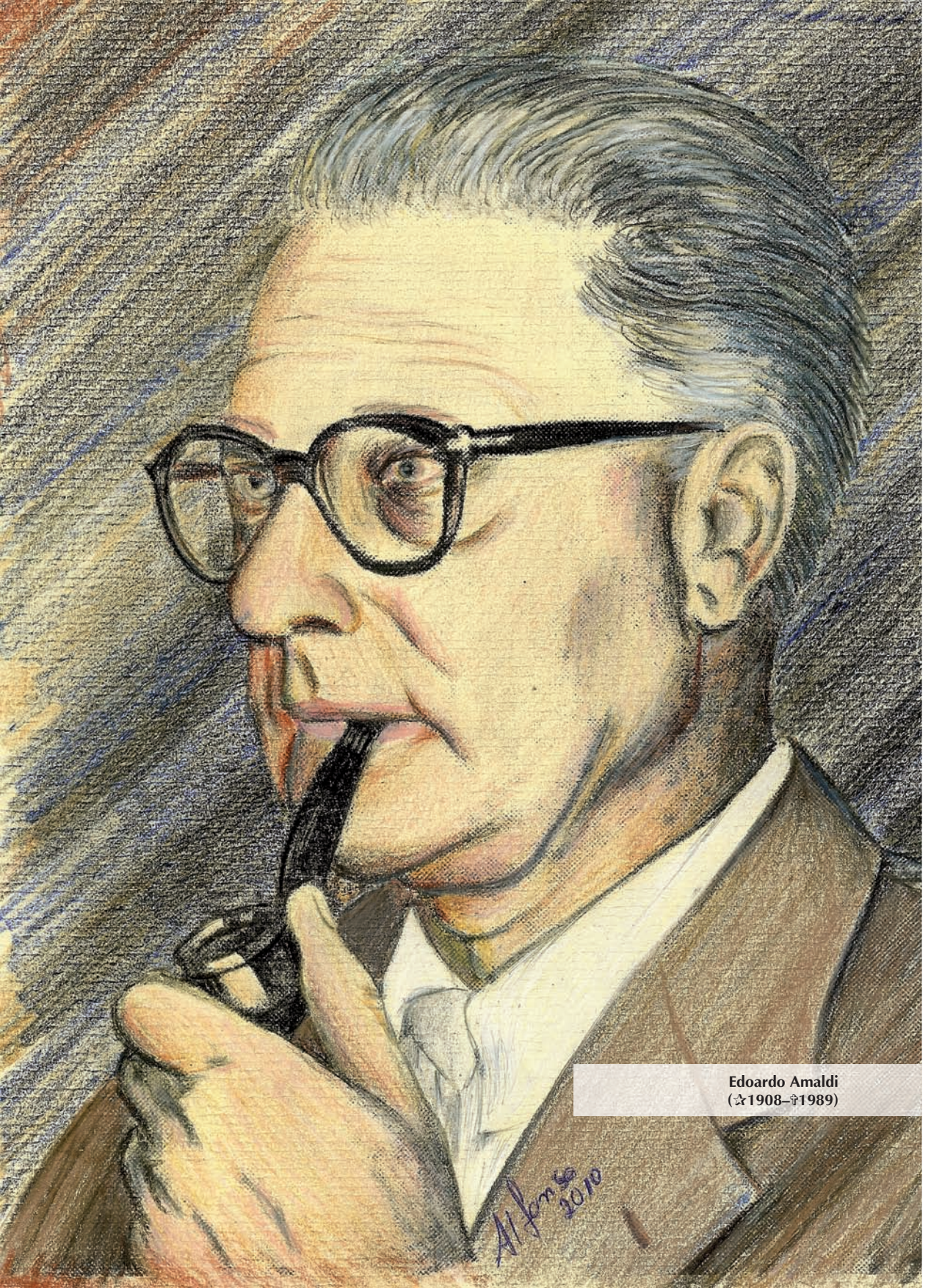
aconteceu, depois de sua morte, ocorrida em Cambridge (USA), em 1993. Tinha retornado a Pádua apenas em 1987, por ocasião do cinquentenário da fundação do "seu" *istituto*.

Bruno Pontecorvo formou-se em Roma, com Fermi. Em 1933, tornou-se assistente de O. M. Corbino e trabalhou na Via Panisperna com Fermi, com a radioatividade induzida por nêutrons. Em 1936, dirigiu-se a Paris para trabalhar com Frédéric Joliot. Ali, foi surpreendido pelas providências antissemitas. Em 1940, no dia seguinte à derrota francesa, foi protegido por uma sociedade americana. Depois, passou pelo Canadá e, então, retornou temporariamente à Itália, e, sendo investigado na Inglaterra por espionagem a favor da União Soviética, fugiu para a URSS em 1950, onde permaneceu até sua morte (MAFAI, 1992).

Edoardo Amaldi, o único do grupo de Fermi que ficou em Roma, no início de 1939 traçou um lúcido quadro da situação da física na Itália àquela época:

> [...] além de Rasetti – que, porém, foi para o Canadá em julho de 1939, alguns meses depois da partida de Fermi –, estavam Bruno Ferretti, assistente de Fermi, Mario Ageno, formado em 1937, Nella Mortara, que trabalhava com as práticas de laboratório, e promissores estudantes, como Conversi e Piccioni. No mais, passavam no instituto, de vez em quando, Gilberto Bernardini e Giuseppe Cocconi.
>
> Nos outros locais, a situação era a seguinte: em Torino estava Pérsico, profundamente atingido pelo andar dos acontecimentos; em Palermo, ficaram dois assistentes de Segrè, Manlio Mandò e Mariano Santangelo. Do grupo experimental de Pádua, permaneceu somente o assistente contratado, Ettore Pancini, a quem depois se juntou Antonio Rostagni. (AMALDI, 1997, p. 81).

O próprio Amaldi, que depois decidiu permanecer na Itália, visitou os Estados Unidos em 1939, para informar-se sobre a possível construção de um cíclotron em Roma, mas também com um outro propósito, inconfessado: o de estabelecer as bases para a transferência sua e de sua família para os Estados Unidos, por causa da rápida degeneração da situação política na Itália e na Europa. Mas o precipitar dos aconteci-



Edoardo Amaldi
(☆1908–†1989)

mentos, isto é, o anúncio da II Guerra Mundial, convenceu-o de que o seu era um sonho ridiculamente ingênuo. Além disso, pouco depois, recebeu uma mensagem da mulher, Ginestra, informando que a Chefatura de Polícia de Roma lhe havia negado passaporte para sua expatriação para os Estados Unidos (para ela e para os filhos).

Em viagem pelos Estados Unidos, em Ann Arbor, Amaldi encontrou-se com Fermi (e família), que ali estava para um curso de verão, e também com Heisenberg. É interessante lembrar como Amaldi reconstrói esse encontro:

> [...] era um domingo à tarde e os Fermi tinham convidado vários colegas e jovens físicos para uma pequena recepção, para saudar Werner Heisenberg, que tinha chegado de Berkeley, proveniente da Alemanha. O assunto, único e central da conversa, eram os acontecimentos políticos na Europa, onde a situação parecia tornar-se cada vez mais obscura. Lembro-me de que Samuel Goudsmit perguntou a Heisenberg o que ele pensava e se não levava em consideração a possibilidade de deixar a Alemanha e transferir-se para os Estados Unidos. Heisenberg disse que era sua intenção retornar de qualquer modo para a Alemanha. Alguém, talvez Fermi, fez referência à transferência de Rasetti para Quebec, e um outro, creio que Goudsmit, declarou, explicitamente, o quanto não desejava emigrar para os Estados Unidos. Não me lembro totalmente das considerações de Heisenberg, a não ser um ponto que permaneceu gravado na minha memória. Ele associou a decisão de emigrar para os Estados Unidos à aspiração de poder trabalhar com a tranquilidade indispensável a uma elevada produção científica, e a decisão de permanecer em seu país com o desejo de conservar viva uma certa forma de cultura. Não me recordo se Heisenberg esclareceu que esse argumento era válido apenas para quem não era atingido pelas leis políticas ou raciais do próprio país, e que, também para muitos cidadãos de países totalitários não envolvidos diretamente, era difícil se sentir atingidos, pelo menos moralmente, por leis desse tipo. O assunto, todavia, permaneceu gravado na minha memória e, certamente, teve influência nas decisões que tomei seis ou sete anos depois [...] [...] Cheguei a Berkeley na tarde de 3 de setembro de 1939. Na rodoviária estava Emilio Segrè, que me levou para sua casa. Ali encontrei algumas cartas de Ginestra, em uma das quais ela me comunicava que a Chefatura de Polícia de Roma havia respondido negativamente à minha solicitação de emissão de passaportes para os Estados Unidos, para ela e para as crianças. (AMALDI, 1997, p. 76).

Fazendo uma comparação entre a situação da física italiana durante o fascismo e a da física alemã durante o nacional-socialismo, pode-se

observar que, na Itália, não houve divisões internas entre os físicos, o que, sem dúvida, levou a Alemanha a falar em "física ariana". E, provavelmente, não houve na Itália os excessos cometidos pelo nazismo, na Alemanha. Além disso, a perseguição antijudaica nasceu na Alemanha em 1933, enquanto, na Itália, alguns anos depois, em 1938.

Quando a Itália entrou na guerra ao lado da Alemanha, em 1940, entre os físicos da escola da Via Panisperna, apenas Amaldi tinha insistido em ficar em Roma, e, durante algum tempo, Rasetti. E ninguém mais. Nem no âmbito político nem no militar, foram questionados os possíveis usos da fissão nuclear (o que nos faz supor a limitada formação científica entre os membros do alto comando do Exército italiano, em comparação ao da Wehrmacht). Ademais, muitos dos maiores cientistas italianos tinham sido enviados para o front, como Amaldi, Ageno e Mandò. Quando alguns representantes da missão Alsos chegaram na Roma libertada pelos aliados, começaram, imediatamente, a interrogar Amaldi e Wick, para ter informações sobre a situação "nuclear" na Itália, e principalmente para saber se tinham conhecimento dos projetos alemães. Rapidamente, tomaram consciência de que, na Itália, depois da partida de Fermi, a pesquisa avançara lentamente, e que não havia nenhum projeto militar ligado à fissão nuclear e, também, que os físicos italianos interrogados não tinham nenhuma informação a dar sobre a situação da pesquisa na Alemanha.

Também em relação à associação entre a pesquisa em física e os judeus, na Itália não aconteceu muita coisa, mesmo porque, em 1938, quase todos os físicos judeus já haviam fugido. O único episódio em que, na imprensa, se tenha tentado, explicitamente, desacreditar os cientistas e os grupos de pesquisa foi um artigo de Giuseppe Pensabene, veiculado no *Tevere*, nos dias 1º e 2 de julho de 1941, reproduzido a seguir, em suas partes mais significativas:

> [...] há algum tempo penetraram na física os conceitos da geometria pluridimensional. Esta, como todos sabem, não tem nenhuma ligação com a realidade

> [...] [...] Einstein acreditou poder demonstrar, entre outras coisas, a validade de tal irreal matemática, observando a conhecida curvatura de um raio luminoso, proveniente de uma estrela muito longínqua [...] [...] observe-se uma das teorias mais fortes dos judeus que hoje trabalham com física: sobretudo com a física nuclear. Uma construção em grande parte fundamentada no arbítrio; e, no entanto, qual é seu tema fundamental? Aquele da identidade entre matéria e energia [...] [...] típica capacidade judia de olhar para a natureza. Os judeus teorizam, não observam: eis uma das razões pela qual a ciência está em decadência.
>
> Não me parece que tenha interpretado mal um estudioso, o engenheiro G. Di Gaddo? Que observa: "existe uma ciência judia, isto é, um modo judeu de tratar, ou, ao contrário, de corromper a ciência. (Em relação à câmara de Wilson construída em Milão) [...] é a descrição de um aparelho idealizado por um inglês e que um tal Polvani construiu para a Universidade de Milão, usando fundos do Consiglio Nazionale delle Ricerche. O aparelho serve para a pesquisa da física judia, como todos sabem; não lhes parece que o dinheiro do Consiglio delle Ricerche deveria ser mais bem gasto?" De nossa parte, observamos: qual é o programa do CNR? Encorajar as pesquisas que possam mostrar-se proveitosas à vida nacional. Não podemos dizer certamente que essas sejam de tal natureza. E, depois, refletem a índole de uma outra raça: destruidora e subversora de qualquer pesquisa verdadeira. (AMALDI, 1997, p. 181).

Edoardo Amaldi assim escreveu ao diretor do Istituto di Física, Antonino Lo Surdo, sobre o artigo de G. Pensabene:

> [...] no *Tevere* de 2 de julho de 1941 havia um artigo assinado por Giuseppe Pensabene, no qual afirma que a física nuclear e os raios cósmicos são ciências judias. Qualquer um que leia tal artigo percebe facilmente que quem escreve não conhece nem de longe esses importantes campos de pesquisa da física moderna. A afirmação acima mencionada parece ainda mais estranha a qualquer um que saiba, como vós o sabeis melhor do que qualquer outro, que o primeiro descobridor dos raios cósmicos foi o italiano Pacini, a quem seguiram-se os alemães Hess, Kohlhoerster e outros. Talvez, o grande público ignore um outro fato, precisamente o notável desenvolvimento que tiveram esses estudos na Alemanha nos últimos anos. Posso dizer-vos que, folheando a *Die Naturwissenschaften*, a mais importante revista alemã, encontrei, compreendidos entre os anos de 1939 a 1940, 65 artigos e cartas relativos aos raios cósmicos e à física nuclear, contra 188 artigos e cartas relativos a todos os campos da física pura e aplicada [...]. (AMALDI, 1997, p. 183).

Em relação aos aspectos diretamente ligados à pesquisa, depois da publicação do trabalho de Hahn e Strassmann, em janeiro de 1939,

Amaldi e Ageno repetiram as medidas de Frisch e observaram, claramente, os produtos da fissão do urânio. Amaldi e seus colaboradores eram bem conscientes das possíveis aplicações, inclusive militares, da fissão do urânio.

> Estava claro, escreve Amaldi, que, em muitos países, estava em andamento um notável esforço para explorar essas possibilidades. A cautela com a qual os problemas da fissão foram mencionados por velhos amigos, durante a minha viagem pelos Estados Unidos, convenceu-me de que as pesquisas estavam progredindo rapidamente nesta direção. (FINZI, 1997, p. 38).

Pouco depois do fim da guerra, em 21 de outubro de 1947, por solicitação americana, Amaldi enviou um pró-memória sobre a situação da física na Itália. A carta é esclarecedora e amarga, e é oportuno transcrevê-la quase integralmente:

> Para avaliar a situação atual da física na Itália é necessário retroceder aos anos anteriores à guerra, quando, graças às pesquisas de Fermi e de seu grupo sobre a radioatividade artificial e sobre as propriedades dos nêutrons lentos, e às pesquisas de Rossi e de seus colaboradores sobre a radiação cósmica, a física italiana tinha começado a ter importância no campo internacional.
>
> Até então, na maior parte dos 18 institutos de física de universidades italianas, a pesquisa científica tinha se desenvolvido de forma esporádica e tinha um caráter individual. Muitos professores de física limitavam-se quase que à atividade didádica ou tinham desenvolvido pesquisas pessoais sem se preocupar em criar um ambiente no qual pudessem desenvolver novos pesquisadores.
>
> Mas, em 1936-1937, parecia que essa situação melhoraria rapidamente: a nomeação de alguns novos professores provenientes dos dois grupos cientificamente ativos, já citados, tinha dado um notável impulso à atividade científica em alguns institutos de física até então completamente inertes. Como exemplo, basta recordar as primeiras pesquisas de Segrè e de seus colaboradores sobre o elemento 43, desenvolvidas pelo Instituto de Física de Palermo. Em 1938–1939, a política interna do governo fascista determinou a emigração de grande parte dos físicos italianos. Limitando-nos aos professores de física, lembramos de Fermi, Racah, Rasetti, Rossi e Segrè. A esses se juntaram outros tantos assistentes, com notável preparação científica. Além disso, o desaparecimento de Majorana em 1938 e a morte de Giovanni Gentile Jr. alguns anos depois tornavam ainda mais exíguo o número dos físicos cientificamente ativos que permanece-

ram na Itália. A situação agravou-se em 1940, com a entrada da Itália na guerra. A maior parte dos físicos que restaram foi chamada às armas e dispersou-se; de fato, o governo não tomava nenhuma providência para salvaguardar o ambiente científico, nem para utilizá-lo para fins bélicos.

No fim da guerra, assim podia ser descrita a situação: a pesquisa física sobrevivia apenas em Roma e em Milão; em Roma estava se juntando, pouco a pouco, a maior parte dos jovens físicos procedentes das diversas universidades, alguns dos quais tinham sido gravemente prejudicados pelas operações de guerra. Os instrumentos pesados quase não existiam; apenas em Roma, no Laboratório de Física do Istituto Superiore di Sanità, e em Pádua, no Istituto di Fisica, havia aparelhos do tipo Cockroft e Walton.

Em geral, as bibliotecas dos institutos de física permaneceram no estado em que estavam antes da guerra: com grande dificuldade de se atualizar por causa do baixo poder aquisitivo da lira.

A situação mais grave é a do corpo científico. Os salários não permitem que os professores e seus assistentes comprem os gêneros alimentícios necessários. A quase totalidade é obrigada a dedicar boa parte da própria atividade em outros trabalhos, para obter o necessário para viver.

É difícil poder dizer hoje se, em futuro próximo, as condições ambientais serão tais que permitam, pelo menos na Itália, um desenvolvimento normal da física, mesmo que seja limitado a áreas bem determinadas. O maior e inevitável perigo é, sobretudo, que continui a emigração dos físicos da Itália, principalmente para os EUA, para onde são atraídos pelas maiores possibilidades de pesquisa e pelas melhores condições de vida. (AMALDI, 1997, p. 173).

Ao contrário do que aconteceu na Alemanha, os políticos e os militares fascistas não tinham nenhuma ideia sobre os possíveis usos, também militares, da fissão nuclear, e, portanto, os físicos não receberam nenhum tratamento especial. Além disso, os melhores deles (Fermi, Segrè, Rossi, Fano, Racah, Pontecorvo, Occhialini, Rasetti, entre outros) foram embora da Itália[67].

[67] A situação italiana é paradoxal, pois a emigração dos cientistas, o que agora chamamos de "fuga de cérebros", projetou-se para além da guerra, continuando até hoje. Na Itália, ainda não se compreende que a pesquisa não é um luxo, mas o motor do desenvolvimento de um país. Leia-se, a respeito, Di Giorgio (2003).

No fim da guerra, a situação na Europa e nos EUA tinha sido fortemente alterada. Göttingen não era mais a capital da física e da matemática, como fora nos primeiros 30 anos do século 20. Göttingen transferira-se para Princeton.Nas primerias décadas do século 20, enquanto, em Princeton e nas outras universidades americanas, a matemática e a física desfaleciam, a 9.000 km de distância, em centros como Götingen, Berlim, Budapeste, Viena, Paris e Roma, desenvolviam-se como nunca e nasciam a teoria da relatividade, a mecânica quântica e os estudos sobre a radioatividade, natural e artificial.

Pouco antes e também pouco depois da II Guerra Mundial, o nível científico americano "explodiu", graças também à forte imigração de cientistas da Europa. Porém, não foi só a emigração europeia que catalizou a transformação de Princeton na metade dos anos 1930. Foi a combinação do empenho de Henry Finn, matemático e grande amigo do presidente W. Wilson, com várias ações filantrópicas, promovidas por Rockfeller, Bamberger e outros. Depois, chegaram os grandes "cérebros" europeus, como von Neumann e Wigner, em 1930, e Einstein, Goedel e Weyl, em 1933.

Referências

AMALDI, E. **Da via Panisperna all'America**: i fisici italiani e la seconda guerra mondiale. Roma: Riuniti, 1997. 198 p. A cura di Giovanni Battimelli e Michelangelo De Maria, con una premessa di Ugo Amaldi.

AMALDI, E. **Il caso della física**. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei, 1990.

BORN, M. **Autobiografia di un físico**. Roma: Riuniti, 1980.

DI GIORGIO, C. **Cervelli Export**. Roma: Adnkronoslibri, 2003.

EINSTEIN, A. Meine antwort: über die anti-relativitätstheoretische G.m.b.H. **Berliner Tageblatt**, Berlin, v. 49, n. 402, p. 1, 27 Aug. 1920.

EINSTEIN, A. Zur Teorie der Lichterzeugung. **Annalen der Physik**, [Berlin], v. 17, p. 132, 1905.

EINSTEIN, A.; BORN, M. **The Born-Einstein letters 1916-1955**: friendship, politics and physics in uncertain times. New York: Macmillan, 2005. p. xxxviii, 235.

FINZI, R. **L'università italiana e le leggi antiebraiche**. Roma: Riuniti, 1997.

FRAYN, M. **Copenhagen**. London: Methuen, 1998. (Methuen Modern Plays).

GEHRKE, E. Wie die Energieverteilung der schwarzen Strahlung in Wirklichkeit gefunden wurde. **Physikalische Zeitschrift**, Leipzig, v. 37, p. 439-440, 1936.

GLASER, L. Juden in der physik: jüdische physik. **Zeitschrift für die gesamte Naturwissenschaften**, Berlin, v. 5, n. 8, p. 272-275, 1939.

HASENÖHRL, F. Zur Theorie der Strahlung in bewegten Körpern. **Annalen der Physik**, [Berlin], v. 15, p. 344-377, 1904.

HEISENBERG, W. **Fisica e oltre**: incontri con i protagonisti: 1920-1965. Torino: Boringhieri, 1984. 261 p.

HEISENBERG, W.; GEIGER, H.; WIEN, M. **Denkschrift**: an den herrn reichsminister. Berlin: Hoffmann: Akademie der Wissenschaft, 1936. p. 185-211. (Kolloquien, 68).

HOFFMANN, D.; WALKER, M. The German Physical Society under National Socialism; **Physics Today**, Melville, v. p. 57, n. 12, p. 52-58, 2004.

ISRAEL, K.; RUCKHABER, E.; WEINMANN, R. (Ed.). **Hundert Autoren gegen Einstein**. Leipzig: Voigtländer, 1931.

LA LEGISLAZIONE antiebraica in Italia e in Europa. Roma: Camera dei Deputati, 1989.

LAUE, M. von. Die fortpflanzungsgeschwindigkeit der gravitation: bemerkungen zur abhandlung von Paul Gerber. **Annalen der Physik**, [Berlin], v. 53, p. 214-216, 1917.

LENARD, P. **Deutsche Physik**. München: Lehmann, 1936. v. 1, Einleitung und Mechanik.

LENARD, P. **Erinnerungen eines Naturwissenschaftlers**. Berkeley: Office for History of Science and Technology-University of California, 1930.

LENARD, P. Über äther una materie: sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften, Heidelberg 1910. In: LENARD, P. **Wissenschaftliche Abhandlungen**. Berlin: GNT-Verlag, 2003. Band 4. 617 p.

LENARD, P. Über Relativitätsprinzip, Äther und Gravitation. **Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik**, Leipzig, v. 15, p. 117-136, 1918.

LENARD, P.; STARK, J. Kundgebung für Hitler. **Grossdeutsche Zeitung**, [Munich], 8 Mai 1924.

LO SURDO, A. Il campo elettrico nello spazio di Hittorf-Crookes e la scomposizione elettrica delle righe spettrali]. **Rendiconti della Reale Accademia dei Lincei**, Roma, v. 23, p. 83, 1914.

MAFAI, M. **Il lungo freddo**: storia di Bruno Pontecorvo, lo scienziato che scelse l'URSS. Milano: Mondadori, 1992. 318 p.

MAIOCCHI, R. **Scienza e fascismo**. Roma: Carocci, 2004.

MALTESE, G. **Enrico Fermi in América**. Bologna: Zanichelli, 2000.

NOBEL PRIZE. Disponível em: <http://nobelprize.org>. Acesso em: 14 abril 2005.

PLANCK, M. Mein Besuch bei Adolf Hitler. **Physikalische Blätter**, Weinheim, v. 3, p. 143, 1947.

RAMSAUER, C. Letter to Bernhard Rust, January 20, 1942. In: HENTSCHEL, K.; HENTSCHEL, A. M. (Ed.). **Physics and National Socialism**: an anthology of primary sources. Boston: Birkhauser, 1996. 604 p.

ROSSI, B. **Momenti nella vita di uno scienziato**. Bologna: Zanichelli, 1987.

SEGRÈ, E. **A mind always in motion**. Berkeley: University of California Press, 1993.

SEGRÈ, E. **Enrico Fermi**: físico. Bologna: Zanichelli, 1971.

SOLDNER, J. Über die Ablenkung eines Lichtstrahles von seiner geradlinigen Bewegung durch die Attraktion eines Weitkörpers, an welchem er nahe vorbeigeht. **Astronomisches Jahrbericht**, Berlin, p. 161-192, 1804.

STARK, J. **Elektrische Spektralanalyse**. Leipzig: Hirzel, 1914.

STARK, J. Philip Lenard als deutscher Naturforscher. **Nationalsozialistische Monatshefte**, Munich, v. 7, n. 71, p. 106-111, 1936.

STARK, J. 'Weifie Juden' in der Wissenschaft. **Das Schwarze Korps**, [Berlin], 15 Jul. 1937. p. 6

Literatura recomendada

BEYERCHEN, A. **Scientists under Hitler**: politics and the physics community in the third Reich. London: Yale University Press, 1977.

FRAYN, M. **Copenhagen**. London: Methuen, 1998. (Methuen Modern Plays).

COMMISSIONE SCIENTIFICA DELL'UNIONE MATEMÁTICA ITALIANA. [Amaldi su Fermi (critiche su Stoccolma)]. 1938

FRAYN, M. **Copenhagen**. London: Methuen, 1998. (Methuen Modern Plays).

HENTSCHEL, K.; HENTSCHEL, A. M. **Physics and National Socialism**. Berlin: Birkhauser, 1996.

LENARD, P. Erzeugung von Kathodenstrahlen durch ultraviolettes Licht. **Annalen der Physik**, [Berlin], v. 307, n. 6, p. 359-375, 1900.

LENARD, P. Über die lichtelektrische Wirkung. **Annalen der Physik**, [Berlin], v. 8, p. 149, 1902.

Capítulo 10

WERNER HEISENBERG: UM GÊNIO DA FÍSICA TEÓRICA, MAS TAMBÉM UMA PERSONALIDADE CONTROVERTIDA

Werner Heisenberg é uma das figuras-chave na história da física do século 20 e da física em geral. Pelo prisma científico, ele foi um grande gênio, que contribuiu para criar a mecânica quântica, revolucionando a física. Pelo prisma de experiências pessoais, Heisenberg atravessou três períodos trágicos para a Alemanha: as duas guerras mundiais e a ideologia nacional-socialista.

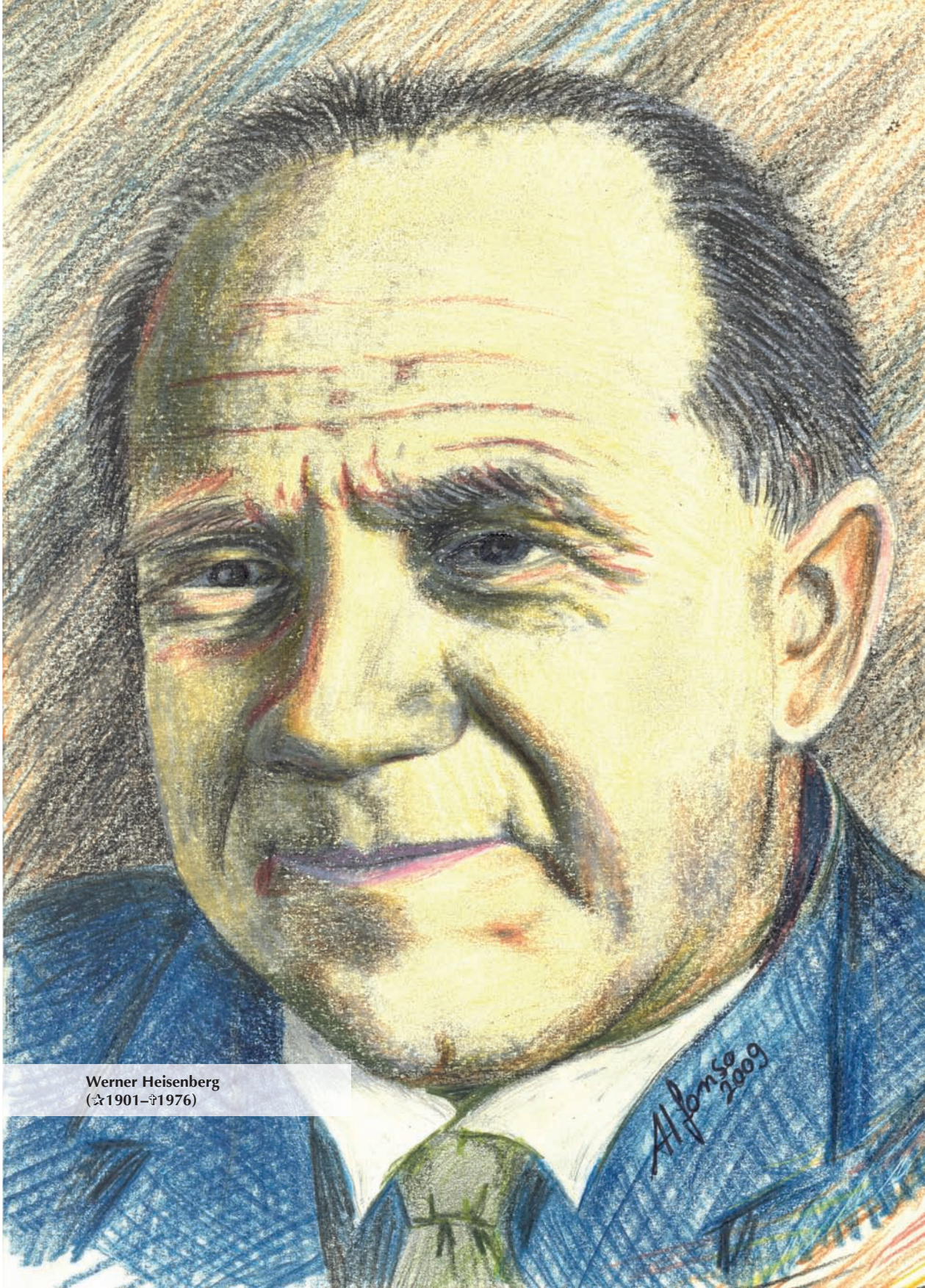
Heisenberg nasceu em Würzburg, em 5 de dezembro de 1901, mas, pouco depois do seu nascimento, a família transferiu-se para Munique, onde o pai foi admitido como professor-titular de grego, na universidade. Werner foi uma criança precoce e, desde a escola, sempre foi o melhor. Cresceu em um ambiente modesto, mas de grande cultura. O período da guerra e, sobretudo, o da pós-guerra, no breve período da República Soviética em Munique, tiveram muita influência sobre ele. Essa república correspondeu à tentativa, de pequena duração, de estabelecer um regime comunista-bolchevista em Munique, depois da turbulência que se seguiu à I Guerra Mundial.

Além disso, teve muita importância para o jovem Werner sua adesão e sua participação em um grupo de jovens escoteiros, grupo que alimentava grandes ideais, a exemplo de uma forte oposição a certos valores, como o capitalismo, o materialismo e a hipocrisia, e a franca adesão a outros, como o amor à natureza, ao espírito alemão, à música, à harmonia e à poesia, e também à racionalidade. O álcool e o fumo eram rigorosamente proibidos nesses grupos, e contatos com moças eram raros.

Heisenberg frequentou esse grupo por muitos anos, tendo se tornado seu líder e depois emprestado seu nome ao grupo, que a partir de 1919 passa, então, a se chamar "grupo Heisenberg". Os finais de semana eram sistematicamente dedicados ao grupo e consistiam, geralmente, de passeios nos Alpes bávaros ou nos lagos da Baviera. Em determinado período, foi incluída alguma atividade paramilitar, a exemplo da participação do grupo em operações contra a República Soviética de Munique.

O profundo anticomunismo de Heisenberg, talvez mais sentido do que o antinazismo com o qual conviveu, provavelmente nasceu naqueles anos. Alguns ideais do grupo Heisenberg não estavam muito longe da ideologia nazista, que então nascia, e cujo nacionalismo certamente era apreciado por Heisenberg e seu grupo. Em relação ao antissemitismo, alguns grupos de escoteiros aderiram a ele, e outros não. Do grupo de Heisenberg também participaram judeus, e, portanto, não era antissemita. O antissemitismo, certamente, não estava entre as ideias de Heisenberg.

Durante a I Guerra Mundial, a situação na Baviera ficou muito difícil, com carência de alimentos e combustível. Werner era magro e desnutrido, e, certa vez, caiu da bicicleta, tal a sua debilidade física. As escolas ficaram fechadas por muito tempo, em razão da falta de carvão. Os adultos, entre eles o pai de Heisenberg e muitos professores, estavam na guerra e isso, naturalmente, desenvolveu o espírito de independência dos rapazes. Heisenberg, assim como seus colegas de classe, participou de exercícios militares e fez parte de uma unidade de treinamento mi-



Werner Heisenberg
(☆1901–✝1976)

litar, que, entre outras atividades, trabalhou nos campos, em colheitas. Depois da guerra, essa unidade serviu de suporte às tropas enviadas de Berlim para combater a República Comunista.

O grupo Heisenberg foi também importante para Werner do ponto de vista científico, porque foi nele que desenvolveu o gosto por discussões, que tratavam preferencialmente de aspectos teóricos da ciência (os aspectos práticos e aplicados eram associados ao materialismo). Isso continuou a influenciar Heisenberg por toda a sua vida.

O jovem Werner estava habituado a se destacar em tudo, entre seus colegas, e, como consequência, tinha desenvolvido uma grande ambição cultural. Entre outras coisas, mostrava-se um notável pianista (a execução de um instrumento musical era comum na classe média alta alemã), um discreto escalador e um bom esquiador. Em poucas palavras, conseguia destacar-se em tudo, por fazer tudo muito bem.

Com essas competências, Heisenberg entrou para a Universidade de Munique, no outono de 1920. Não obstante as difíceis condições da Alemanha durante a I Guerra Mundial, e também depois dela, ele possuía uma notável preparação, em especial nas matérias científicas, com destaque para a matemática, sendo sua primeira intenção estudar essa disciplina, para, depois, dedicar-se à pesquisa avançada.

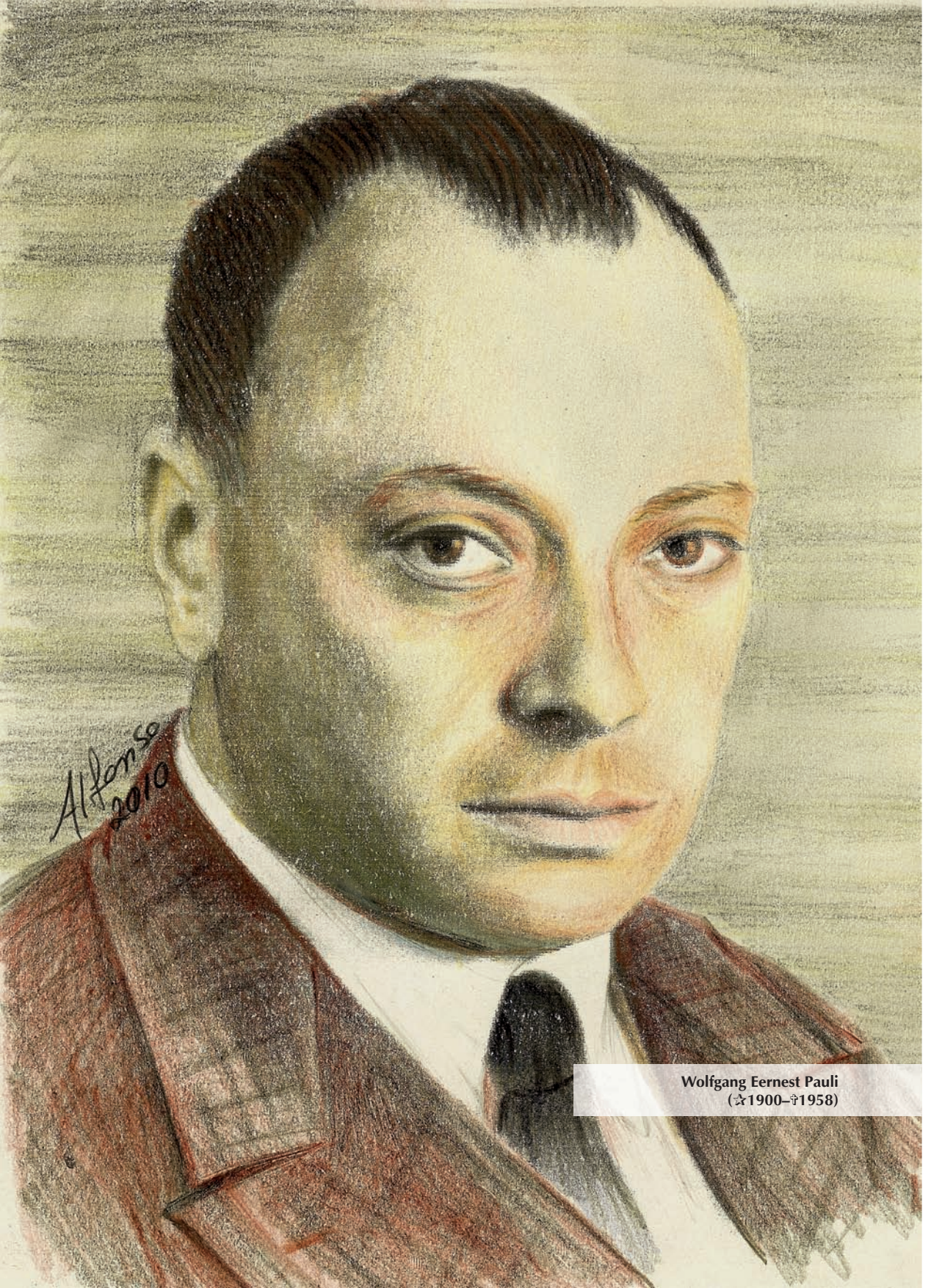
O pai, importante professor na mesma universidade, conseguiu-lhe um encontro com o professor von Lindemann, nessa época uma autoridade na área, mas já próximo da aposentadoria (HEISENBERG, 1984). A conversa com von Lindemann foi decepcionante para Heisenberg. Durante o encontro, o cão do professor, deitado sobre a escrivaninha, não parou de latir e rosnar para ele, o que lhe pareceu, como ele mesmo contaria, um mau presságio, que se cumpriu. Com efeito, von Lindemann, que era parcialmente surdo, e parecia compreender apenas parte do que Heisenberg lhe dizia, deve ter se apercebido do interesse do jovem Werner pela matemática, mas não lhe deu nenhum incentivo.

O segundo encontro foi marcado pelo pai com Arnold Sommerfeld, na época com cerca de 50 anos, renomado e bem-sucedido professor de física teórica, no auge da sua carreira. E Heisenberg, com sua extraordinária capacidade para as ciências matemáticas e teóricas, não poderia ter encontrado, naquele momento, um mestre melhor do que Sommerfeld, que estava habituado a conviver, no seu respeitado grupo, com discípulos geniais. Com efeito, ao se aperceber da competência de Heisenberg, Sommerfeld o admitiu imediatamente nos seminários avançados (HEISENBERG, 1984).

Em 29 de julho de 1922, Sommerfeld assim escreveu a Paul Epstein, seu antigo aluno, professor de física teórica no Caltech, na Califórnia (CARTA..., 1922): "Espero grandes descobertas por parte de Heisenberg, que considero ser o mais bem dotado dos meus alunos, além de Debye e Pauli". Nas aulas de Sommerfeld, Heisenberg conheceu um estudante um pouco mais velho do que ele, e também com grande talento, com quem iniciaria uma forte amizade que, entre altos e baixos, duraria toda a vida: era o vienense Wolfgang Pauli.

Além disso, no círculo de Sommerfeld, gravitavam alunos mais antigos, como Alfred Landé, Peter Ewald, Karl Herzfeld, Gregor Wentzel, Otto Laporte e Wilhelm Lenz.Mas, tentemos compreender qual era a situação da física, em especial da física atômica, na época em que Heisenberg entrava na universidade.

O modelo atômico de Rutherford, de 1911, previa um núcleo central carregado positivamente, em torno do qual giravam os elétrons, carregados negativamente. Esse modelo apresentava uma dificuldade: um elétron que percorresse uma órbita fechada em torno do núcleo deveria irradiar e, perdendo um pouco de energia a cada volta, deveria "cair" sobre o núcleo. Isso, porém, não acontecia; o átomo, na realidade, constituía uma estrutura estável. Pensou-se que as leis da física clássica não valessem para a dimensão infinitamente pequena do átomo, e, ao redor de 1913,



Wolfgang Eernest Pauli
(☆1900–†1958)

chegou-se ao modelo de Bohr, depois integrado por Sommerfeld, que conservou a validade de algumas leis clássicas da mecânica, mas introduziu "uma quantificação", empregando a famosa "constante h da irradiação de Planck", que, inserida de modo assaz curioso na lei de emissão do corpo negro, explicava corretamente as leis. Essa constante tinha sido utilizada por Einstein, em 1905, para explicar o efeito fotoelétrico.

Niels Bohr aplicou as leis da mecânica clássica para as órbitas dos elétrons (segundo a lei de Coulomb, deve-se ter $v = e\sqrt{Z}/mr$ (v = velocidade do elétron na sua órbita, Z = número atômico, m = massa do elétron, r = raio do elétron na sua órbita), mas, depois, introduziu uma condição suplementar, segundo a qual o movimento dos elétrons ao redor do núcleo era possível não mais sobre órbitas de qualquer raio, mas só sobre algumas delas, chamadas de "órbitas quânticas".

Essa condição foi formulada do seguinte modo: o momento do impulso p do elétron ao redor do núcleo (p = mvr) deve ser um múltiplo inteiro da constante universal $h/2\pi$ (h é a constante de Planck). Então, deve-se ter, a partir das duas equações anteriores:

$$r_n = n^2 (h^2/e^2mZ)$$

que impõe condições para o raio das órbitas eletrônicas. Colocando Z = 1 (átomo de hidrogênio), n = 1 (primeira órbita), encontra-se, por exemplo, $r = 0{,}53 \times 10^{-8}$ cm, que corresponde exatamente ao raio da órbita fundamental do átomo de hidrogênio. Portanto, o átomo pode apenas encontrar-se em determinados "estados quânticos", que, além disso, correspondem a níveis energéticos bem definidos.

Essa teoria foi posteriormente ampliada por Sommerfeld de modo a poder incluir as órbitas elípticas do átomo de hidrogênio e de átomos mais complexos (condições de Sommerfeld). A teoria de Sommerfeld mostra que qualquer nível energético é, na realidade, um nível múltiplo, determinado, no todo, por três números quânticos.

A teoria atômica de Bohr-Sommerfeld, que por muitos motivos não era totalmente satisfatória ao misturar conceitos da mecânica clássica com hipóteses quânticas, constituía o ponto de partida da física, no início dos anos 1920.

Durante esse período, essa teoria começou a entrar em colisão com alguns fatos experimentais, como o "efeito Zeeman anômalo". O efeito Zeeman consiste na triplicação das linhas espectrais e, portanto, dos níveis eletrônicos, em razão de um campo magnético externo. Isto é, quanto se observa experimentalmente, por exemplo, no hidrogênio. O efeito Zeeman anômalo consiste no fato de que, em alguns átomos, em vez de uma triplicação, existe um quarteto, um sexteto ou, até mesmo, uma maior multiplicidade. E isso não era explicado com base na teoria de Bohr-Sommerfeld.

Essa era a situação da física nos anos 1920, quando Heisenberg estudava física com Sommerfeld. Heisenberg terminou seus estudos no tempo recorde de menos de 3 anos, ou seja, do outono de 1920 até julho de 1923.

Em 1921, tendo notícias de Paschen e de Back sobre as medidas do efeito Zeeman anômalo, e não conseguindo esclarecê-las, Sommerfeld experimentou confiar a análise dos dados ao jovem Werner, que mergulhou no trabalho e conseguiu explicar os efeitos anômalos introduzindo números quânticos semi-inteiros. Isso tudo suscitou reações de incredulidade em Sommerfeld e em seus colaboradores, mas, depois que Landé publicou um trabalho no qual usava o mesmo conceito, Sommerfeld deu seu consentimento para que Heisenberg, com apenas 20 anos, publicasse seu primeiro trabalho sobre o efeito Zeeman anômalo (HEISENBERG, 1922).

O modelo de Heisenberg com o número quântico semi-inteiro encontrou muita oposição também em âmbito internacional e, em particular, em Niels Bohr, guru da física do século 20.

Em 1922, Heisenberg conheceu Niels Bohr. No verão daquele ano, Sommerfeld o levou a Göttingen (HEISENBERG, 1984), onde se realizava o anual Bohr Festival, que vinha a ser uma semana dedicada a uma série de seminários dados por Bohr, seguidos de discussões. Heisenberg teve a oportunidade de confrontar suas ideias sobre o átomo com aquele que era considerado, naquela época, o "mestre" da física teórica mundial. O encontro de Göttingen transformou Heisenberg em uma pessoa conhecida no restrito âmbito da física avançada da época. Nesse mesmo ano (1922), ele foi coautor, com Sommerfeld, de duas publicações sobre os espectros X e, ainda, sobre o efeito Zeeman anômalo (SOMMERFELD; HEISENBERG, 1922a, 1922b).

No ano acadêmico 1922–1923, Sommerfel, em licença da Universidade de Munique, foi para Madison, Wisconsin, e Heisenberg aproveitou para ir a Göttingen, onde permaneceu por 6 meses, para estudar com Max Born, outro grande expoente da física teórica alemã. Junto com Born, publicou dois trabalhos de física atômica (BORN; HEISENBERG, 1923).

Heisenberg não pretendia, porém, focalizar sua atenção somente na física atômica. Tanto isso é verdade que sua tese de formatura tratava de fluido-dinâmica, exatamente da transição entre o fluxo laminar e o fluxo turbulento (HEISENBERG, 1924).

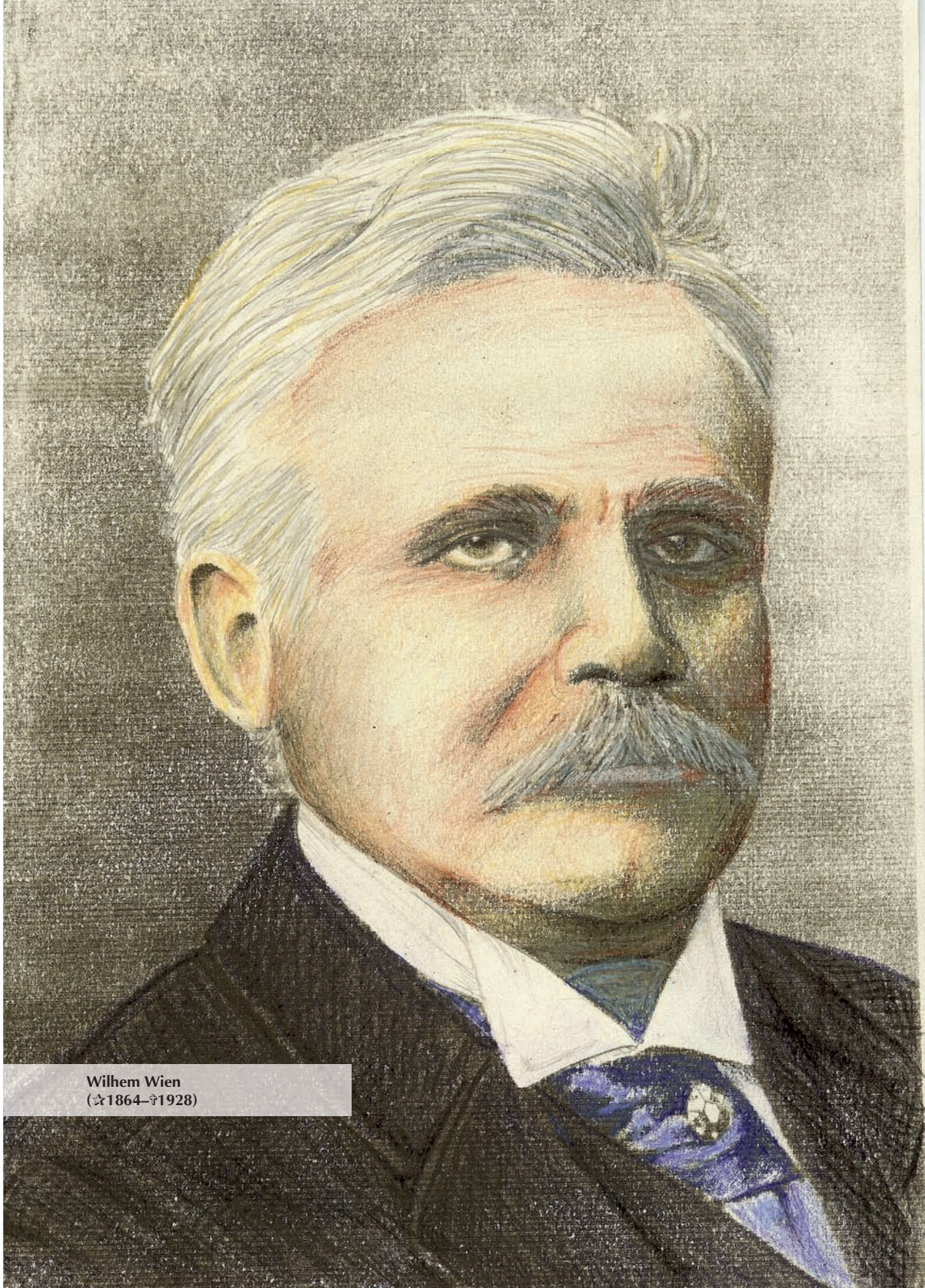
Na Alemanha, o exame de conclusão de curso prevê uma discussão sobre a tese e perguntas ao acaso sobre toda a física. Pois a experiência foi dramática para Heisenberg. Deve-se ter presente que ele era um gênio da física teórica e da matemática em geral, mas era uma "negação" em qualquer atividade experimental. Ora, muitos dos cursos eram experimentais e compreendiam também a frequência ao laboratório e a execução de medidas experimentais. O titular dos cursos de física experimental era Wilhelm Wien, aluno de Röntgen na Universidade de Würzburg. Para a prova de laboratório, Heisenberg deveria usar o interferômetro de

Fabry-Perot. Faziam parte da banca examinadora, além de Sommerfeld e Wien, um docente de matemática e um de astronomia. Depois de uma discussão muito positiva sobre a tese de conclusão de curso e uma discreta prova sobre astronomia, Wien pediu-lhe para discutir o poder de resolução do interferômetro, coisa que Heisenberg não sabia fazer, e, em seguida, pediu-lhe para falar sobre o princípio de funcionamento de uma pilha, e novamente Heisenberg não abriu a boca. Wien enfureceu-se e, por isso, não queria aprovar o jovem Heisenberg no exame final. Aconteceu, então, uma animada discussão entre Sommerfeld e Wien sobre a relativa importância da física experimental em relação à teórica, e, por fim, Sommerfeld conseguiu convencê-lo a "passar" Heisenberg, embora com uma nota bastante baixa (passou no exame com 3, pouco acima da nota de suficiência, que, na Alemanha, corresponde a 4).

Heisenberg não estava habituado ao fracasso e ficou muito chocado com o seu medíocre resultado. À tarde, Sommerfeld tinha organizado uma pequena festa na sua casa para festejar a formatura de seu aluno, agora Dr. Heisenberg, na qual ele, naturalmente, participou, mas para partir, em seguida, para Göttingen, no trem noturno. No dia seguinte, apresentou-se a Born que, na sua estada anterior, lhe havia proposto o cargo de assistente para depois da formatura. Weiner lhe contou a discussão da sua tese de formatura (HEISENBERG, 1984), e completou: "pergunto-me se o senhor ainda me aceitará?" Born quis saber quais eram as perguntas em que ele não se saíra bem, e, depois de sabê-las, disse que elas eram capciosas. Assim, manteve o seu convite.

Naquele verão, Heisenberg pediu a James Franck, grande físico experimental e colega de Born, que lhe ensinasse física experimental, o que Franck fez, embora com escassos resultados. Heisenberg não tinha nenhum talento experimental.

Heisenberg ficou em Göttingen até a primavera de 1926, dedicando-se completamente à física atômica. Publicou, então, em colaboração



Wilhem Wien
(☆1864–✝1928)

com Max Born, alguns trabalhos. Em 1924, obteve sua habilitação para o magistério e, de 1924 a 1925, com a ajuda da Fundação Rockfeller, colaborou com Niels Bohr em Copenhague, retornando a Göttingen em 1925. Desse modo, Heisenberg completava o conhecimento da grande tríade mundial dos físicos atômicos teóricos: Sommerfeld, Born e Bohr. Sem dúvida, para a época, Heisenberg teve os melhores mestres possíveis.

Entre janeiro e agosto de 1923, enquanto Heisenberg e Born trabalhavam juntos nas órbitas eletrônicas do hélio, outro grande e também precoce gênio da física do século 20 passou um certo período em Göttingen, com Born, graças a uma bolsa de estudos do Ministero della Pubblica Istruzione. Era Enrico Fermi.

Na época, a República de Weimar estava em plena crise e a situação econômica e política da Alemanha era catastrófica. Ruhr acabava de ser ocupada pelos franco-belgas. Essa foi a situação que Fermi encontrou em Göttingen. Ele era contemporâneo de Heisenberg, sendo apenas alguns meses mais velho, e já tinha publicado vários trabalhos. Estranhamente, a interação de Fermi com a "física de Göttingen" (não só com Born e Heisenberg, mas também com Pascual Jordan e James Franck) não deu resultados visíveis. Fermi conhecia bem o alemão e, também ele, era um talento bastante precoce, embora menos dotado que Heisenberg. Talvez estivesse intimidado por encontrar-se, pela primeira vez, no exterior e com pessoas de tal importância. O certo é que não há vestígios de qualquer influência da escola de Göttingen sobre as publicações de Fermi da época (que estava trabalhando com problemas estatísticos, assunto bem distante dos interesses da escola de Born e que ele, Fermi, poderia muito bem ter trabalhado em Roma), nem de Fermi sobre o grupo de Göttingen. Portanto, não parece que Fermi e Heisenberg tenham mantido um bom relacionamento naquela época. Mas alguma coisa ficou da visita de Fermi, como se percebe em trechos das memórias de Heisenberg:

> [...] no verão de 1939 dei algumas aulas nas universidades de Ann Arbor e Chicago. Aproveitei a ocasião para entrar em contato com Enrico Fermi, a quem já conhecia por ter frequentado com ele os seminários de Bohr em Göttingen. Fermi era o maior físico italiano e tinha se refugiado nos Estados Unidos para esquivar-se da tempestade que estava por acontecer. (HEISENBERG, 1984, p. 104).

Em 1924, Heisenberg colaborou com Bohr, em Copenhague, onde aprendeu o dinamarquês bastante bem, tanto que Bohr, posteriormente, escreveu-lhe com frequência nessa língua. Ali as pesquisas de Heisenberg focalizaram-se na teoria quântica da radiação. Bohr, com seu assistente Kramers e o bolsista americano John Slater, havia pouco desenvolvido uma teoria semiclássica (BOHR et al., 1824) que, porém, rapidamente mostrou notáveis dificuldades. Heisenberg pensou em uma nova aproximação, introduzindo o conceito de "campo de radiação virtual", e, depois de longas conversas e discussões com Bohr e Born, publicou um trabalho que assinalou uma reviravolta na física e o início da mecânica quântica (HEISENBERG, 1925). O título do trabalho era: *Über quantentheoretische Umdeutung Kinematischer und mechanischer Beziehungen (Sobre uma reinterpretação quântica de relações cinemáticas e mecânicas)*. Em especial, o resultado foi uma série de fórmulas, nas quais os números quânticos são ligados às frequências de radiações emitidas e às respectivas intensidades. Naquela época, esse trabalho teve uma enorme repercussão.

Em Göttingen, Born e Jordan reviram o trabalho de Heisenberg em termos de matrizes (BORN; JORDAN, 1925), enquanto, separadamente, Paul Dirac apresentava a mecânica quântica em termos de operadores (DIRAC, 1930), e, em Zurique, Schrödinger desenvolvia a mecânica ondulatória (SCHRÖDINGER, 1926, 1927).

Em 1926, Heisenberg sucedeu Kramers como assistente de Niels Bohr, em Copenhague. Ali, em março de 1927, durante o período no qual uma fortíssima alergia o obrigou a isolar-se em uma ilha da Dinamarca, formulou o celebérrimo "princípio da indeterminação", que coloca um limite à pre-

cisão na determinação contemporânea de duas variáveis (HEISENBERG, 1927). Por exemplo, se se procura determinar, num mesmo momento, a velocidade e a posição de um elétron, isso só é possível com uma precisão limitada. Tem-se a célebre relação $\Delta x \Delta q \geq h/2\pi$ (*x* representa a posição e *q* o impulso, isto é, o produto da massa pela velocidade).

Em outubro de 1927, estando com quase 26 anos, foi convidado como professor-titular (o mais jovem da Alemanha) a ocupar a cátedra de física teórica da Universidade de Leipzig. Ali, encontrou como colega, na física experimental, Peter Debye, um outro aluno de Sommerfeld. Foi lá que criou uma extraordinária escola de física teórica. Entre seus alunos, contavam-se Felix Bloch, Rudolf Peierls, Edward Teller, Viktor Weisskopf, Friedrich von Weizsäcker, Ettore Majorana, Shin-Ishiro Tomonaga e Satoshi Watanabe, entre outros.

Em 1932, Ettore Majorana, por especial solicitação de Fermi, passou alguns meses com Heisenberg, em Leipzig. No início do ano, Chadwick tinha descoberto a existência do nêutron, enquanto Majorana, com a hipótese de que prótons e nêutrons "convivessem" no núcleo, tinha desenvolvido uma teoria baseada nas forças de troca, o que deixara Fermi impressionado. Foi Heisenberg, que estava desenvolvendo ideias semelhantes (MAJORANA, 1933), a convencer Majorana a publicar suas novas ideias sobre as forças nucleares. Na realidade, Majorana era crítico e cético, inclusive muito severo consigo mesmo[68].

Em 1933, Heisenberg, com apenas 32 anos, ganhou o Prêmio Nobel de Física, de 1932[69] (que não tinha sido dado anteriormente). Recebeu o prêmio em Estocolmo, junto com Dirac e Schrödinger, prêmios Nobel de Física em 1933.

---

[68] Existe muita literatura sobre Majorana, muitas vezes fantasiosa. Para uma biografia séria, leia-se, por exemplo, Bonolis (2002).

[69] A justificativa para o Prêmio foi: "[…] for the creation of quantum mechanics, the application of which has, inter alia, led to the discovery of the allotropic form of hydrogen". (BOHR, 1967, p. 206).

Em 11 de dezembro de 1933, fez, em Estocolmo, a conferência Nobel, com o título *The development of quantum mechanics* (HEISENBERG, 1933).

De certo modo, aqui terminou o incrível período áureo de Heisenberg. Ele ainda daria muitas e importantes contribuições à física teórica: na década de 1930, trabalhou especialmente com os raios cósmicos e com as forças nucleares; no início dos anos 1940, dirigiu o controvertido Projeto Urânio, que poderia ter levado à construção da bomba atômica alemã; posteriormente, teve interesse nas partículas elementares, os mésons e os pósitrons; e também nos aceleradores e na energia atômica. Mas os anos da grande revolução da física teórica já tinham terminado. As contribuições revolucionárias dadas por um gênio precoce, que com apenas 20 anos tinha, entre seus méritos, quatro importantes publicações, não mais se repetiriam para o jovem Heisenberg aos 30 anos. (CASSIDY, 2001).

Em janeiro de 1933, Hitler tinha tomado o poder e as coisas mudavam rapidamente para a Alemanha, e também para Heisenberg e para a física alemã. Provavelmente, como já observado, Heisenberg, em princípio, não era contrário às principais ideias do nacional-socialismo. Mas as leis antissemitas, promulgadas a partir da primavera de 1933, que impediam os judeus de ocupar cargos públicos foram vistas como dramaticamente negativas por Heisenberg, que contava com judeus entre seus mais próximos colaboradores, amigos e alunos: entre seus alunos, o judeu de Zurique, mas de origem vienense, Felix Bloch, o judeu vienense Guido Beck, o judeu húngaro Edward Teller e o judeu americano Viktor Weisskopf. Mesmo entre seus grandes mestres estavam o judeu Max Born e Niels Bohr, judeu por parte de mãe. Entre seus amigos mais íntimos, estava Wolfgang Pauli, que era meio judeu. Muitos deles, que se encontravam ou ensinavam na Alemanha, foram obrigados a deixar o emprego e o país.

Porém, o outono de 1933 ainda traz importantes reconhecimentos a Heisenberg. A Deutsche Physikalische Gesellschaft decide dar-lhe o prestigiado Prêmio Max Planck, a máxima honraria da física alemã. Em 3 de novembro de 1933, é o próprio Max Planck quem entrega a medalha a Heisenberg. Uma semana depois chega o anúncio de que Heisenberg tinha ganhado o Prêmio Nobel de Física do ano precedente, 1932, que não tinha ainda sido dado.

A outorga do Prêmio Nobel para Heisenberg, sozinho, suscitou perplexidade, uma vez que tinham sido esquecidas as contribuições de Born, seu professor, e de Jordan, que tinham contribuído para o desenvolvimento da mecânica quântica. O próprio Werner ficou tão incomodado por ter sido o único escolhido que escreveu uma carta de desculpas a Born, confessando o quanto lamentava a escolha da Academia, e declarou, por fim, que teria preferido dividir o prêmio com Max Born. Mais tarde, a Academia sueca acabou remediando a situação, ao conceder o Prêmio Nobel a Born, em 1954. P. Jordan não teve, porém, a mesma sorte.

A carta de Heisenberg, relatada na autobiografia de Max Born (BORN, 1980), é importante para a compreensão da personalidade de Heisenberg:

> Caro prof. Born,
>
> se não lhe escrevi por tanto tempo e ainda não lhe enviei os meus agradecimentos por seus cumprimentos, em parte é devido a um sentimento de culpa que sinto em relação ao senhor. O fato de que tenha sido apenas eu a receber o Prêmio Nobel por um trabalho feito em colaboração com o senhor e com Jordan me deprime a ponto de quase não saber o que lhe escrever. [...] creio que todos os bons físicos sabem o quanto foi grande a sua contribuição e a de Jordan para a estrutura da mecânica quântica, e esse fato não é alterado por uma decisão errada tomada no exterior. Então, eu não posso senão agradecer-lhe mais uma vez por essa bela colaboração e sentir um pouco de vergonha. (BORN, 1980, p. 39).

Mas essa boa impressão que os termos da carta passam sobre a personalidade de Heisenberg é ofuscada por um episódio contado pelo próprio

Born, acontecido em 1934, quando ele, Max Born, com sua família, já tinha emigrado para Cambridge:

> [...] Heisenberg foi convidado a dar uma aula no Cavendish. Nós o hospedamos em nossa casa [...] [...] uma tarde, enquanto passeávamos no jardim, disse-me que tinha uma mensagem oficial da Sociedade Alemã de Física para mim. Tinham conseguido obter uma autorização do governo para me levarem de volta à Alemanha. Não me seria consentido ensinar, mas poderia fazer pesquisa [...] [...] depois de um minuto de reflexão, perguntei-lhe se a oferta era extensiva a minha mulher e a meus filhos. Heisenberg respondeu, então, muito embaraçado: "não, não creio que sua família esteja compreendida no convite". Cheio de raiva, entrei em casa. Não podia compreender como Heisenberg, pessoa tão correta, tivesse aceitado semelhante tarefa [...] [...] ele mesmo, a seguir, descreveu-me o clima que se respirava na Alemanha e a terrível pressão moral à qual estava submetido; por isso, tive uma certa compreensão, porém, não cheguei a perdoar-lhe aquela falta de tato. (BORN, 1980, p. 45).

Em 11 de novembro, dois dias depois da comunicação da concessão do Prêmio Nobel, aconteceu em Leipzig o Congresso da Wahlkundegebund der deutschen Wissenschaft, reunindo os docentes nacional-socialistas. Heisenberg recusou-se, categoricamente, a participar dele, e isso desencadeou a ira de Stark, um dos dois expoentes, junto com Lenard, da física alemã e fanático nazista (ver capítulo 9). Ele informará aos presentes no congresso que: "[...] o professor Heisenberg recusa-se a participar da homenagem dos docentes a Adolf Hitler" (BOHR, 1967, p. 207). É o primeiro caso de oposição explícita de Heisenberg ao nazismo.

Na primavera de 1934, Stark voltou à carga e propôs uma declaração de apoio ao nazismo por parte dos prêmios Nobel alemães. Planck, von Laue e Heisenberg recusaram-se a assinar a declaração, alegando a neutralidade da ciência. Mas Stark insistiu, dizendo que o apoio a Hitler não era considerado um ato político, mas uma simples confissão de fé no Führer. Max von Laue, que sempre foi intensa e ativamente antinazista, intimou Stark a não mais voltar a lhe escrever, solicitando, portanto, que não mais voltasse a importuná-lo, enquanto Heisenberg, em setembro do mesmo ano, reagiu segundo o seu estilo. Durante o Congresso

da Deutsche Physikalische Gesellschaft (Sociedade Alemã de Física), Heisenberg defendeu publicamente a teoria da relatividade e a mecânica quântica, colocando juntos, no seu relato, os méritos dos judeus Michelson e Einstein com os do "ariano" Lenard, como descobridor do efeito fotoelétrico. Porém, a ousadia custou-lhe muitas críticas.

Em 1º de maio de 1935, as leis antissemitas tornaram-se ainda mais severas e, depois de mais uma "limpeza de judeus" na Universidade de Leipzig, Heisenberg, abertamente, participou, na companhia de outros, dos protestos que foram feitos em um Conselho de Faculdade. As consequências foram uma reprimenda oficial por parte das autoridades. Heisenberg voltou-se para Planck em busca de conselhos, mas a palavra de ordem do ancião Planck, em nome da física alemã, foi: "[...] resistir e esperar que passe a tempestade" (HEISENBERG, 1984, p. 88). Mas, a tempestade não passava! A ciência deveria tornar-se ariana! O pior para Heisenberg ainda estaria por vir, depois que Stark, em 1935, foi nomeado presidente da Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft, o organismo que presidia a coordenação e o financiamento da pesquisa alemã.

De fato, no começo de 1936, Heisenberg foi diretamente atingido pelo nacional-socialismo. Em janeiro de 1935, uma medida governamental impunha a aposentadoria aos professores universitários maiores de 65 anos. Sommerfeld, nascido em 1868, e que, coincidentemente, fazia aniversário no mesmo dia que Heisenberg, 5 de dezembro, havia completado 66 anos.

Abriu-se a corrida para a sucessão de Sommerfeld e, obviamente, Heisenberg era o melhor candidato, além de ser uma figura disputada por várias universidades alemãs e americanas, em particular pela Columbia University. Mas ele queria voltar a Munique e contava com todo o apoio de Sommerfeld e da universidade bávara. No verão de 1935, o Conselho Acadêmico apresentou ao Ministério da Educação bávaro, responsável por dar a aprovação, apenas o nome de Werner Heisenberg como su-

cessor natural de Sommerfeld, contrariando as normas universitárias que previam a apresentação de um rol de candidatos (segundo o costume, nas universidades alemãs, o professor que se aposentava, principalmente se estimado e apreciado, exprimia seu parecer sobre a sucessão, indicando alguns nomes, entre os quais a universidade escolheria o sucessor).

Naquele momento, porém, a política havia se envolvido pesadamente na sucessão de Sommerfeld. O jornal *Völkischer Beobachter* publicou um artigo de Willi Menzel, inspirado por Stark, com o significativo título *Deutsche Physik und jüdische Physik* (MENZEL, 1936) (*Física alemã e física judia*), no qual ele fazia uma apologia da física "alemã" e uma subdivisão do mundo dos físicos em bons e maus. Entre estes últimos estava, naturalmente, Heisenberg. Assim, a nomeação de Heisenberg para a Universidade de Munique foi suspensa. Depois de uma série de réplicas e contrarréplicas, e vários documentos e discursos violentos, o reitor da Universidade de Munique criou uma comissão constituída pelo próprio Sommerfeld, por Constantin Caratheodory, Heinrich Wieland e Walther Gerlach. Em 4 de novembro de 1935, a comissão emanou suas conclusões nas quais indicava Heisenberg como o melhor candidato à sucessão de Sommerfeld. Nessas conclusões, discutia-se também a indicação dos outros candidatos (não divulgaram seus nomes). Mas a candidatura de Heisenberg continuou bloqueada.

E Stark continuou, ainda mais incisivo, o feroz ataque da "física alemã", capitaneada, como visto, pelos prêmios Nobel Philip Lenard e Johannes Stark (ver capítulo 2) contra os físicos judeus e seus adeptos, entre os quais, naturalmente, estava Heisenberg. No dia 15 de julho de 1937, foi publicado no jornal das SS, *Das Schwarze Korps,* um violentíssimo artigo contra os físicos judeus e contra os chamados "judeus brancos", por darem apoio à física judia (WEISSE..., 1937). O artigo é anônimo, mas claramente escrito ou inspirado por Stark. Entre os "judeus brancos", Heisenberg foi citado, explicitamente, com estas palavras precisas e violentas:

> Os judeus brancos sentem-se seguros nas suas posições, como demonstrado pelo professor Werner Heisenberg, professor de física teórica em Leipzig. Ele não hesitou, em 1936, em contrabandear para um órgão do partido a tese de que a teoria da relatividade de Einstein era "a promessa de pesquisas posteriores" e "uma das mais importantes tarefas da juventude científica alemã para um posterior desenvolvimento da física teórica".
>
> Esse representante do espírito de Einstein, aluno de Sommerfeld, tornou-se professor-titular em 1928, com a idade de 26 anos, idade em que ainda não se teve tempo para desenvolver pesquisas decentes (incrível esta afirmação em relação a Heisenberg que, com 25 anos, era professor-titular em Leipzig, e com 31 anos era Prêmio Nobel!). Depois, ele começou sua atividade tomando como assistentes o judeu vienense Beck e o judeu de Zurique, Bloch. Além disso, o seu seminário era frequentado, até 1933, prevalentemente por judeus.
>
> Em 1933, Heisenberg ganhou o Prêmio Nobel, junto com os discípulos de Einstein, Schrödinger e Dirac, numa demonstração de como o Comitê do Nobel é influenciado pelos judeus contra a Alemanha nacional-socialista [...] [...] Depois, em agosto de 1934, Heisenberg recusou-se a assinar um manifesto ao Führer e Chanceler do Reich. Portanto, ele é só uma das tantas pessoas que representam o judaísmo na vida intelectual alemã. Também elas devem desaparecer, assim como os judeus. (WEISSE..., 1937).

Como se pode ver, é um ataque feroz, que deixou Heisenberg perturbadíssimo. Desta vez, ele deixou de lado memoriais e documentos e reagiu como melhor podia. Aproveitando-se da amizade entre sua mãe e a mãe do poderoso Heinrich Himmler, chefe das SS, em 21 de julho de 1937, escreveu-lhe expondo-lhe a situação e declarando que pediria sua demissão se ele estivesse de acordo com a carta publicada pelo *Das Schwarze Korps*. Depois daquele ataque, Heisenberg foi obrigado a retratar-se por escrito, e foi submetido a vários interrogatórios em Berlim. No mesmo período, um funcionário nazista afirmou que "[...] o campo de concentração seria, obviamente, o lugar certo para o senhor Heisenberg" (HEISENBERG, 1984, p. 89).

Esse deve ter sido um período terrível para Heisenberg e foi nessa época que fez contato, às escondidas, com a Columbia University, para explorar a possibilidade de emigrar. Foi também singular, senão irônico, o fato de Heisenberg ter sido acusado pelos nazistas de ser antinazista, e

depois da guerra ter sido, muitas vezes, acusado, especialmente pelos americanos, de ser filonazista.

A resposta de Himmler à sua carta, ao contrário do que frequentemente se afirma, foi favorável. Ela chega exatamente um ano depois da data de expedição da carta de Heisenberg, em 21 de julho de 1938, e é interessante transcrevê-la na íntegra:

> Ilustre professor Heisenberg, somente agora consigo finalmente responder a sua carta de 21 de julho de 1937, na qual o senhor dirige-se a mim a respeito do artigo do professor Stark no *Im schwarzen Korps*. Uma vez que o senhor me foi entusiasticamente recomendado pela minha família, quis estudar seu caso de modo particularmente profundo e correto. Tenho o prazer de comunicar-lhe que não aprovo o ataque do *Das Schwarze Korps* e impedi que fosse publicado um posterior artigo contra o senhor. Espero poder encontrá-lo em Berlim no final do outono, em novembro ou dezembro, de forma a podermos conversar pessoalmente de homem para homem.
>
> Com as mais cordiais saudações de Heil Hitler Heinrich Himmler.
>
> P.S.: Todavia, considero oportuno que, no futuro, o senhor possa separar, para os seus ouvintes, os resultados científicos do comportamento humano daqueles que são resultados políticos dos cientistas. (CASSIDY, 2001, p. 13).

Nesta última frase, Himmler refere-se certamente a Einstein e a ideia é clara: pode-se ensinar a teoria da relatividade sem, porém, falar de Einstein, ou, então, deve-se falar sobre ele de modo negativo. De qualquer forma, também para Himmler, a posição anti-Heisenberg de Stark parecia excessiva.

Em 26 de maio de 1939, o Escritório Central das SS enviou a Rudolf Menzel (aquele da física alemã e da física judia), então subsecretário do Ministério da Pesquisa, provavelmente por sua própria solicitação, uma carta contendo o parecer sobre Heisenberg:

> Depois de um forte ataque contra Heisenberg no *Das Schwarzes* Korps, em 1937, fizemos algumas pesquisas sobre a sua personalidade e sobre os seus trabalhos. No conjunto, parece oportuno transferir Heisenberg para uma cátedra de física teórica em Viena, onde atualmente há um cargo vago, enquanto uma colocação em Munique poderia ser interpretada como uma vitória sobre

> as autoridades locais do partido, que se manisfetaram contra a sua transferência para Munique, há alguns anos. Por outro lado, a maior parte dos professores de física de Viena aderiram ao Partido Nacional-Socialista ainda no tempo em que ele era ilegal, e, portanto, são um grupo politicamente confiável. Dessa forma, podemos influenciar Heisenberg de modo positivo. (CASSIDY, 2001, p. 13).

Anexo está o parecer sobre Werner Heisenberg, que assim podemos resumir:

> Heisenberg é um homem de grande nível científico. A sua força e valor consistem no educar as novas gerações de físicos, entre os quais, por exemplo, von Weizsäcker e Flügge. Em relação ao conflito atual sobre os fundamentos da física, Heisenberg é de opinião de que um conflito de mentalidade entre a física teórica e a experimental é inimaginável porque os físicos teóricos consideram necessária a física experimental e vice-versa. Heisenberg faz uma clara distinção entre bons e maus cientistas no campo da física teórica; os maus são, segundo ele, aqueles que não utilizam sua experiência intuitiva [...] [...] Em especial, Heisenberg inclui nesta definição alguns cientistas judeus e arianos provenientes da escola judia, contra a qual se batem Lenard e Stark. O próprio Heisenberg provém de uma destas escolas [...] [...] Todavia, nos últimos anos, o modo intuitivo de pensar ariano está sempre mais preponderante nele [...] [...] Como pessoa, Heisenberg é respeitável, seja no caráter como nas ações. Heisenberg é um típico apolítico. Ele está pronto para defender a Alemanha em qualquer momento [...] [...] ele é de opinião de que ou se é um bom alemão desde o nascimento, ou não [...] [...] Atualmente, Heisenberg rejeita, em princípio, a infiltração da influência externa dos judeus no espaço vital alemão. (CASSIDY, 2001, p. 15).

Não se entende de onde deriva a convicção do autor sobre o "pensar ariano" de Heisenberg.

Assim, a física "ariana" sai derrotada da agressão a Heisenberg, mas o próprio Heisenberg não sai vitorioso, porque, não obstante todos os esforços e o apoio da maioria dos físicos, afinal o cargo de Sommerfeld, em dezembro de 1939, acabou sendo dado a Wilhelm Müller, um obscuro físico dos fluidos e especialista em problemas aeronáuticos, mas homem de grande fé nacional-socialista. Müller permaneceu no cargo até 1954. Somente em 1958, Heisenberg pôde finalmente concluir sua carreira, exatamente em Munique, onde a tinha iniciado 40 anos antes.

A "questão Munique", que se arrastou desde o início de 1935 até a metade de 1939, certamente contribuiu não apenas para perturbar a vida de Heisenberg, mas também para distraí-lo da sua atividade científica. Estamos cientes da intensa troca de cartas entre Heisenberg e Sommerfeld. Em 14 de abril de 1938, Heisenberg escreveu a Sommerfeld comunicando-lhe o parecer negativo das SS para sucedê-lo, e falou da possibilidade de emigrar. "Não tenho nenhuma vontade", escreveu Heisenberg, "de permanecer aqui como cidadão de segunda classe". Em 31 de agosto do mesmo ano, comunicou-lhe ter recebido uma oferta da Columbia University. Em 5 de novembro, sugeriu que o próprio Sommerfeld falasse com Himmler, durante uma visita de Himmler a Munique. Em 24 de novembro, escreveu ainda a Sommerfeld, dizendo que um enviado do Führer lhe havia pedido informações sobre a "guerra da física". Em 30 de janeiro de 1939, informou Sommerfeld sobre o iminente colóquio com Himmler sobre a posição do Partido Nacional-Socialista com relação à física teórica. Em 15 de fevereiro comunicou a Sommerfeld que parecia que a Universidade de Munique renunciara à sua nomeação. Em 30 de março de 1939, referiu-se a um acordo entre Hess e Himmler e pensou que se chegaria a uma solução "a la Müller". Enfim, em 9 de abril de 1939, Heisenberg observou que Müller fora indicado para suceder Sommerfeld. Em 8 de junho, o informou sobre uma carta de Himmler, segundo a qual logo receberia uma oferta da Universidade de Viena (SCHREIBEN..., 1997). É incrível pensar que as indicações dos professores fossem decididas pelas SS, e não pelas universidades. De qualquer forma, sobre sua indicação para a Universidade de Viena, não se tem mais notícias, apenas a certeza de que, para Viena, Heisenberg nunca foi.

Nesse ínterim, em abril de 1937, Heisenberg havia se casado. Sabe-se pouco sobre seus relacionamentos com o outro sexo, exceto de uma certa simpatia, parece que não correspondida, pela irmã de seu aluno Friedrich Wilhelm von Weizsäcker. No duro período durante o qual

viveu sob pressão, depois do ataque feito pelo jornal das SS, Heisenberg, entre outras coisas, foi também acusado de ser homossexual, o que constituía, na época, uma gravíssima acusação. Obviamente ele não o era, mas, no relacionamento amoroso, era tímido e atrapalhado, e, certamente, não foi precoce como na física, tanto que chegou aos 35 anos ainda solteiro. Mas, em janeiro de 1937, na casa de amigos onde tinha ido tocar ao piano uma sonata de Beethoven (lembremo-nos de que Werner era um notável pianista), encontrou Elizabeth Schumacher, então com 22 anos, filha de um economista de Bonn, formada em Letras, e que mudara para Leipzig para abrir uma livraria. Entre Werner e Elizabeth aconteceu o clássico amor à primeira vista. Casaram-se pouco tempo depois, em 29 de abril de 1937, em Berlim, onde residia a família dela. Foi um casamento muito feliz. Em certo sentido Heisenberg recuperou o tempo perdido, pois o casal teve sete filhos. Werner foi, sem sombra de dúvida, um bom marido e um ótimo pai, como testemunhou, por exemplo, seu filho Jochen, também ele físico[70].

Durante o período de Leipzig, Heisenberg viajou muito, talvez para libertar-se das pressões do nacional-socialismo. Além de frequentes visitas aos amigos Bohr e Pauli, em Copenhague e em Zurique, participou de congressos em Roma e em Copenhague. Depois, em 1929, fez uma série de conferências na Universidade de Chicago e em Cambridge, RU. Participou, também, de alguns congressos Solvay, em Bruxelas, e foi um frequentador habitual dos cursos de verão de física teórica em Ann Arbor, em Michigan. Foi significativa a sua última viagem aos Estados Unidos pouco antes do começo da guerra. De fato, no verão de 1939, portanto cerca de um ano depois que sua dramática batalha com a "física ariana" tinha sido resolvida com a carta de Himmler, e, assim, tinha renunciado a emigrar, dirigiu-se mais uma vez a Ann Arbor e, depois, deu uma volta pelos Estados Unidos. Ali, entre outras coisas (aulas no curso de verão

[70] Entrevista com Jochen Heisenberg em: <http://web.gsuc.cuny.edu/ashp/nml/artsci/heisenberg.htm>.

de Ann Arbor), teve muitos e interessantes encontros com os exilados do nazifascismo, em particular com Fermi, Goudsmit, Bethe e outros, que tentaram de todos os modos convencê-lo a transferir-se para os Estados Unidos, antes que fosse muito tarde.

Em especial, a conversa com Fermi é descrita de forma muito semelhante, por várias fontes, entre as quais o próprio Heisenberg, Amaldi e Laura Fermi. O argumento de Fermi, repetido várias vezes, foi o de que "[...] esta gente (os nazistas) não tem princípios; não pensarão duas vezes em matar qualquer um que represente uma ameaça para eles. Você tem apenas a influência que eles consentirão que você tenha" (BOHR, 1967, p. 2007). A essas afirmações, Heisenberg respondia com uma certa veemência, uma vez que possuía um forte amor pela sua pátria, que a sua presença na Alemanha seria, de qualquer modo, importante depois da provável derrota do nazismo, e que deixar a Alemanha e abandonar os seus alunos parecia-lhe uma covardia.

Esta é a versão que o próprio Heisenberg deu desse encontro (CASSIDY, 2001):

> No verão de 1939, dei algumas aulas nas universidades de Ann Arbor e de Chicago. Aproveitei a ocasião para fazer contato com Enrico Fermi, que já conhecia por ter frequentado com ele os seminários de Bohr em Göttingen [...] [...] Quase imediatamente ele me perguntou por que eu não vinha para os Estados Unidos. "Por que permanecer na Alemanha?", quis saber. "Certamente não conseguirá evitar a guerra e, ficando na sua pátria, será obrigado a fazer coisas que lhe são odiosas, mas pelas quais deverá assumir a responsabilidade. Se disso tudo pudesse resultar alguma coisa de positivo, eu compreenderia. Mas, certamente, você saberá que se trata de uma possibilidade extremamente remota. Aqui, poderia recomeçar como chefe. Veja, este país foi todo construído por europeus que preferiram deixar sua pátria para não se submeterem a limitações mesquinhas, à repressão, à contínua alternância de revoluções e contrarrevoluções. Este é um país grande e livre, onde se pode viver sem ser esmagado pelo peso da história. Na Itália, eu era um grande homem: aqui voltei a ser apenas um jovem físico, o que é infinitamente mais excitante. Jogue fora, também você, todo o impedimento do passado e recomece como chefe. Nos Estados Unidos, poderá participar dos grandes progressos da ciência!"

"Você me disse coisas que compreendo muito bem" – respondeu Heisenberg. "Pensei nisso milhares de vezes. Pelo contrário, desde quando vim para os Estados Unidos pela primeira vez, há 10 anos, só tenho desejado deixar os estreitos limites da Europa. Talvez devesse ter decidido naquela época. Ao invés disso, preferi reunir ao meu redor um pequeno círculo de jovens, de homens que querem participar do progresso da ciência e fazer com que a ciência, a verdadeira ciência, possa retornar para a Alemanha quando a guerra terminar. Não posso abandoná-los agora: seria um traidor. Os jovens não podem deixar a Alemanha com a mesma facilidade que eu. E, emigrando, para eles seria muito difícil encontrar um trabalho; sentir-me-ia desconfortável se tivesse que levar vantagem em razão da minha maior experiência. Espero, apenas, que a guerra não dure muito. Pode ser que os alemães, cansados da hipócrita política de Hitler, acordem e terminem com ele e com os seus. Porém, no momento, reconheço que isto não seja muito provável."

"Existe uma outra questão" – retomou Fermi –, "que você não poderá ignorar. Da descoberta de Otto Hahn à reação em cadeia, o passo é pequeno. Em outras palavras, hoje é possível construir uma bomba atômica. Quando estourar a guerra, todos farão o possível para ter, rapidamente, a bomba atômica, e os físicos atômicos deverão trabalhar, cada um para seu próprio país, para a construção desta nova arma."

"Sei que existe este perigo" – replicou Heisenberg –, "mas não acredito que a emigração seja uma solução válida. E, seja como for, estou seguro de que os progressos neste campo serão lentos e cansativos: você verá que a guerra terá terminado há algum tempo antes que se consiga produzir a bomba atômica."

"Você acredita que Hitler possa ganhar a guerra?" – perguntou Fermi.

"Não. Para guerrear, são necessários grandes recursos tecnológicos e, desde quando Hitler isolou a Alemanha do resto do mundo, o nosso potencial técnico diminuiu."

"E, apesar disso, quer voltar para a Alemanha?"

"Não tenho outra escolha. É preciso ser coerente consigo mesmo: cada um de nós nasceu e cresceu em um certo ambiente: apenas nesse ambiente se sentirá como em sua casa e trabalhará com o máximo de suas possibilidades [...] [...] Há alguns anos que decidi ficar na Alemanha. Talvez tenha errado, mas não mudarei de ideia agora."

> "Sinto muito" – disse Fermi. "Espero que nos vejamos quando a guerra terminar[71]." (CASSIDY, 2001).

Em agosto de 1939, encontrou-se novamente com Pegram[72] em New York, que incitou a emigrar para os Estados Unidos, mas não conseguiu convencê-lo. Pegram não entendia por que Heisenberg insistia em voltar à Alemanha, cuja derrota, na guerra, era certa. Poucos dias depois, Heisenberg embarcava no transatlântico Europa, que partia meio vazio para a Alemanha.

Em 1º de setembro de 1939, a Alemanha invadia a Polônia e começava a II Guerra Mundial.

Sob um certo aspecto, a II Guerra Mundial coincide com o período límpido na vida de Heisenberg, aquele característico por um comportamento irrepreensível, tanto do ponto de vista moral quanto do político. Depois disso, começa um período obscuro, no qual seu comportamento moral passa a ser discutível e suas constribuições científicas destinam-se mais a ajudar a Alemanha do que a contribuir para o progresso científico.

Enquanto isso, as pesquisas em física nuclear chegaram a outro ponto fundamental: no final de 1938, Hahn e Strassmann, em Berlin-Dahlem, tinham descoberto, enquanto Lise Meitner e Otto Frisch tinham interpretado, a fissão do urânio (HAHN; STRASSMANN, 1939). A rápida divulgação dessa descoberta na Europa e nos Estados Unidos induziu, nos primeiros meses de 1939, uma série de medidas, que demonstraram

---

[71] Com efeito, encontraram-se cerca de 10 anos depois, em 1949, em Como, num Congresso de Física das Altas Energias. Giorgio Salvini assim lembra o encontro entre Fermi e Heisenberg: "[...] entraram no hall por entradas opostas e cumprimentaram-se cordialmente, depois de 10 anos, durante os quais estiveram envolvidos em programas científicos análogos e contrapostos. Depois, encontraram-se no curso de verão de Varenna, no verão de 1954, pouco antes da morte de Fermi" (POWERS, 1993, p. 105).

[72] George Pegram era diretor do Departamento de Física da Columbia University e, no passado, tinha oferecido um cargo para Heisenberg na Columbia. Pegram foi, também, um dos que tinham "assumido" Fermi, tendo desempenhado um notável papel no início das pesquisas sobre a fissão e no projeto inicial de construção de um reator nuclear.

a emissão, no processo de fissão, de mais de dois nêutrons. Isso fez os físicos nucleares concluírem que se poderia "extrair" grande quantidade de energia – e, assim, também realizar explosivos formidáveis – do processo de fissão do urânio (FRISCH, 1939[73]; JOLIOT, 1939[74]). Essa possibilidade chegou aos ouvidos do alto comando militar alemão, que era, notoriamente, provido de ótimos cientistas. E isso terá algum significado para Heisenberg na II Guerra Mundial.

Os detalhes das pesquisas alemãs na tentativa de realizar um reator nuclear e, eventualmente, uma bomba atômica, são descritos no capítulo 13. Em linhas gerais, os fatos aconteceram da seguinte maneira: em abril de 1939, tanto o Reichsministerium für Wissenschaft (Ministério da Pesquisa) quanto o Exército (Serviço de Abastecimento: HWA) foram informados, por várias fontes, sobre as possíveis aplicações militares da fissão nuclear. Foi organizada uma primeira reunião científica, em 29 de abril de 1939, que foi chamada Uranverein (Clube do Urânio), e, pouco depois, uma segunda reunião, organizada pelos militares do HWA (em particular, o comandante-geral, Erich Schumann e seu encarregado científico, Kurt Diebner).

Em 1º de setembro, a Alemanha invadia a Polônia e começava a II Guerra Mundial. Assim, os militares do HWA tomaram conta da questão do urânio e, como consequência, foi organizada uma reunião "plenária" em 16 de setembro de 1939, em Berlim. Desta vez, sob a responsabilidade do HWA. O organizador da reunião era Kurt Diebner, assistido por Erich Bagge. Para essa reunião foram cooptados Heisenberg e seus colaboradores. Participaram dela Diebner, Bagge e Basche, Hahn, Geiger, Flügge, Heisenberg, Mattauch, Bothe, Harteck, Hoffmann e Stetter.

Todos eram físicos ou químicos de destaque e quase todos especialistas em física nuclear, tanto teórica quanto experimental. Definitivamen-

---

[73] Experimento realizado em 13 de janeiro de 1939.

[74] Experimento realizado em 26 de janeiro de 1939.

te, tratava-se da elite intelectual em ação da física nuclear no Terceiro Reich.

Heisenberg, além de dedicar-se aos aspectos teóricos do problema, coordenou, em Leipzig, o grupo do casal Döpel, que trabalhava com a construção de um protótipo de reator nuclear.

A discussão durante a reunião "Uranverein", em setembro de 1939, parece ter resultado no desenvolvimento da atividade nesse setor.

Pouco depois, Heisenberg e Flügge desenvolveram a teoria da absorção e da moderação dos nêutrons. As conclusões foram que a água pesada poderia funcionar como moderadora e, assim, ser adequada à construção de um "reator nuclear"(FLÜGGE, 1939a, 1939b). Os detalhes da participação de Heisenberg no Uranverein serão descritos no capítulo 13. Aqui, basta lembrar, em linhas gerais, que:

- Em 20 de fevereiro de 1940, Heisenberg enviou às autoridades um primeiro relatório confidencial sobre a possível construção de armas nucleares (HEISENBERG, 1939).
- No verão de 1940, von Weizsäcker observou que, em um reator de urânio, eram gerados núcleos de U-239, e que esses deveriam decair no elemento com número atômico 93 ou 94, e que provavelmente eram físseis (WEIZSÄCKER, 1944). Na falta de um cíclotron na Alemanha naquela época, não foi possível investigar.
- Durante todo o ano de 1941, foram obtidos resultados insatisfatórios na separação do U-235 com o método da difusão térmica.
- No verão de 1941, estavam disponíveis cerca de 150 t de água pesada e cerca de outro tanto de U_3O_8, e foi construído um reator com camadas alternadas de água e de urânio. O reator não funcionou como se esperava, mas, quando se substituiu o U_3O_8 por urânio metálico, teve-se um relevante aumento do fator K, mostrando que um aumento posterior era possível.

- No outono de 1941, pareceu claro a Heisenberg que a construção de um reator atômico era possível e, talvez, também a construção de uma bomba.

Mas:

> [...] em relação à produção de U^{235}, realmente não sabíamos como fazer para obter uma quantidade significativa. Em resumo: sabíamos como construir uma bomba atômica, mas supervalorizávamos o esforço técnico necessário. Assim, pudemos submeter à autoridade, com perfeita boa-fé, um relatório exato da situação, com a certeza de que a Alemanha não teria podido embarcar no esforço técnico necessário para a construção da bomba. Porém, tínhamos consciência de estarmos nos aventurando em um terreno muito perigoso e perguntávamos se era justo o que estávamos fazendo. (POWERS, 1993, p. 107).

Em setembro de 1941, alegando precisar de uma semana de estudo, organizada ou solicitada pelo Instituto Científico Alemão, recém-criado em Copenhague (recordemos que, naquela época, a Dinamarca estava ocupada pelos nazistas), Heisenberg decidiu encontrar-se com Niels Bohr. A visita teve lugar entre os dias 15 e 19 de setembro, e, curiosamente, foi descrita com versões diferentes por Bohr e Heisenberg, e discutida em inumeráveis artigos e livros[75], tendo dado origem, em tempos recentes, a uma peça teatral com notável sucesso em New York, Londres, Paris e Berlim: "Copenhague", de Michael Frayn. Vejamos como o próprio Heisenberg descreveu essa visita:

> [...] no outono de 1941 parecia haver um quadro muito claro de todas as possibilidades técnicas. Solicitei, naquele período, à Embaixada Alemã em Copenhague que tomasse providências para que eu pudesse ir a uma conferência pública naquela cidade. Creio que cheguei na Dinamarca em outubro de 1941 e imediatamente fui ao encontro de Niels em sua casa, em Carlsberg. Abordei o perigoso assunto somente à noite, durante um passeio. Como eu suspeitava que Niels estivesse sob a vigilância de agentes alemães, expressei-me com a máxima prudência. Eu o fiz compreender que, teoricamente, era possível construir

[75] W. Heisenberg, Bericht über die Teilnahme an einer astrophysikalischen Arbeitstagung in Deutschen Wissenschaftlischen Institut in Kopenhagen; 23.9.1941, in Werner Heisenberg Archiv (WHA), München. C. F. von Weizsäcker. Bericht über die astrophysikalische Arbeitswoche in Kopenhagen vom 18-24.941; 1.10.1941, WHA, München. E ainda em Rosental (1991), Bohr, 1967 e Feinberg (1992).

> a bomba atômica, mas isso requereria um enorme esforço técnico; acrescentei que talvez os físicos estivessem se perguntando se valeria a pena trabalhar nesse campo. Infelizmente, tão logo mencionei a possibilidade de construir bombas atômicas, Niels ficou tão impressionado que praticamente ignorou a parte mais importante do meu discurso, isto é, que o esforço técnico necessário deveria ter proporções gigantescas. Para mim, isso era extremamente importante, porque daria embasamento aos físicos para decidir se convinha empreender a construção da bomba atômica. Na realidade, abriam-se duas alternativas: poderíamos dizer ao governo que chegaríamos muito tarde à bomba atômica para que ela pudesse ser empregada com fins bélicos, e que, trabalhando nessa direção, iríamos diminuir os recursos do esforço bélico; ou então, poderíamos sustentar que, trabalhando ao máximo, talvez existisse a possibilidade de dispor da bomba atômica antes do fim do conflito [...] [...] Como dizia, Niels ficou tão perturbado quando disse que seria possível construir armas nucleares que não ouviu o resto do meu discurso. Talvez, em razão da amargura que compreensivelmente sentia, pela brutal ocupação do seu país pelas tropas alemãs, não acreditava que dois cientistas, pertencentes a distintas nações, pudessem colaborar. Naquele momento vi, com muita dor, o total isolamento para onde o nazismo tinha empurrado a Alemanha, e compreendi que a guerra poderia arruinar, pelo menos temporariamente, até as amizades mais íntimas. (HEISENBERG, 1984, p. 107).

Foi bem diferente a interpretação que Niels Bohr deu sobre a visita de Heisenberg e da conversa que teve com ele, e até mesmo a lembrança do local onde essa conversa teria ocorrido (segundo Heisenberg, durante um passeio ao porto; e segundo Bohr, no seu escritório no Instituto). Antes de mais nada, em várias ocasiões, Bohr havia afirmado, diversas vezes, explicitamente, ter uma clara lembrança de todo o discurso de Heisenberg, tratando-se de matéria de enorme importância. Ele afirmou que Heisenberg estava convencido de que, se a guerra não terminasse com a vitória da Alemanha, então seria decidida pelas armas nucleares. Além disso, Bohr sustentou que o seu silêncio durante o encontro com Heisenberg não era devido ao choque de saber que era possível fazer a bomba atômica, mas de saber que a Alemanha estava trabalhando ativamente nela. Das várias cartas que Bohr escreveu depois do encontro, mas que jamais enviou (RELEASE..., 2002; NIELS..., 2002), deduz-se que Heisenberg foi a Copenhague (segundo a interpretação de Bohr) para explicar aos físicos dinamarqueses que a atitude deles em relação

à Alemanha não era razoável e, também, para convencê-los a cooperar com os cientistas alemães.

Bohr insistiu, posteriormente, em sustentar que as lembranças de Heisenberg sobre esse encontro talvez estivessem ofuscadas pelo fato de que as esperanças de vencer a guerra, que, no final de 1941, pareciam reais, diminuíram sucessivamente, e contribuíram, consciente ou inconscientemente, para que Heisenberg mudasse sua interpretação sobre aquele encontro. Em suma, a hipótese dada por Bohr sobre a visita de Heisenberg foi a de que ele quisesse convencê-lo a colaborar, acreditando que a guerra seria vencida pela Alemanha. Heisenberg, por sua vez, justificou a visita com uma proposta, a ser intermediada por Bohr, aos físicos europeus e americanos, de uma espécie de moratória nuclear.

É também possível que tivesse havido ruídos de comunição entre os dois. Que língua falavam para se comunicar? Isso não é relatado em nenhum estudo. É sabido que Heisenberg não dominava plenamente o dinamarquês, e que Bohr falava o alemão, e que ambos falavam o inglês, mas é bem possível que, em uma conversa, que não tratasse de física, numa língua em que, pelo menos para um deles, não era a língua materna, conversa essa na qual as sutilezas da língua pudessem ser importantes para a perfeita compreensão, eles simplesmente tenham alterado algumas declarações.

As relações entre Bohr e Heisenberg reajustaram-se parcialmente depois da guerra, e os dois continuaram a se encontrar e a passar férias juntos, porém nunca mais voltaram a ser aqueles amigos fraternos dos anos 1920 até o final dos anos 1930.

É também interessante conhecer a versão dada por Carl Friedrich von Weizsäcker, entrevistado em 2002 (quando tinha 90 anos) por uma jornalista do *La Stampa* (*A atômica de Hitler: entrevista com Carl Friedrich*

von Weizsäcker (MAURIZI, 2004), e publicada no *Tuttoscienze* do *La Stampa*, em 28 de agosto de 2002):

> Falemos daquele famoso encontro entre Bohr e Heisenberg em Copenhague, em setembro de 1941:
>
> [...] chegamos à conclusão de que não estávamos em condição de construir a bomba e, depois de ter compreendido isso, Heisenberg decidiu falar com Bohr. Acompanhei Heisenberg a Copenhague, mas não ao encontro. Heisenberg não tinha certeza de que também os ingleses e os americanos estivessem em condições de construir a bomba e não podia falar com seus amigos ingleses ou americanos porque, provavelmente, não teriam acreditado nele. Todavia, acreditava que, se tivesse dito a Bohr que nós, alemães, não poderíamos construir a bomba, Bohr poderia falar com os Aliados e dizer-lhes para não construí-la, porque nós não estávamos em condições de fazê-lo [...]. (MAURIZI, 2004, p. 37).

Em uma das cartas relativas ao encontro em questão, Bohr escreve a Heisenberg:

> [...] você e Weizsäcker exprimiram a convicção de que a Alemanha venceria a guerra e que por isto era razoavelmente insensato para nós sermos rebeldes em relação a todas as ofertas alemãs de colaboração. Recordo-me também, de modo razoavelmente preciso, da nossa conversa no meu escritório no Instituto quando, com termos um pouco vagos, você me falou de forma a poder dar-me a clara impressão de que, sob a sua liderança, a Alemanha faria de tudo para desenvolver armas atômicas e que você tinha passado os últimos dois anos trabalhando quase que exclusivamente em tais preparativos. (BOHR, 1967, p. 206).

Em resumo, das cartas de Bohr emerge uma versão completamente diferente daquele encontro. Como é possível?

> Quando Heisenberg começou a falar sobre reações nucleares, Bohr disse imediatamente "não quero falar sobre estas coisas", e, depois do final da guerra, soube, por um de seus filhos, que Bohr pensava que Heisenberg o quisesse induzir a trabalhar na bomba atômica com a Alemanha e, como não queria trabalhar nela, disse isso imediatamente. (CASSIDY, 2001, p. 14).

Heisenberg disse a Bohr que a Alemanha venceria a guerra?

> [...] em setembro de 1941 a Alemanha tinha acabado de derrotar a França e, portanto, Heisenberg poderia inclusive ter dito a Bohr qualquer coisa desse gênero, mas, no começo da guerra, estava convencido de que Hitler estava

> indo ao encontro de uma catástrofe e, afinal, isso aconteceria. (CASSIDY, 2001, p. 17).

Assim, basicamente, Friedrich Wilhelm von Weizsäcker confirma a tese de Heisenberg. Por seu turno, deve-se ter presente que, como ele não estava presente durante a conversa entre Bohr e Heisenberg, ele se refere, portanto, ao que lhe foi contado pelo próprio Heisenberg.

Ao dilúvio de livros e artigos sobre o tema e à desclassificação dos registros de Farm Hall, em 1998, juntou-se, como já foi dito, a peça teatral "Copenhague", de autoria de um dramaturgo inglês, Michael Frayn (1998), que não deixou de manter acesas as polêmicas e as críticas. Frayn apoia, pelo menos em parte, a tese de Bohr, mas o seu julgamento sobre Heisenberg, sem dúvida uma personalidade muito complexa e também contraditória, não é generoso. Uma interessante interpretação dos fatos foi dada por Leo Szilàrd, cientista judeu-húngaro que, depois, teria um papel importante na construção da bomba americana, e que havia passado 13 anos em Berlim, de 1920 a 1933:

> [...] a pergunta fundamental é: por que os alemães não conseguiram construir a bomba, e por que nem ao menos chegaram a formular corretamente o problema?
>
> Em 1933, quando Hitler assumiu o poder, muitos físicos alemães podiam até mesmo ter alguma simpatia pelos nazistas, mas parece que nenhum deles tenha aderido plenamente ao nazismo. Mas, em 1939, todos já deveriam ter fortes dúvidas. Poucos admitiam essas dúvidas, e muitos deles sequer as confessavam para si mesmos. Mas as dúvidas condicionam, admitindo-as ou não. E, se se trabalha com dúvidas, as boas ideias não aparecem. Uma boa ideia aparece porque é agradável tê-la e nada interfere mais com o prazer do que ter dúvidas [...] [...] Não foi por acaso que as ideias adequadas não apareceram para os físicos alemães, ou suas dúvidas obscureciam suas mentes, evitando-lhes o reconhecimento correto do problema da bomba atômica? Acredito que não foi por acaso; creio que, se vocês tivessem vivido na Alemanha naquele tempo, e tivessem olhado e escutado atentamente, teriam sentido o "Mills of the Gods grinding slowly and could have seen grinding exceedingly fine". (BOHR, 2002, p. 18).

A interpretação de Leo Szilàrd pode, à primeira leitura, parecer superficial, mas ela é muito profunda. Para muitos cientistas envolvidos no

Uranverein, não havia nenhum entusiasmo pela ideia de construção de uma bomba atômica.

Em relação ao projeto Uranverein, este, passado para o controle do Reichsforschungsrat, do qual era presidente Esau, em 6 de junho de 1942, foi submetido, na Harnack Haus de Berlim, a Albert Speer, poderoso ministro das Armas, para um julgamento conclusivo. Por manifestação específica de Speer e de alguns altos oficiais, chegou-se à conclusão de que a construção de um "reator nuclear" era factível, enquanto a possibilidade de se chegar a uma arma nuclear dentro de 1 ou 2 anos estava completamente excluída, seja por Heisenberg seja por Bothe[76]. Assim, Speer decidiu que se deveria continuar em ritmo reduzido, com um único objetivo, a construção de um reator. Portanto, estava encerrada a discussão sobre a bomba atômica.

Nessa época, o Kaiser Wilhelm Institut foi transformado no Kaiser Wilhelm Gesellschaft, tendo Heisenberg como seu diretor. No Instituto do KWI, foi construído um bunker subterrâneo para a construção do reator. Além disso, Heisenberg dedicou-se a ensinar física teórica na Universidade de Berlim.

Pouco tempo depois, o reator nuclear de Leipzig – no qual trabalhavam, sob a direção de Heisenberg, o casal Robert e Klara Döpel – teve um acidente com superaquecimento e explodiu. Depois da guerra, ficou esclarecido que, com boa probabilidade, o reator de Leipzig tinha se tornado hipercrítico. De qualquer forma, depois desse insucesso, Heisenberg transferiu o projeto de construção de um reator de Leipzig para o KWI de Berlin-Dahlem.

Entre a primavera e o outono de 1943, a Norsk Hydro norueguesa, produtora da água pesada, primeiro foi danificada e, depois,

---

[76] Conferência de 26 de fevereiro de 1942 em Dahlem, publicada no *Zeitschrift für die gesamte Naturwissenschaft* (HEISENBERG, 1943).

completamente destruída por bombardeios aéreos. Porém, 2 t de água pesada tinham sido acumuladas na Alemanha. Nesse ínterim, no fim de 1942, P. Harteck, em Hamburgo, tinha conseguido desenvolver uma supercentrífuga para a separação dos isótopos de urânio. Essa e outras posteriores chegaram a produzir pequena quantidade de urânio enriquecido a 5%, completamente insuficiente para a produção de uma bomba atômica.

Finalmente, no inverno entre 1943 e 1944, um reator com 1,5 t de água pesada e aproximadamente a mesma quantidade de urânio foi montado no KWI, em Berlin-Dahlem. Obteve-se um fator de multiplicação não muito longe daquele da criticidade.

Em dezembro de 1944, aconteceu um episódio, nunca totalmente esclarecido, que poderia ter levado ao assassinato de Heisenberg em Zurique. O autor desse episódio foi Morris "Moe" Berg. Morris Berg nasceu em Manhattan, no dia 2 de março de 1902, de uma família de judeus emigrados da Rússia. Desde jovem mostrou um notável talento para línguas modernas. Estudou línguas em Princeton, depois francês na Sorbonne e Direito na Columbia University. Falava bem pelo menos sete línguas, entre as quais o japonês e o alemão, mas preferiu dedicar-se a um esporte, o beisebol, no qual se tornou campeão, jogando durante muitos anos no Chicago White Sox, como *catcher*. Assim, tinha oportunidade de viajar com a equipe de beisebol. Durante uma dessas viagens, em Tóquio, fez escondido uma série de fotos de estruturas militares que, depois, cedeu à contraespionagem americana. Assim, foi recrutado, em 1942, pelo Office of Strategic Service (OSS). O OSS, obviamente, acompanhava Heisenberg de perto, pois era considerado por todos como o melhor cérebro alemão e o único em condição de levar a cabo a construção da bomba atômica. Evidentemente, o OSS não estava a par do fracasso parcial do projeto Uranverein e do fato de que, desde o verão de 1942, já se havia renunciado à construção da bomba para dedicar-se à construção de um reator nuclear.

De qualquer modo, os altos dirigentes do governo americano pensavam que, se Heisenberg fosse eliminado, o projeto alemão, qualquer que fosse ele, entraria em crise. Não se sabia, porém, onde morava Heisenberg. Foi Wolfgang Gentner a dar involuntariamente essa informação, comunicando ao colega Paul Scherrer, professor de física em Zurique, que Heisenberg vivia preferencialmente em Hechingen. Paul Scherrer passou essa informação aos americanos e, parece, foi convencido pelos próprios americanos a organizar uma Conferência de Física em Zurique, durante a qual Heisenberg falaria sobre as suas pesquisas. Aliás, Heisenberg mantinha contatos frequentes com a Universidade de Zurique e tinha ótimas relações, além de Pauli, que, nessa época, morava em Princeton, com o próprio Scherrer. Além disso, podemos imaginar que Heisenberg iria à Suíça com prazer, principalmente tendo em vista que lá não havia carência dos víveres que faltavam na Alemanha.

Morris Berg, que, como foi dito, falava perfeitamente tanto o alemão quanto o francês, foi encarregado pelo OSS de participar da conferência e de matar Heisenberg, se tivesse a impressão de que a Alemanha se encontrava em um estágio muito avançado para a construção da bomba atômica. Berg fez-se passar por um estudante de física suíço e participou da Conferência de Heisenberg com um revólver em um bolso e uma dose de cianureto no outro. A conferência de Heisenberg foi sobre assuntos de física teórica que não tinham relação com a bomba, e Berg compreendeu pouco ou quase nada sobre eles. Durante o jantar oferecido depois da conferência, começou a conversar com Heisenberg e o acompanhou até o hotel onde Heisenberg deveria passar a noite. Falando com Heisenberg, Berg teve a clara sensação de que a Alemanha estava muito atrás dos Estados Unidos em relação à construção da bomba e, portanto, desistiu de atentar contra a vida dele. Enviou um telegrama aos seus superiores do OSS, que, por sua vez, informaram seu conteúdo ao presidente Roosevelt. Esse respondeu aos superiores de Morris Berg, concluindo "[...] General, my regards to the catcher" (POWERS, 1993, S. 10).

Morris Berg sempre foi um personagem bastante misterioso. Depois da guerra, nunca teve um trabalho definido, sendo, então, sustentado pelos amigos. Propunha-se a escrever uma autobiografia que nunca chegou a escrever, ou, então, não teve tempo para fazê-lo, porque morreu em 1972.

Em fevereiro de 1944, o KWI foi bombardeado e, naquele momento, parte do material foi transferido para o sul da Alemanha, para Hechingen, ao sul de Stuttgart, onde foi construído um *bunker* no interior de uma igreja. No começo de 1945, o reator de Berlim foi consertado, mas, também pela falta de material suficiente, não deu resultados apreciáveis.

Enquanto isso, a guerra chegava ao fim. Em 4 de maio, Heisenberg foi feito prisioneiro pelos americanos e recolhido em Farm Hall (local vizinho a Cambridge), na Inglaterra, na companhia de nove eminentes cientistas alemães[77]. Ali, os dez tomaram conhecimento, pelo rádio, da explosão da primeira bomba atômica, em Hiroshima. A surpresa que manifestaram diante da notícia (as conversas entre os dez estavam sendo gravadas sem o conhecimento deles) e as conversas que se seguiram servem de forte argumento a favor da tese de que os cientistas alemães não sabiam fazer a bomba, e, assim, julgavam ser essa uma tarefa quase impossível. Em janeiro de 1946, os dez foram soltos e puderam retornar à Alemanha.

O nazifascismo trouxe, a Heisenberg, muitas dificuldades antes da guerra: basta pensar na questão da cátedra de física teórica em Munique e no fato de que muitos de seus colaboradores, parte deles judeus, foram obrigados a ir embora da Alemanha. Além disso, Heisenberg jamais teve a carteira de filiação ao Partido Nacional-Socialista e muitas vezes opôs-se ao regime, inclusive com abertas manifestações de discordân-

---

[77] Os dez cientistas recolhidos em Farm Hall foram os seguintes: Kurt Diebner, Walther Gerlach, Otto Hahn, Paul Harteck, Werner Heisenberg, Carl F. von Weizsäcker, Otto von Laue, Horst Korsching, Erich Bagge e Karl Wirtz.

cia. Além do mais, empenhou-se, nem sempre com sucesso, em ajudar seus colegas alemães ou estrangeiros em dificuldades com o nazismo.

Definitivamente, não pairam dúvidas de que a educação e a cultura de Heisenberg eram incompatíveis com o nacional-socialismo. Assim, erram aqueles que lhe atribuem, em diversas épocas, simpatia pela ideologia nacional-socialista, que ele nunca teve. Mas não se pode negar que Heisenberg era totalmente alemão, isto é, amante da cultura, da música, da poesia, da filosofia e do modo de viver alemão, com um profundo sentimento de patriotismo, mas, também, com o sentimento do dever em relação à nação e, mais ainda, em relação aos seus alunos. Estava convencido de que a Alemanha tinha uma missão cultural a desempenhar no mundo. Samuel Goudsmit, chefe da divisão científica da missão Alsos, físico ilustre e, no passado, colaborador de Heisenberg, depois de tê-lo longamente interrogado em 1945, definiu Heisenberg como um ativo antinazista, conquanto um nacionalista.

Isso explica por que, não obstante as atraentes ofertas que recebeu durante o período de 1935 a 1939 para transferir-se para os Estados Unidos, país que conhecia bem e que apreciava, sempre preferiu permanecer na Alemanha, frequentemente enfrentando mil dificuldades.

O mais provável é que jamais saibamos a verdade sobre o encontro entre Bohr e Heisenberg, assim como a posição de Heisenberg em relação à possibilidade de construção de armas nucleares e, portanto, qual a sua contribuição ao programa de pesquisas chamado Uranverein (Clube do Urânio). Também essa parte da vida científica de Heisenberg, que compreende o período do outono de 1939 ao verão de 1942, foi analisada pormenorizadamente, desde quando foi criado o primeiro grupo de trabalho do Uranverein até quando Heisenberg comunicou ao ministro das Armas, Albert Speer, que não seria possível fazer uma arma nuclear em tão pouco tempo.

A favor do "desempenho" de alguns cientistas alemães vinculados ao Uranverein, além das suas declarações, que, porém, devem ser consideradas com cautela, existem alguns argumentos de fato, citados por Thomas Powers (POWERS, 1993):

- No verão de 1939, Paul Rosbaud, editor do *Die Naturwissenschaften* e espião dos ingleses em Berlim, disse, ao cientista R. S. Hutton, em Londres, que um programa nuclear alemão tinha sido desacelerado porque "[...] os cientistas alemães recusavam-se a cooperar" (POWERS, 1993, p. 153).

- Em abril de 1941, um cientista judeu-alemão, Fritz Reiche, chegou aos Estados Unidos com a seguinte mensagem oral, provinda de Fritz Houtermans, colega de Heisenberg:

  > [...] um grande número de físicos alemães está trabalhando intensamente no problema da bomba de urânio, sob a direção de Heisenberg, mas o próprio Heisenberg está procurando desacelerar os trabalhos o mais possível, temendo os resultados catastróficos de um sucesso [...]. (POWERS, 1993, p. 154).

Uma carta de Rudolph Ladenburg, físico alemão que emigrou para Princeton, a Lyman Briggs, diretor do programa americano sobre a fissão, de abril de 1941, confirma esse assunto.

- Em maio de 1943, o espião alemão Erwin Respondek passou uma informação a Sam Woods, cônsul americano em Zurique, dizendo que: "[...] o grupo do Kaiser Wilhelm está voluntariamente interpondo dificuldade para desacelerar os trabalhos [...]" (POWERS, 1993, p. 154).

- Em junho de 1942, Albert Speer, poderoso ministro das Armas alemão, enfim coloca a Heisenberg e a seus colaboradores a pergunta-chave: "[...] é possível fazer uma arma nuclear?" A resposta de Heisenberg foi claríssima e, de fato, colocou um fim no programa alemão: "[...] talvez seja possível, mas as dificuldades são tais que nada poderá ser realizado antes de alguns anos" (POWERS, 1993, p. 155).

Muitos comportamentos de Heisenberg foram, porém, claramente ambíguos e talvez ele tenha colaborado com o nacional-socialismo. De qualquer forma, sabe-se que, depois da sua prisão em Farm Hall, Heisenberg, em janeiro de 1946, retornou a sua casa na montanha, em Urfeld, para onde, durante a guerra, sua família tinha se transferido. Retornou para uma Alemanha destruída pela guerra e, podemos imaginar, triste e humilhado.

Mas, com apenas 45 anos e com um passado brilhante, ele era um personagem muito importante para a Alemanha a ser reconstruída. De fato, já em fevereiro, começa o seu segundo período em Göttingen, para reconstruir a física na Alemanha. Os primeiros tempos foram duríssimos, mas, depois de alguns meses, conseguiu alugar um apartamento e sua família voltou para lá.

Em março de 1949, foi criado o Conselho Alemão de Pesquisas, e Heisenberg tornou-se seu presidente. Em fevereiro de 1952, foi criado o Cern, com sede em Genebra, e Heisenberg foi admitido na sua diretoria. No fim de 1953, foi nomeado presidente da Fundação Alexander von Humbold, que tinha o objetivo de autorizar períodos de estudo para estudiosos estrangeiros altamente qualificados. Em resumo, nesse período, foi confiada a Heisenberg a tarefa da reconstrução científica da Alemanha. Naqueles anos, nos quais Adenauer é o chanceler da República Federal da Alemanha, colocou-se também o problema "nuclear" e o próprio Adenauer teria sido favorável à construção de armas nucleares para a Alemanha.

Em 13 de abril de 1957, com o famoso *Manifesto de Göttingen*, 18 cientistas alemães manifestaram-se abertamente contra as armas nucleares na Alemanha. Eram, em grande parte, cientistas famosos, que contribuíram para a história da física nuclear e/ou tinham participado do Uranverein: Otto Hahn, Friedrich von Weizsäcker, Fritz Bopp, Max Born, Rudolf Fleischmann, Walther Gerlach, Otto Haxel, Werner Heisenberg,

Karl Wirtz, Hans Kopfermann, Max von Laue, Heinz Maier-Leibniz, Josef Mattauch, Adolf Paneth, Wolfgang Pauli, Wolfgang Riezler, Fritz Strassmann e Wilhelm Walcher.

O apelo teve grande repercussão na imprensa.Adenauer convidou os 18 para uma reunião, mas Heisenberg não quis participar dela. Depois, o projeto nuclear de Adenauer foi desarticulado pelo general De Gaulle[78].

Finalmente, em janeiro de 1958, Heisenberg pôde voltar para a "sua" Munique, como diretor do Max Planck Institut für Physik (MPIP). E, em Munique, começou a última fase da vida pessoal e profissional de Heisenberg). Dedicou-se à sua paixão por uma teoria unificadora das partículas nucleares e da matéria. Com esse projeto, envolveu Pauli, que, num primeiro momento, ficou entusiasmado, mas, depois, cético. Em 1958, a chamada "fórmula de Heisenberg" deixou os cientistas perplexos, mas, depois, foi abandonada.

Em 1970, Heisenberg aposentou-se. Em 1º de fevereiro de 1976, às 10 horas da manhã, morreu, em Munique.

Referências

BOHR, A. The war years and the prospects raised by atomic weapons. In: ROZENTAL, S. **Niels Bohr**: his life and works as seen by his friends and colleagues. New York: J. Wiley, 1967. p. 206-207.

[78] Depois da crise de Suez, em 1956, a França começou a pressionar a Alemanha e a Itália a se unirem a ela para criar armas nucleares. Esse projeto progrediu por vários anos, a partir de 1956, e, em abril de 1958, foi firmado um acordo entre os ministros da Defesa da época, Strauss, Taviani e Chaban-Delmas, para a construção, na França, de um equipamento para enriquecimento. Porém, em maio de 1958, com a volta ao poder do general De Gaulle, este decidiu romper o acordo e continuar sozinho. Esse episódio, não muito conhecido, é bem descrito por P. Cacace (2004).

BOHR, N.; KRAMERS, H. A.; SLATER, J. J. The quantum theory of radiation. **Zeitschrift für Physik**, Heidelberg, v. 24, p. 69-87, 1924.

BONOLIS, L. **Majorana**: il genio scomparso. Milano: Le Scienze, 2002. 111 p. il. (I grandi della scienza, 27).

BORN, M. **Autobiografia di un fisico**. Roma: Riuniti, 1980.

BORN, M.; HEISENBERG, W. Über phasenbeziehungen bei den borschen modellen von atomen und molekeln. **Zeitschrift für Physik**, Heidelberg, v. 14, p. 44-58, 1923.

BORN, M.; JORDAN, P. Zur quantenmechanik. **Zeitschrift für Physik**, Heidelberg, v. 34, p. 858-888, 1925.

CACACE, P. **L'atomica europea**. Roma: Fazi, 2004.

CARTA de Arnold Sommerfeld an Paul S. Epstein, 29. Juli 1922. Disponível em: <http://www.lrz-muenchen.de/~Sommerfeld/KurzFass/03571.html>. Acesso em: 26 fev. 2005.

CASSIDY, D. C. **Werner Heisenberg**: a bibliography of his writings. American Institute of Physics. 2001. Disponível em: <http://www.aip.org/history/heisenberg/bibliography/contents.htm>. Disponível em: 7 fev. 2005.

DIRAC, P. A. M. **The principles of quantum mechanics**. Oxford: Clarendon, 1930.

FEINBERG, E. W. Heisenberg: die tragödie des wissenschaftlers. In: DÜRR, H. P. (Ed.). **Werner Heisenberg**. München: Carl Hanser, 1992.

FLÜGGE, S. Die ausnutzung der atomenergie: vom Laboratoriumsversuch zur Uranmaschine. **Deutsche Allgemeine Zeitung**, Essen, n. 387, 1939b. Suplement.

FLÜGGE, S. Kann der Energieinhalt der Atomkerne technisch nutzbar gemacht werden? **Die Naturwissenschaften**, Heidelberg, v. 27, p. 402, 1939a.

FRAYN, M. **Copenhagen**. London: Methuen, 1998. (Methuen Modern Plays).

FRISCH, O. R. Physical evidence for the division of heavy nuclei under neutron bombardment. **Nature**, v. 143, p. 276, 1939.

HAHN, O.; STRASSMANN, F. Über den nachweis und das verhalten der bei der bestrahlung des urans mittels neutronen entstehenden erdalkalimetalle. **Die Naturwissenschaften**, Heidelberg, v. 27, n. 1, p. 11-15, 1939.

HEISENBERG, W. **Bericht über die möglichkeit der technischen Energiegewinnung aus der uranspaltung** (II) G-40. München, 1939. Achiv des Deutsches Museum, Disponível em: <http://www.deutsches-museum.de/archiv/archiv-online/geheimdokumente/forschungszentren/leipzig/energie-aus-uran/>. Acesso em: 11 jul. 2004.

HEISENBERG, W. Die theoretische Grundlage für die Energiegewinnung aus der Uranspaltung. **Zeitschrift für die gesamte Naturwissenschaft**, [Heidelberg], v. 9, p. 201-212, 1943.

HEISENBERG, W. **Física e oltre**: incontri com i protagonisti: 1920-1965. Torino: Boringhieri, 1984.

HEISENBERG, W. The development of quantum mechanics. **Nobel Lecture**, December 11, 1933. Disponível em: <http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1932/heisenberg-lecture.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2004.

HEISENBERG, W. Über den anschaulichen inhalt der quantentheoretischen kinematik und mechanik. **Zeitschrift für Physik**, Heidelberg, v. 46, p. 172-198, 1927.

HEISENBERG, W. Über quantentheoretische umdeutung kinematischer und mechanischer beziehungen. **Zeitschrift für Physik**, Heidelberg, v. 33, p. 879-893, p. 1925.

HEISENBERG, W. Über STABILITÄT und turbulenz von flüssigkeitsströmmen. **Annalen der Physik**, Berlin, v. 74, p. 1-31, 1924.

HEISENBERG, W. Zur quantentheorie der linearstruktur und der anomalen Zeemaneffekte. **Zeitschrift für Physik**, Heidelberg, v. 8, p. 273-297, 1922.

JOLIOT, F. Preuve experimentale de la rupture explosive des noyaux d'uranium et de thorium sous l'action des nêutrons. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 208, 341-343, 1939.

MAJORANA, E. Über die kerntheorie. **Zeitschrift für Physik**, Heidelberg, v. 82, p. 137-145, 1933.

MAURIZI, S. **Una bomba, dieci storie**: gli scienziati e l'atomica. Milano: Mondadori, 2004. 244 p. Interviste con Carl Friedrich von Weizsäcker.

MENZEL, W. Deutsche physik und jüdische physik. **Völkischer Beobachter**, [Berlin], 29 Jan. 1936. 5 p.

NIELS Bohr Archive. Document 1-11. 2002. Disponível em: <www.nbi.dk/NBA/papers/docs/cover.html>. Acesso em: 27 mar. 2004.

POWERS, T. **Heisenberg's War**: the secret history of the German bomb. New York: Knopf, 1993. 610 p.

RELEASE of documents relating to 1941 Bohr-Heisenberg meeting. Introductory comments. 2002. Disponível em: <www.nbi.dk/NBA/papers/introduction.htm>. Acesso em: 17 mar. 2004.

ROZENTAL, S. **Schiksalsjahre mit Niels Bohr**. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt, 1991.

SCHREIBEN Heisenberg die Sommerfeld. 24 Mai 1927. Disponível em: <http://www.lrz-muenchen.de/~Sommerfeld/KurzFass/02655.html>. Acesso em: 13 maio 2005. Carta de Heisenberg a Sommerfeld.

SCHRÖDINGER, E. **Abhandlungen zur Wellenmechanik**. Leipzig: Barth, 1927. 198 p.

SCHRÖDINGER, E. Quantisierung als eingenwertproblem (Erste Mitteilung). **Annalen der Physik**, Berlin, v. 4, n. 79, p. 361-376, 1926.

SOMMERFELD, A.; HEISENBERG, W. Die intensität der mehrfachlinien und ihrer zeeman-komponenten. **Zeitschrift für Physik**, Heidelberg, v. 11, p. 131-154, 1922b.

SOMMERFELD, A.; HEISENBERG, W. Eine bemerkung über relativistische röntgendubletts und linienschärfe. **Zeitschrift für Physik**, Heidelberg, v. 10, p. 393-398, 1922a.

WEISSE juden in der wissenschaft. **Das schwarze Korps**, [Leipzig], 15 Juli 1937.

WEIZSÄCKER, C. F. von. Kurzer Bericht über eventuelle praktische Auswirkung der Uranuntersuchungen. **KWI für Physik**, Berlin, n. 56, 1944. MPG-Archiv.

Literatura recomendada

BERNSTEIN, J. **Hitler's uranium club**: the secret recordings at Farm Hall. 2nd rev. New York: Springer, 2000. 384 p.

CASSIDY, D. C. **Uncertainty**: the life and science of Werner Heisenberg. New York: Freeman, 1992.

CASSIDY, D.; BERNSTEIN, J. **Hitler's Uranium Club**: the secret recordings at Farm Hall. Woodbury: AIP Press, 1996. 427 p.

FRANK, C. **Farm Hall Transcripts**. Berkeley: University of California Press, 1993.

GOUDSMIT, S. **Alsos**. New York: H. Schuman, 1947.

JUNGK, R. **Brighter than a thousand suns**. San Diego: Harcourt Brace, 1958. 369 p.

KARISCH, R. **Hitlers Bombe**. München: Deutsche Verlags-Anstalt, 2005.

POWERS, T. **Heisenberg's War**: the secret history of the German bomb. New York: Knopf, 1993. 610 p.

ROSE, P. **Heisenberg and the Nazi Atomic Bomb Project**: a study in german culture. Berkeley: University of California Press, 1998. 352 p.

SCHAAF, M. **Heisenberg, Hitler und die bombe**: gespräche mit zeitzeugen. Berlin: GNT, 2001. 148 p.

WALKER, M. **German National Socialism and the quest for nuclear power**: 1939-49. New York: Cambridge University Press, 1989. x + 290 p.

WALZER, M. Heisenberg: Goudsmit and the German atomic bomb. **Physics Today**, Melville, v. 43, n. 1, p. 52-60, 1990.

Capítulo 11

A FUNDAÇÃO DA FÍSICA NA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)

Os físicos e os homens de ciência em geral são, com frequência, viajantes, tanto por exigência de trabalho quanto por uma disposição natural para interagir com o resto do mundo.

Os físicos italianos não fogem à regra, pelo menos assim foi a partir da época de Fermi. As metas, então, eram as grandes universidades europeias. Ia-se "aprender a profissão" nos seguintes lugares: em Cambridge, com Rutherford e seus colaboradores; em Copenhague, com Bohr; em Paris, com madame Curie, e depois com Joliot e Irène Curie; em Göttingen, com Franck e Born; em Hamburgo, com O. Stern; em Berlim, com Planck, von Laue, Hahn e Meitner; em Amsterdã, com Zeeman, Ehrenfest e outros. Isto é, deslocava-se naturalmente para onde os grandes nomes da física da época garantiam a qualidade da pesquisa.

Especialmente no período de 1925 a 1940, o próprio Fermi, seus alunos e colaboradores passaram, todos eles, pelo menos por um certo período em várias universidades europeias, reconhecendo a importância de um estágio no exterior para, como escreveu Emilio Segrè, "aprender as técnicas experimentais, que não são aprendidas nos livros".

Assim, Fermi, no início de sua carreira, passou um certo período em Göttingen, com Max Born, e depois na Holanda, com Ehrenfest. Posteriormente, antes de sua emigração definitiva, passou vários verões nos Estados Unidos, na Columbia University e em Ann Arbor, local que amava de modo especial. Por sua vez, Segrè dirigiu-se a Amsterdã, para trabalhar com P. Zeeman, e depois para Hamburgo, com O. Stern. Rasetti, por seu turno, foi para Berlim, para trabalhar com L. Meitner, enquanto B. Pontecorvo ficou com Joliot.

Naquela época, o conhecimento de línguas estrangeiras, principalmente o alemão, mas também o francês e o inglês, era considerado fundamental, e também nisso Fermi surpreendeu, por dominar várias línguas.

Amaldi escreveu sobre isso:

> [...] todos nós líamos muito naquela época e não se admitia que alguém lesse as traduções; um livro alemão deveria ser lido em alemão, um livro inglês, em inglês, um francês, em francês. Não era admissível fazer diferente; quem não lia no original estava perdido, como uma pessoa que não deveria ser levada a sério. (AMALDI; ANGELA, 1980, p. 92).

Vale a pena lembrar que, posteriormente, Roma tornar-se-ia-se, na época de Fermi, um polo de atração para físicos, tanto italianos quanto estrangeiros. De fato, vários cientistas passaram períodos mais ou menos longos em Roma, estando entre eles: Teller, Rosenfeld, Møller, London, Weenberg, Placzek, Uhlenbeck e Bethe.

Esse comportamento mudou radicalmente com o advento das leis raciais emanadas do fascismo (1938) e com o início da guerra. Com a imposição das leis raciais, em 1939, Fermi emigrou para os Estados Unidos (ele não era judeu, mas sua mulher era), precedido por pouco tempo (mas casualmente) por Segrè (que foi destituído de sua cátedra em Palermo) e seguido por outros, como Ugo Fano, Bruno Rossi, Giulio Racah, Bruno Pontecorvo e Franco Rasetti. Lembremo-nos de que, depois da edição das leis antijudaicas, de 1938, foram expulsos da universidade professo-

res de projeção, como Roberto Almagià, Tullio Levi Civita, Bruno Rossi e Beniamino Segrè (FINZI, 1997). Não se tratava de uma "deportação bíblica", como a que ocorreu na Alemanha, mas de uma emigração forçada de cérebros que, sem dúvida, condicionou a evolução da ciência (e não apenas) italiana.

O baricentro da física mundial deslocou-se para a América do Norte (Estados Unidos, mas também Canadá) e, a partir de então, o fluxo dos físicos italianos, algumas vezes esporádico, muitas vezes permanente, foi em direção àquele continente. A física e, em geral, a ciência daqueles países enriqueceram-se com a presença italiana, enquanto, paralelamente, a ciência italiana empobreceu.

Todavia, é interessante observar que, desde a década de 1930, nem todas as emigrações dos físicos europeus fluíram para o continente norte-americano.Vários cientistas preferiram a América Latina, especialmente a Argentina e o Brasil.

A esse propósito, vale a pena recordar a contribuição italiana para a fundação da Universidade de São Paulo no Brasil.

A história é a seguinte: entre os anos de 1933 e 1934, o governo do Estado de São Paulo convidou professores europeus (em particular da França, da Itália e da Alemanha) a participar da fundação da primeira Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras do Estado de São Paulo. Os professores estrangeiros, que nos primeiros anos formavam praticamente todo o corpo docente daquela faculdade, foram escolhidos com base em considerações históricas e políticas: a França forneceu um bom número de docentes em razão da sua tradicional hegemonia cultural sobre a classe dominante brasileira, enquanto a Itália e a Alemanha foram lembradas por causa não só de suas prestigiadas culturas nacionais, mas também pela maciça presença de descendentes de italianos e alemães no Estado de São Paulo.

O grupo fundador da Universidade de São Paulo impôs o princípio de privilegiar os franceses nas áreas humanísticas, enquanto, para a Itália e para a Alemanha, foram reservadas as áreas científicas, nas quais se pressupunha que os princípios de sistemas autoritários de governo poderiam causar menos danos na formação dos estudantes.

Os governos italiano e francês favoreceram a iniciativa, garantindo aos docentes salários em dobro e reconhecendo, para todos os efeitos, nos respectivos países de origem dos cientistas, a validade dos anos de magistério prestado no Brasil. Em relação aos docentes alemães, porém, os contatos não foram oficiais, porque tratava-se, em sua maioria, de judeus ou opositores ao regime nazista.

Os primeiros professores enviados pelo governo italiano foram escolhidos com o máximo cuidado, entre personalidades eminentes nas respectivas áreas. Para a física, foi solicitado o conselho de Fermi, que indicou o nome do professor Gleb Wataghin. Vale a pena lembrar todos os docentes que foram enviados ao Brasil e a duração da respectiva permanência no País:

Gleb Wataghin – Física Geral e Experimental, de 1934 a 1949

Ettore Onorato – Mineralogia, de 1934 a 1938

Luigi Fantappiè – Análise Matemática, de 1934 a 1939

Francesco Piccolo – Literatura Italiana, de 1934 a 1937

Giacomo Albanese – Geometria, de 1936 a 1942

Luigi Galvani – Estatística, de 1936 a 1942

Ottorino de Fiore di Cropani – Paleontologia, de 1937 a 1942

Giuseppe Ungaretti – Literatura Italiana, de 1937 a 1942

Attilio Venturi – Literatura Grega, de 1938 a 1939

Giuseppe Occhialini – Física Experimental, de 1938 a 1942

Vittorio de Falco – Literatura Grega, de 1939 a 1942

A história da "missão italiana" termina em 1942, para quase todos os professores. Os de origem italiana foram chamados de volta à pátria por causa da guerra. Ficaram no Brasíl apenas Wataghin e Occhialini, que se recusaram a voltar, e Ottorino de Fiore, que ficou doente no momento de embarcar no navio que o levaria à Itália. Todavia, Wataghin e Occhialini foram se distanciando dos encargos que tinham na Universidade de São Paulo porque, naquele momento, o Brasil entrara na guerra ao lado de ingleses e americanos.

De qualquer modo, a contribuição italiana para a fundação da Universidade de São Paulo (USP) foi relevante. Devemos lembrar, em especial, a do professor Gleb Wataghin no campo da física. Uma breve biografia, reproduzida a seguir, foi feita por sua filha Lucia.

Gleb Wataghin nasceu em Birsula, nas proximidades de Kiev (na Ucrânia), em 1899. O pai era engenheiro e trabalhava para as ferrovias imperiais russas. Diplomou-se em Kiev, em 1919, e, logo depois, fugiu com a família tangido pela revolução russa e chegou a Torino como refugiado. A despeito de todas as dificuldades que enfrentou, formou-se em física em 1922 e em matemática em 1924. Nos anos seguintes, dedicou-se igualmente ao estudo e pesquisa e ao ensino da física e da matemática na Reale Accademia di Artiglieria e Genio, no Politecnico e na Università di Torino. Entre as décadas de 1920 e 1930, foi um dos primeiros a conhecer, a estudar e a ensinar a teoria dos quanta. Naturalizou-se italiano na década de 1920. Em 1932, foi, mantido por uma bolsa de estudos, primeiro para Cambridge e depois para Copenhague. Era extremamente versátil, capaz de trabalhar tanto em física teórica quanto em física experimental. Assim, no início dos anos 1930, Wataghin era já suficientemente conhecido nos ambientes da nova física italiana e era amigo de Fermi.

O nome de Wataghin foi indicado por Fermi ao mensageiro do governo do Estado de São Paulo, o matemático Teodoro Ramos. Depois de ter

aceitado o convite, embora hesitante, Wataghin assumiu essa tarefa em 1934 e, assim, tornou-se um dos primeiros professores da Universidade de São Paulo e o único físico no Brasil até a chegada de Occhialini.

Na biografia de Emilio Segrè – *Enrico Fermi, físico* –, encontramos uma breve referência a Wataghin no Brasil:

> [...] no verão de 1934, Fermi foi à América do Sul para fazer uma série de conferências sob os auspícios do governo italiano. Falou em Buenos Aires, em Montevidéu e em outros lugares. No Brasil, em São Paulo, reencontrou o físico torinense Gleb Wataghin e um velho companheiro da Escola Normal Superior de Pisa, o matemático Luigi Fantappiè, ambos professores em São Paulo, conforme os acordos culturais entre a Itália e o Brasil. Wataghin e Occhialini, que o encontrou mais tarde no Brasil, empenharam-se com sucesso em estabelecer uma florescente escola de física. Fermi fez suas conferências em italiano, diante de um público numerosíssimo, e se alegrou bastante com o interesse mostrado pelas suas pesquisas. (SEGRÉ, 1971, p. 51).

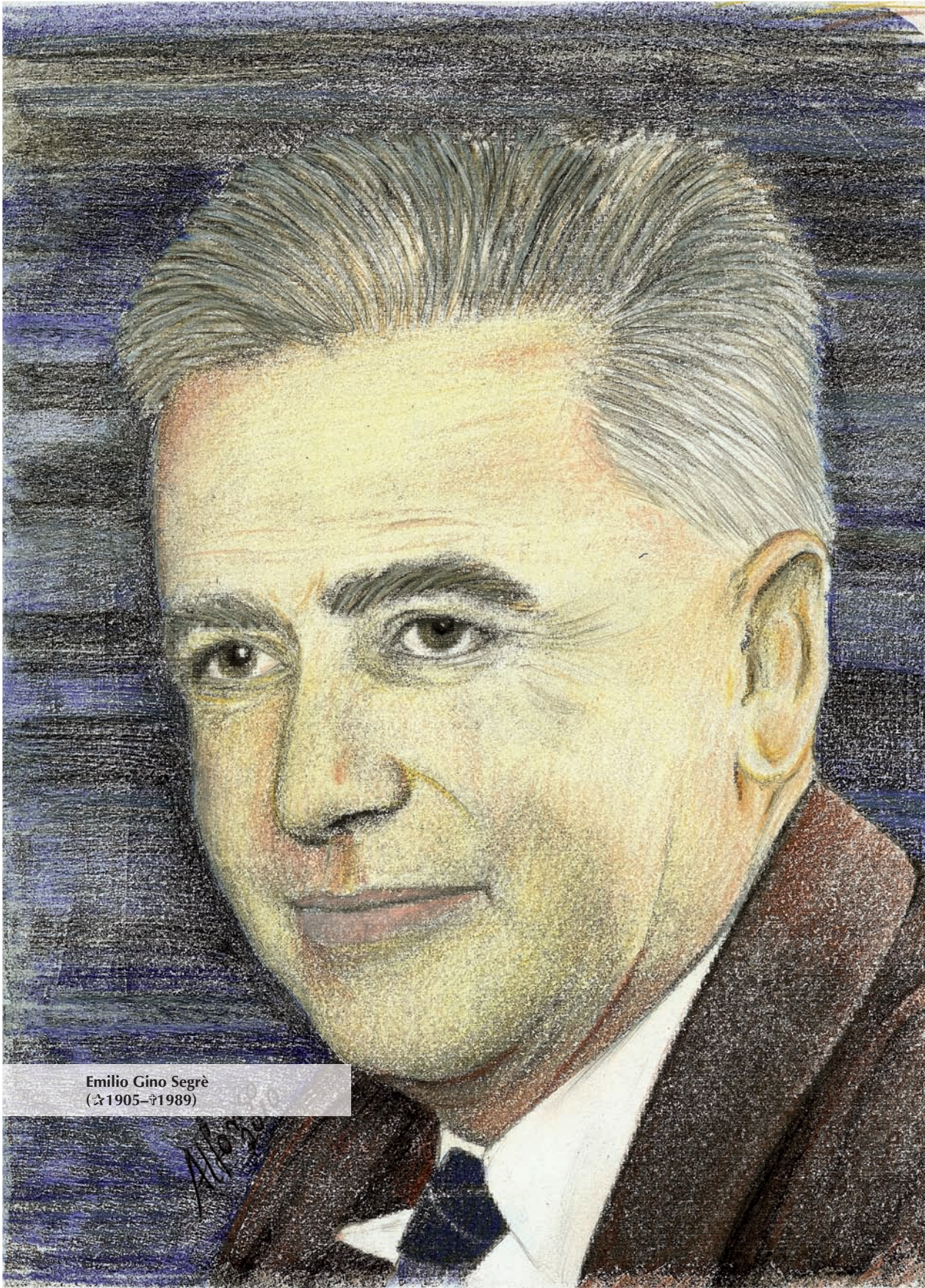
É interessante observar que a viagem de Fermi à América Latina aconteceu no verão de 1934, isto é, logo após ele ter descoberto a radioatividade induzida por nêutrons e pouco antes de descobrir a desaceleração dos nêutrons e o grande efeito sobre a radioatividade induzida. Nesse verão de 1934, ele já teria alguma intuição sobre o efeito dos nêutrons lentos?

Mas retornemos a Wataghin, que deparou, sozinho, com a necessidade de organizar, do nada, a docência e a pesquisa em física em São Paulo. Com a palavra o próprio professor Wataghin:

> [...] eu fazia física experimental, física teórica e mecânica [...] [...] além disso, disseram-me que eu precisava criar um laboratório experimental. No começo não conseguia falar com ninguém, porque não havia quem soubesse o suficiente para poder fazer pesquisa. Mas, já na primeira aula que dei, encontrei duas pessoas muito promissoras: Mário Schenberg e Marcelo Damy de Souza Santos. (AMALDI, 1997, p. 115).

Assim conta Omar Catunda, um outro aluno de Wataghin:

> [...] inicialmente, a física foi instalada no quarto andar do Politécnico, em um só ambiente, que funcionava ao mesmo tempo como sala dos professores, la-



Emilio Gino Segrè
(☆1905–✞1989)

> boratório, café e sala de aula. Mas havia uma pessoa. Havia o prof. Wataghin. Ele criou, com a sua personalidade científica, a física em São Paulo. (AMALDI, 1997, p. 117).

Leiamos ainda o professor Wataghin:

> [...] em geral, como fiz com Mário Schenberg e com Lattes, mandava-os para a Europa depois de dois ou três anos de estudo. Mandei Schenberg para o meu amigo Dirac, que considero o maior físico teórico vivo. Andei pela Europa com Schenberg e passamos pela Itália para ir à Inglaterra. Encontrei-me com Fermi e lhe pedi que falasse com Schenberg. Foi, então, que Fermi convenceu Schenberg a trabalhar com ele (porém, não se encontra nenhuma referência dessa visita nas várias biografias sobre Fermi). Fiz a mesma coisa com os físicos experimentais. Alguns foram para a Inglaterra, para Cambridge, como Lattes. O contato com a Europa era fundamental. (AMALDI, 1997, p. 117).

Em relação à atividade de pesquisa, Wataghin escolheu o campo dos raios cósmicos. Foi uma escolha importante, porque se tratava de um campo de pesquisas novo e aberto, no qual os físicos brasileiros tinham a possibilidade de fazer importantes descobertas, sem necessidade de investir grandes somas de dinheiro. Conta, ainda, Wataghin:

> [...] tive a sorte, já a partir de 1936, de encontrar ótimos alunos e colaboradores. Encontrei em duas pessoas, Marcelo Damy de Souza Santos e Paulus Pompeia, uma ajuda fundamental. Eles eram verdadeiros físicos experimentais e sabiam construir circuitos elétricos, soldar, etc. (AMALDI, 1997, p. 117).

Em 1937, Damy tornou-se assistente de Wataghin. Nesse mesmo ano, Wataghin participou de um concurso, organizado pela Universidade de Palermo, para disputar a cátedra de física teórica. Além dele, participaram do concurso: Ettore Majorana, por grande insistência de Fermi, Leo Pincherle, Giulio Racah, Gian Carlo Wick e Giovanni Gentile Jr. O trio vencedor foi: 1º lugar Wick, 2º lugar Racah e 3º lugar Gentile. Por efeito desse concurso, Majorana foi, depois, nomeado por "reconhecimento".

Em 1938, Wataghin conseguiu outro precioso colaborador, convidado pela USP, o professor Giuseppe Occhialini. Ele, que era antifascista, es-

tava procurando uma boa oportunidde para deixar a Itália. Occhialini, junto com Blackett, era, entre outras coisas, o autor de importantes estudos sobre raios cósmicos. Sobre esse acontecimento, escreveu Damy:

> [...] tivemos a sorte de termos no Brasil um físico que tinha trabalhado no maior laboratório do mundo (Cambridge) sobre os problemas mais importantes da época e que tinha participado de uma descoberta fundamental, a produção de pares de elétrons-pósitrons. Chegando ao Brasil, trouxe consigo toda esta tecnologia experimental, o que realmente foi um passo decisivo que nos levou a encarar a pesquisa de modo diverso. (AMALDI, 1997, p. 118).

Occhialini permaneceu no Brasil até 1944. Depois, retornou à Inglaterra, especificamente para Bristol, onde desenvolveu a técnica das emulsões, isolando, com C. Powel e C. Lattes (Cesare Lattes, de família de judeus italianos, foi aluno de Wataghin e depois de Occhialini), o primeiro traço do méson π. Depois da guerra, retornou à Itália, então, como professor de física. Primeiro foi para Gênova (a partir de 1950) e depois para Milão.

Entrementes, Paulus Pompeia tornou-se assistente de Wataghin. Em 1939, Pompeia, Occhialini e Wataghin começaram a colaborar com Arthur Compton. Em 1941, o grupo fez uma importantíssima descoberta, denominada *penetrant showers*.

Encontramos outra referência a Wataghin no livro *Da via Panisperna all'America*, que relata um manuscrito póstumo e inédito de Edoardo Amaldi (1997):

> [...] um fato de notável relevância para nós, de Roma, foi o I Congresso Internacional, organizado conjuntamente pela British Physical Society e pelo Cavendish Laboratory, em Cambridge, de 22 a 27 de julho de 1946. Entre as apresentações recordarei [...] [...] a apresentação de Clay e de Wataghin sobre os enxames cósmicos [...] (AMALDI, 1997, p. 107).

E, a seguir:

> [...] nesse meio tempo as pesquisas de física e, em especial, sobre a radiação cósmica tinham alcançado uma notável expansão no Brasil, principalmente por mérito de Gleb Wataghin, que para ali tinha se transferido em 1937 (na realida-

> de, em 1934!) e tinha criado, nos anos posteriores, uma valiosíssima escola de Física. (AMALDI, 1997, p. 110).

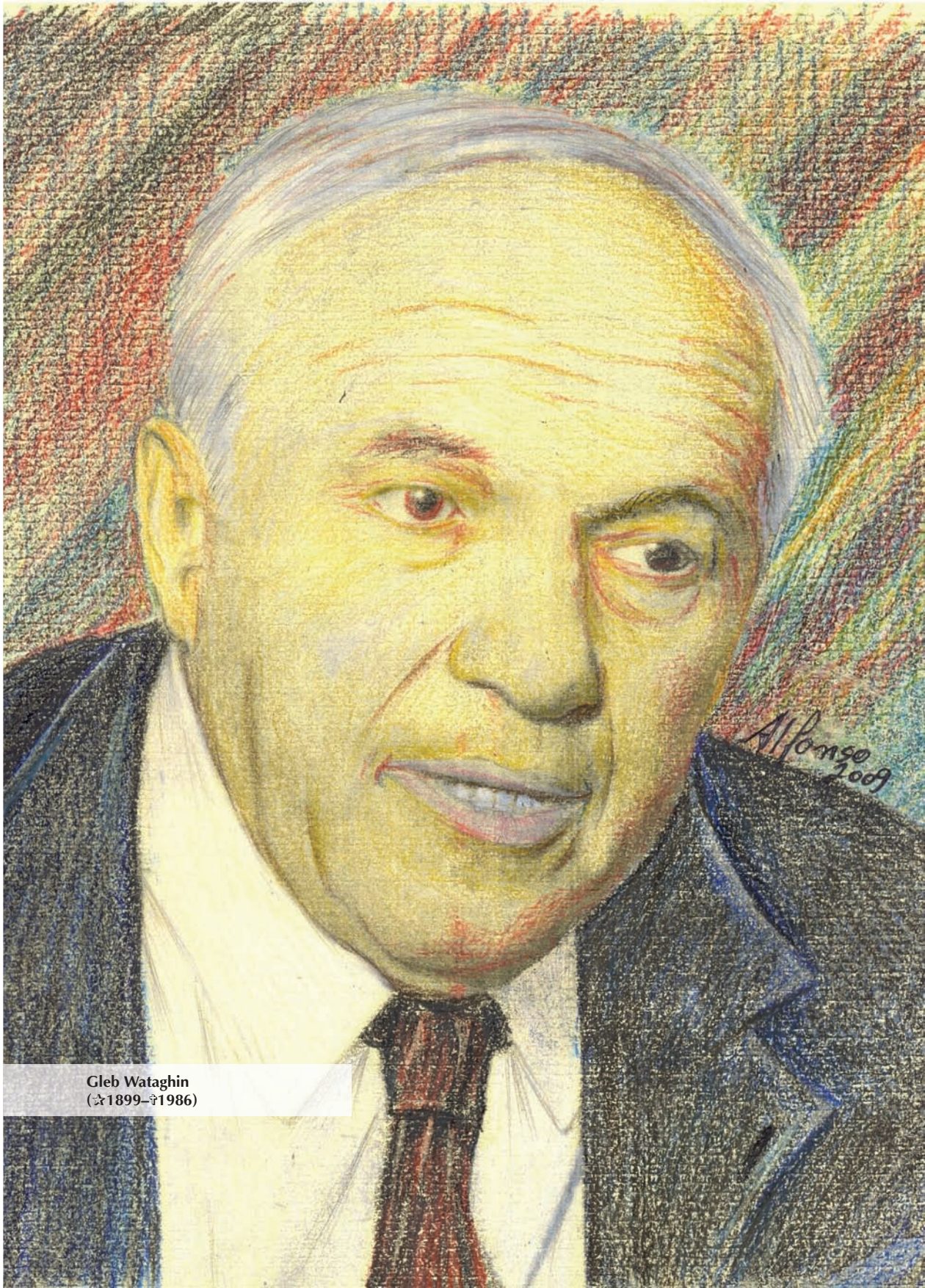
Wataghin tinha o dom de contagiar, com seu entusiamo, as pessoas com quem se relacionava. Oscar Sala, que foi um dos seus primeiros alunos, conta um episódio interessante:

> Wataghin precisava de suporte financeiro para bancar uma parte de suas pesquisas sobre raios cósmicos, que, naquele período, eram realizadas a bordo de um avião. Foi recebido pelo governador do Estado de São Paulo, Adhemar de Barros, para quem descreveu as maravilhas dos raios cósmicos e a importância das medidas que pretendia fazer, e o fez com tal entusiasmo que, depois de pouco tempo, o governador não se conteve mais, abriu uma gaveta e disse: "professor, pegue aqui o dinheiro que precisa e que Deus o ajude com seus raios cósmicos". (AMALDI, 1997, p. 121).

Vejamos o que diz sobre Wataghin um outro aluno, o físico brasileiro Roberto Salmeron, que foi professor na École Polytechnique de Paris, onde foi aposentado como diretor emérito de pesquisa:

> Foi uma grande sorte para nós, brasileiros, termos como professor e orientador de física um grande físico italiano, Gleb Wataghin. Ele pertencia à última geração de físicos que conhecia toda a física e tinha as qualidades científicas e humanas para criar um departamento de física de alto nível. Wataghin era um excelente físico teórico, um excelente físico experimental, um grande apaixonado pela ciência e tinha um excepcional interesse pela formação de jovens. Começou a fazer física em S. Paulo partindo do nada, criando as premissas para uma física moderna no Brasil. É raro ver, em qualquer país, uma única pessoa que tenha tido uma influência tão grande como Wataghin na física brasileira. (AMALDI, 1997, p. 122).

Como já foi observado, depois que o Brasil entrou na guerra, mudou a situação dos professores italianos que permaneceram em São Paulo. Em 1942, Occhialini deixou de fazer parte do corpo docente, mas permaneceu no Brasil. Em 1943, trabalhou em S. Paulo, com Cesare Lattes. Em 1944, transferiu-se para Bristol, para onde, pouco depois, convidou o próprio Lattes. Em Bristol, o grupo de Occhialini, Lattes e Powell descobriu o méson π como componente da radiação cósmica. A descoberta deu para Powell o Prêmio Nobel de Física.



Gleb Wataghin
(☆1899–✞1986)

Wataghin, sendo portador de passaporte italiano, não podia participar do trabalho bélico do Instituto de Física, o qual suspendeu, pelo menos oficialmente, todas as pesquisas sobre raios cósmicos. Wataghin deveria deixar a direção do instituto, mas, na realidade, prosseguiu com as pesquisas sobre *penetrant showers* com Oscar Sala e Elsa Gomide.

Wataghin era uma personalidade versátil. Em 1948, publicou dois importantes trabalhos teóricos na *Physical Review*. O primeiro trabalho propõe um modelo teórico para a produção múltipla de mésons, enquanto o segundo trata da formação dos elementos químicos nas estrelas. Assim se expressa sobre esse segundo trabalho o grande físico Freeman Dyson:

> [...] no volume 73 da *Physical Review* foram publicados vários trabalhos interessantes; um de Alpher, Bethe e Gamow[79], no qual propunham que os elementos químicos fossem formados nas estrelas pelas capturas sucessivas de nêutrons e de prótons durante a expansão do universo. O outro, um trabalho de Wataghin, no qual propunha que os elementos químicos, nas estrelas, fossem formados de nêutrons. Este último trabalho não despertou grande interesse porque Wataghin trabalhava no Brasil e, naquela época, não era muito conhecido. Depois de muitos anos, os resultados experimentais colhidos mostraram que Alpher, Bethe e Gamow tinham errado, enquanto Wataghin tinha razão. (AMALDI, 1997, p. 119).

Em 1949, Wataghin finalmente retornou à Itália e assumiu a direção do Instituto de Física da Universidade de Torino, onde ficou até 1974. Wataghin criou um bom grupo de física em Torino. Vejamos como fala sobre isso Tullio Regge (2004):

> [...] na universidade, tive a sorte de encontrar personalidades iluminadas e muito capazes. Naqueles anos, depois da guerra, a Faculdade de Física de Torino era dominada pelas figuras de Romolo Deaglio (1899-1978) e de

---

[79] Observar a consonância com as três letras iniciais do alfabeto grego (alfa, beta, gama). Parece-me ter lido em algum lugar, talvez nas memórias de Hans Bethe, que ele e Gamow estavam trabalhando sobre a origem do universo e procuravam (falava-se de origem!), para completar o trio, um físico cujo sobrenome lembrasse a letra alfa, encontrando-o em Alpher, que estava escrevendo sua tese de formatura sobre esse assunto, com Gamow.

> Gleb Wataghin (1899-1986). Em 1948, Wataghin foi convidado para ir para Torino, pelo próprio Deaglio, para quem vai o mérito de ter reorganizado completamente o ambiente da física torinense. Wataghin tinha fugido da Rússia durante a Revolução de Outubro e formou-se em Torino na década de 1920. Na década seguinte, emigrou para o Brasil, onde tinha sido fundada a Faculdade de Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Era um excelente físico, dotado sobretudo de uma exuberância excepcional e de um entusiasmo contagiante. O seu engajamento na cátedra de física experimental representou uma mudança notável para a física de Torino. Conhecia os maiores físicos da época e foi graças a ele que personagens lendários vieram para Torino. (REGGE, 2004, p. 71).

Wataghin continuou, porém, muito ligado ao Brasil, onde, aliás, recebeu muitas homenagens, como a Ordem do Cruzeiro do Sul, o título *Honoris causa* da Universidade de São Paulo e da Universidade de Campinas. Emprestou, merecidamente, o seu nome ao Instituto de Física da Universidade Estadual de Campinas. Wataghin morreu em Torino, em 1986.

Referências

AMALDI, E. **Da via Panisperna all'America**: i fisici italiani e la seconda guerra mondiale. Roma: Riuniti, 1997. 198 p. A cura di Giovanni Battimelli e Michelangelo De Maria, con una premessa di Ugo Amaldi.

AMALDI, E.; ANGELA, P. **Intervista sulla materia dal nucleo alle galassie**. Bari: Laterza, 1980. 184 p.

FINZI, R. **L'università italiana e le leggi antiebraiche**. Roma: Riuniti, 1997.

REGGE, T. **Lettere ai giovani sulla scienza**. Milano: Rizzoli, 2004.

SEGRÈ, E. **Enrico Fermi**: fisico. Bologna: Zanichelli, 1971.

Capítulo 12

LEO SZILÀRD: UMA FIGURA SINGULAR DE CIENTISTA

Leo Szilàrd é conhecido do grande público, principalmente pela famosa carta que escreveu em agosto de 1939 ao presidente Franklin D. Roosevelt, para convencê-lo a iniciar um projeto de construção da bomba atômica, lembrando do perigo que o mundo corria se a Alemanha pudesse fabricá-la em primeiro lugar. Depois, a carta foi assinada, não por Szilàrd, mas por Einstein, muito mais conhecido e influente do que ele, e de quem, muitos anos antes, tinha sido colaborador em Berlim. Com Einstein, Szilàrd tinha patenteado nada menos do que um modelo de geladeira.

Leo Szilàrd é uma figura atípica de cientista, no sentido de que se dedicou, durante toda a sua vida, à ciência *in totum*, explorando as mais diversas disciplinas, da termodinâmica à física nuclear, da medicina nuclear à biologia, e dando, a cada uma delas, uma contribuição relevante. Mas dedicou-se também às consequências políticas da ciência, como pacifista convicto. Não era homem de grandes realizações e, de fato, não fez grandes descobertas, mas era capaz de de fantásticas intuições, às quais outros, depois, dariam prosseguimento. Era também um homem bem-humorado, tendo sempre pronta na língua uma piada sobre os judeus, exatamente ele, que era um judeu (CZEIZEL, 1998, p. 77). Mas prossigamos com ordem!

Leo Szilàrd nasceu em 11 de fevereiro de 1898 em Budapeste, como Leo Spitz, filho de um influente engenheiro. A sua família, judia, depois trocou o sobrenome para Szilàrd (que em húngaro significa "sólido"), em 1900. Szilàrd foi um menino precoce, tendo manifestado grande interesse e capacidade para a física desde a idade de 13 anos.

É interessante observar que mais ou menos nos mesmos anos e mais ou menos no mesmo bairro de Budapeste, nasceram e estudaram vários rapazes, todos de família judia e abastada, que depois se tornariam grandes, às vezes excelentes cientistas (MARX, 1998). Muitos deles ganharam o Prêmio Nobel. Basta pensar em Eugene P. Wigner, Edward Teller, John von Neumann, George de Hevesy, Dennis Gabor, Theodore von Karman, Arthur Koestler e John G. Kemeny, todos provenientes de um único bairro de Budapeste, a leste do Danúbio.

A grande influência sobre todos aqueles que se dedicaram a matérias científicas parece ter sido um professor de matemática da escola local.

Leo Szilàrd é uma figura emergente de um *melting pot* de cultura. É necessário recordar que os judeus na Europa migraram continuamente, primeiramente expulsos da Europa Ocidental (séculos 15 e 16), e depois da Rússia e da Polônia (séculos 18 e 19). O pai de Leo, Louis Spitz, chegou à Hungria vindo da Eslováquia, quase na fronteira com a Polônia, e formou-se em engenharia no Politécnico de Budapeste. A língua materna do pai era alemão, mas aprendeu húngaro, e, como já foi dito, trocou seu nome por um nome húngaro, Lajos Szilàrd. A mãe, Tekla Vidor, nasceu em uma rica família judia, sendo seu pai, um conhecido médico, um dos fundadores da oftalmologia na Hungria. O nome de família era, originalmente, Lustig (portanto, de origem alemã), e também ele foi traduzido para o húngaro, passando para o sobrenome Vidor, que é a tradução literal de Lustig. Na época, o nível cultural dos judeus da *middle class* húngara era muito alto (MARX, 1998).

Desde muito cedo, Leo demonstrou ser um menino prodígio, sobressaindo na escola, em especial nas matérias científicas. Frequentou a

Realiskola em Budapeste e obteve o segundo prêmio em uma importante competição anual de física, organizada sob os auspícios da Eötvös Mathematical and Physical Society. Completou a escola com grande sucesso e inscreveu-se na universidade, onde estudou engenharia, como o pai. Ao mesmo tempo, em setembro de 1917, ofereceu-se como voluntário na Escola para Oficiais Reservistas em Budapeste e, a seguir, tornou-se *Kadettaspirant* (aspirante a cadete) no Tirol; por fim, terminou a sua carreira militar em novembro de 1918, internado em um hospital em Budapeste.

Enquanto tentava deixar definitivamente o Exército, Leo continuava seus estudos, fazendo o seu primeiro exame final em julho de 1919. Porém, a atmosfera em Budapeste estava muito mudada; o ar estava carregado de conflitos sociais, amargas animosidades, lutas políticas e também um início de antissemitismo, sob o regime de Horty. O ano de 1919 deve ter sido o último no qual Leo Szilàrd viveu na Hungria, e foi também o ano da sua conversão religiosa, da religião hebraica para a calvinista (outubro de 1919). Na época, a conversão dos judeus era bastante comum e, de certo modo, era um sinal de integração na sociedade em que viviam. Era particularmente frequente nos extratos mais elevados da população, e bastante estimulada pelo desejo de ascensão social. Por exemplo, na Alemanha daquela época, cerca da metade dos acadêmicos, dos jornalistas e dos editores judeus converteu-se à religião cristã. Não se sabe se Leo converteu-se depois de um autoexame espiritual ou se teria motivos oportunistas.

No final de 1919, obteve a documentação necessária para poder entrar na Alemanha como estudante, e, no início de 1920, o encontramos em Berlin-Charlottenburg, onde apresentou seus documentos e se tornou estudante universitário. Ali, estudou inicialmente engenharia na Technische Hochschule, mas, pouco depois, passou para a física. Em Berlim, Szilàrd terminou seu doutorado em 1922, com Max von Laue, com nota máxima. Defendeu uma tese cujo tema escolheu sozinho, sobre a deri-

vação estatística do 2º princípio da termodinâmica, cujo título era *Über die thermodynamischen Schwankungserscheinungen*. A tese foi considerada "excelente", o que corresponde à nota máxima, com louvor.

Em 1923, colaborou com Hermann Mark, no Kaiser Wilhelm Institut für Chemie, com medidas de difração de raios X (MARK; SZILÀRD, 1925), e, em 1924, teve um contrato trienal como assistente de Max von Laue no Instituto de Física Teórica da Universidade de Berlim. Em 1927, tornou-se livre-docente de física naquela universidade.

Pelo que se sabe, a colaboração que Szilàrd deu a Einstein começou no inverno de 1925, motivada por um artigo de jornal. Um dia, no fim de 1925, Eisntein leu uma notícia sobre a morte de uma família inteira, intoxicada por gases tóxicos liberados pela bomba de uma geladeira. As geladeiras mecânicas estavam começando a difundir-se, mas os gases refrigerantes que empregavam (cloreto de metil, amoníaco e dióxido de enxofre) realmente não eram seguros e, infelizmente, tragédias daquele tipo eram frequentes. Einstein teria comentado essa tragédia com Leo Szilàrd e sugerido: "[...] deve haver um modo melhor"(KURTI, 1998, p. 101). Esse foi o início de uma colaboração que durou 7 anos, até Szilàrd fugir da Alemanha por causa do nazismo. A colaboração entre Einstein e Szilàrd no setor das geladeiras produziu 45 patentes[80]. Nenhum dos projetos foi comercializado, mas, graças às introduções relacionadas a eles, por parte das sociedades produtoras de eletrodomésticos, Szilàrd pôde se manter em Berlim, e a poupança que fez o sustentaria no último período que passou na Grã-Bretanha. Einstein ficou muito impressionado com a habilidade que Szilàrd tinha de encontrar o cerne dos problemas, e também com a facilidade em conseguir ajuda quando enfrentava alguma dificuldade. Isso o fazia se lembrar de uma certa história, segundo a qual se um húngaro entrar em algum lugar depois de você, por uma porta giratória, ele, com certeza, sairá primeiro.

---

[80] Ver, por exemplo, Szilàrd e Einstein (1924).

Em 1928, interagiu com John von Neumann[81], que também estava em Berlim, participando, com ele, de seminários sobre mecânica quântica. Em 1930, ensinou física teórica com Schrödinger e von Neumann e física e química nuclear com Lise Meitner.

Com que incrível facilidade era possível encontrar, entre a metade dos anos 1920 e a metade dos anos 1930, em Berlim, docentes da competência de Planck, Einstein, von Laue, von Neumann, Meitner, Hahn e outros; em Hamburgo, Heisenberg e Debye; em Munique, Sommerfeld; em Göttingen, Born, Franck, Hilbert. Em resumo, em cada grande campus universitário alemão, estavam grandes nomes e vários prêmios Nobel. Atualmente, isso não ocorre mais na velha Europa, mas é comum nas grandes universidades dos Estados Unidos.

Durante o período em que viveu em Berlim, como observa Valentin Telegdi (TELEGDI, 2000), Szilàrd demonstrou ser também um grande inventor, e não só de geladeiras. Naquele período, solicitou 31 patentes contra somente duas publicações em física teórica e duas em física experimental. Uma boa parte das patentes, Szilàrd as criou no setor dos aceleradores, desenvolvendo ideias que são a base dos modernos aceleradores.

Nesse campo, solicitou uma primeira patente no fim de 1928, com um projeto equivalente ao de um atual Linac[82]. Independentemente de Szilàrd e no mesmo ano, mas um pouco antes daquele fato, Rudolf Wideröe, um físico norueguês quase que desconhecido e que naquela época trabalhava em Aachen, teve a mesma ideia (WIDERÖE, 1928).

Em janeiro de 1929, apenas poucas semanas depois do registro da patente do Linac, Szilàrd apresentou outra patente, desta vez um acelerador

---

[81] John von Neumann, também ele húngaro, nasceu em Budapeste, em 1903, como János Neumann. O pai comprou um título de nobreza, mas jamais o usou, ao contrário do filho János. Este, quando se transferiu para os Estados Unidos, em 1933, trocou seu nome para John.

[82] Beschleunigung von Korpuskeln. S89 028 German Patent VI/40c. Dec. 17 1928. (SZILARD, 1972).

circular, tanto do tipo que hoje chamaríamos de "cíclotron" quanto do tipo "bétatron"[83]. Para o bétatron, ele foi mais uma vez precedido, por pouco, pelo mesmo Wideröe. O princípio do cíclotron, pelo contrário, foi posteriormente feito e melhorado por Ernest O. Lawrence (1930).

Vale a pena observar que todos esses pedidos de patente foram rejeitados com o seguinte comentário:

> [...] as patentes podem ser aprovadas somente para invenções que permitam um uso comercial. Por outro lado, a invenção proposta parece ter somente um valor científico [...] [...] é extremamente improvável que, mesmo no futuro, a invenção proposta possa tornar-se comercial. (KURTI, 1998, p. 101).

Nos anos seguintes, Szilàrd não deixou de dedicar-se aos aceleradores, tanto que, durante a sua permanência em Oxford, propôs a Lindemann, também ele alemão foragido da Alemanha e diretor do Clarendon Laboratory, e a James Tuck, construir um bétatron. A proposta foi integralmente aceita, mas acabou não sendo realizada porque Szilàrd mudou-se para os Estados Unidos por causa da iminência da guerra. Donald Kerst, que depois fez o bétatron, definiu o modelo de Szilàrd-Tuck como o mais promissor e completo em razão dos seus detalhes técnicos.

Em 31 de março de 1933, Szilàrd deixou Berlim em direção à Grã-Bretanha, passando por Viena, para fugir da perseguição aos judeus, que, coincidentemente, começou no dia seguinte ao da sua viagem. Ele sempre se mostrou muito previdente, capaz de antecipar os fatos. Chegando à Grã-Bretanha, trabalhou muito para organizar a assistência e a oferta de cargos acadêmicos para os exilados, em particular para seus colegas universitários.

Como ele mesmo conta (SZILÀRD, 1954[84]), em 12 de setembro de 1933, leu no *Times* um resumo de uma Conferência de Lord Rutherford,

---

[83] Korpuskularstrahlröhre. S89288 German Patent 1928. (SZILARD, 1972).

[84] Reproduced in Leo Szilàrd Centenary Volume (SZILARD, 1972, 1998, p. 176-184).

grande "guru" da física nuclear, que, entre outras coisas, afirmava: "[...] qualquer um que pense sobre a possibilidade de extrair energia das transmutações nucleares, está com a cabeça na lua". Como era seu hábito, Szilàrd começou a refletir se o contrário não poderia ser verdadeiro. Damos a palavra a Leo Szilàrd:

> [...] naquela tarde estava parado no semáforo, esperando para atravessar a Southampton Row e me veio um pensamento. O que aconteceria se um dos 92 elementos naturais emitisse dois nêutrons, quando fosse atingido por um nêutron? Se colocarmos junto uma quantidade suficiente desse elemento, dever-se-ia estar em condição de manter uma reação em cadeia depois da qual poder-se-ia liberar energia. Naquela época, a minha área de atividade não era a física nuclear, mas estava fascinado com a possibilidade de tornar-me um físico nuclear. Inicialmente, pensei que poderia ser o berílio que teria condição de sustentar uma reação em cadeia, mas, durante o ano de 1933, as minhas tentativas nesse sentido falharam. Depois, pensei no índio, mas, também esse mostrou-se inadequado. Em 1935, decidi que, ao invés de levantar hipóteses sobre qual poderia ser esse elemento, seria mais inteligente comportar-me como um idiota e testar sistematicamente todos os elementos, visto que, no fundo, eram somente 92. Para esse experimento era necessário um pouco de eletrônica e eu não tinha fundos para comprá-la [...] [...] Muitas vezes me perguntei, depois, o que teria acontecido se tivesse podido levar avante o meu projeto. No espaço de alguns meses, ter-se-ia podido descobrir a fissão do urânio e a emissão de nêutrons que a acompanha. Mesmo se quiséssemos manter em segredo a descoberta, dentro de alguns meses ela seria de domínio público. Então, muito provavelmente, a bomba atômica teria sido desenvolvida na Alemanha, que, no máximo, ao redor de 1940, teria a bomba. (SZILÀRD, 1954, p. 73).

Deixando de lado possíveis e posteriores desenvolvimentos, já em setembro de 1933, Szilàrd tinha intuído o conceito de "reação em cadeia" e, em 12 de março de 1934, a patenteou[85]. A reação em cadeia (o termo *chain reaction* foi criado por ele) torna-se quase uma obsessão para Szilàrd e era urgente encontrar um laboratório para realizar as medidas com o berílio, que ele considerava um possível candidato a esse processo. Infelizmente, o ser humano solidário que tinha oferecido ajuda a centenas de refugiados, ajudando-os a encontrar trabalho, por

[85] Transmutation of chemical elements. 440 023. British Patent 1934.

mais de um ano não conseguiu encontrá-lo, para si mesmo. Dirigiu-se, pois, a Ernest Rutherford, a quem solicitou trabalho em seu laboratório de Cambridge, sem lhe explicar exatamente qual o seu propósito, mas Rutherford, que, quando queria, sabia ser muito rude, recusou-lhe ajuda, colocando-o literalmente para fora de seu escritório. No verão de 1934, Szilàrd pediu ao diretor do Departamento de Física do St. Bartholomew Hospital de Londres se poderia usar a fonte de rádio e os laboratórios durante as férias de verão. Obteve permissão, mas com a condição de que trabalhasse com alguém do *staff* do hospital. Essa pessoa foi Thomas A. Chalmers, com quem iniciou uma frutífera colaboração (SZILÀRD; CHALMERS, 1934a, 1934b, 1935), na qual, estamos certos, Szilàrd era o cérebro e Chalmers, o braço. Juntos publicaram um interessante trabalho sobre a produção de nêutrons através de berílio irradiado com raios γ (SZILÀRD; CHALMERS, 1934a, 1934b, 1935).

Em 1935, Szilàrd chegou a Oxford, onde F. A. Lindeman tinha lhe conseguido uma bolsa de estudos ICI (Imperial Chemical Industries), semelhante àquela que tinham obtido outros cientistas judeus provindos da Europa Central, como F. Simon, K. Mendelssohn, F. London e N. Kurti.

Lindeman queria criar, em Oxford, um laboratório multidisciplinar que não trabalhasse com um só tema (como a física nuclear nos laboratórios Cavendish, em Cambridge). Na época em que Szilàrd ali chegou, o Clarendon era um florescente laboratório de física das baixas temperaturas, mas Lindeman queria criar um polo de física nuclear, e Szilàrd pareceu-lhe a pessoa adequada para executá-lo.

Durante 2 anos, a partir de 1935, Szilàrd trabalhou com nêutrons térmicos e sua absorção na matéria, porém, sua natureza genial mas "confusa" impediu que fosse criado um verdadeiro laboratório de física nuclear, como Lindeman desejava. Szilàrd não tinha paz, alternando períodos de intenso trabalho com outros de total ociosidade, ficando ausente do laboratório. Além disso, não tolerava nem a rotina acadêmica nem qualquer relação hierárquica. No verão de 1937, voltou a preocupar-se com

a situação política, e a Inglaterra não mais lhe pareceu suficientemente segura. Então, pediu a Lindeman autorização para passar metade do ano nos Estados Unidos, e,a despeito da oposição de Lindeman, essa situação foi formalizada no início de 1938. A partir de 1938, depois da crise de Munique, Szilàrd, que já estava em New York, renunciou à bolsa de estudos para ficar definitivamente nos Estados Unidos.

Szilàrd não era uma pessoa de trato. Vejamos o que escreveu sobre ele Nicholas Kurti (1998), um outro húngaro de Budapeste, que estava naqueles anos em Oxford:

> [...] essencialmente independente, não era um homem fácil de se ter no laboratório: em 1938, o caridoso Simon lhe disse que ele tinha exaurido a paciência dos seus colegas de Oxford e do ICI. Em uma ocasião, Szilàrd precisava de dois barris cheios de parafina para as suas experiências sobre os nêutrons; solicitou 1 t de parafina que encheu não apenas os barris mas também muitos outros recipientes, que ali permaneceram por muito tempo depois de sua partida. E, também em outros casos, mostrou-se excessivo no abastecimento dos materiais. Era um leitor voraz de jornais, que, aliás, lhe eram úteis para aperfeiçoar o seu inglês, e, um dia, chegou ao laboratório dizendo que havia lido sobre três casos de cólera em Londres. Ninguém lhe deu atenção, mas, alguns dias depois, chegou dizendo que os casos já eram 20 e, alguns dias depois, que eram 200, com muitos mortos. A esse ponto, nós lhe perguntamos onde havia lido esta notícia. No *Times*, ele respondeu, ao que pedimos, "mostre-nos", que foi o que fez. Não tinha percebido que aquelas notícias estavam na seção *Times* datada de 100 anos atrás. (KURTI, 1998, p. 100).

Na bibliografia de Leo Szilàrd, existe um único trabalho realizado durante a sua permanência no Clarendon Laboratory (GRIFFITHS; SZILÀRD, 1937).

Faltava constância a Szilàrd, qualidade essencial na atividade experimental, e provavelmente ele também não escrevia com prazer os trabalhos científicos.

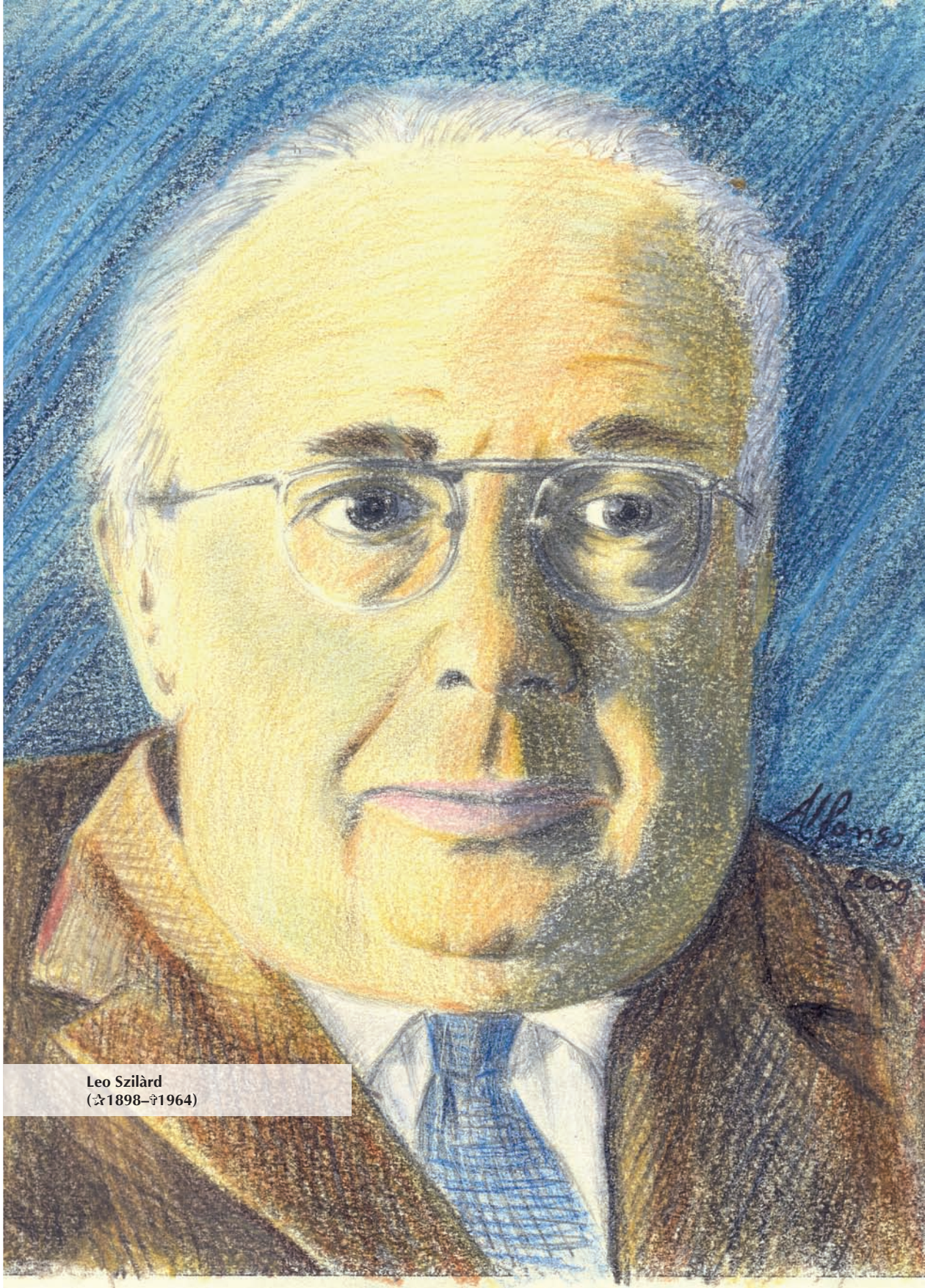
A vida de Szilàrd foi uma contínua vagabundagem, sempre fugindo das ditaduras ou de previsões de guerra. Também por isso, jamais teve uma residência estável, preferindo viver em quartos alugados ou em hotéis,

sempre com duas malas prontas para a fuga. Em relação aos hotéis, tinha uma teoria bem precisa: hospedava-se em hotéis muito bons, mas pedia o quarto mais econômico. Desse modo, desfrutava das boas estruturas dos grandes hotéis, sem pagar muito. Muitas vezes utilizava um canto do vestíbulo do hotel, que utilizava como uma salinha particular, onde trabalhava, recebia pessoas e às vezes até tinha uma secretária. Tudo isso não conciliava com uma vida familiar organizada. Por isso, durante toda a sua vida, teve uma só "amiga": Gertrude (Trude) Weiss, uma médica que trabalhava com saúde pública, que conheceu em Berlim, em 1930. Seu sobrinho John fala de um "long-distance romance". Terminaram por casar-se em 1951, mas jamais viveram juntos.

Szilàrd era completamente imprevisível, porém, como novamente observa seu sobrinho John, filho de seu irmão que também tinha se transferido para New York, em 1938, ele era previsível na sua imprevisibilidade; se era convidado para jantar, geralmente não aparecia, mas se não o fosse, aparecia inesperadamente. Qualquer que fosse o tempo ou a temperatura, usava um velho e amarrotado impermeável.

Assim, no final de 1938, encontramos Leo Szilàrd em New York, onde se hospedou no King's Crown Hotel (que, no início de 1939, também hospedará Fermi e sua família), e onde, à procura de trabalho (porém, jamais teve um permanente, e talvez nem o desejasse), começou a frequentar a Columbia University, onde, no início de 1939, também chegaria, fugindo da Itália, e depois de passar por Estocolmo para receber o Prêmio Nobel, um outro gênio da física: Enrico Fermi.

Quando, mais ou menos no fim de janeiro de 1939, chegou a New York a publicação de Hahn e Strassmann, na *Die Naturwissenschaften*, com a notícia da descoberta da fissão nuclear, e, pouco depois, levada por Niels Bohr, a explicação da interpretação física que tinham dado Otto R. Frisch e Lise Meitner, compreendendo a enorme liberação de energia por fissão, Fermi e Szilàrd eram, entre os cientistas, os mais capazes de interpretar corretamente o fenômeno e de intuir sua potencialidade



Leo Szilàrd
(☆1898–✞1964)

bélica. Fermi porque, desde 1934, tinha trabalhado com os nêutrons, descobrindo a radioatividade artificial induzida por nêutrons e a sua desaceleração em moderadores adequados; e Szilàrd porque, desde 1933, tinha intuído o possível processo de fissão e, desde então, tinha pensado longamente sobre ele, feito medidas e especulações.

A semana que se iniciou numa segunda-feira, 16 de janeiro de 1939, foi crucial quanto à difusão das notícias da fissão nos Estados Unidos: na segunda-feira à noite, Rosenfeld, sem que Bohr o soubesse, fez um breve relatório na costumeira reunião científica informal do Institute for Advanced Study de Princeton. Depois, a notícia propagou-se rapidamente. Leo Szilàrd tomou conhecimento dela quando foi se encontrar com um amigo conterrâneo, E. Wigner, que estava no Hospital de Princeton, acometido de icterícia. Em certo sentido, Szilàrd já tinha previsto esse fenômeno e, mentalmente, tinha antecipado suas consequências. Retornando a New York, escreveu uma carta, preocupada e previdente, ao seu influente amigo e financista Lewis L. Strauss, que depois viria a ocupar um importante papel na organização da energia nuclear nos Estados Unidos, tornando-se presidente da Atomic Energy Commission. Szilàrd, como sempre, antecipava os tempos, mas os outros não o compreendiam e frequentemente o hostilizavam. Esse é o destino que caracteriza, também no campo científico, aqueles que antecipam os fatos (pensemos em Einstein com a teoria da relatividade ou em Pauli com a hipótese do neutrino).

Ao contrário de Szilàrd, Fermi, que havia retornado da Conferência de Washington, na qual junto com Bohr tinha feito uma apresentação sobre o processo da fissão (ver capítulo 8), não se colocava o problema das consequências bélicas da fissão nuclear, mas, racional e prático que era[86], sabia o que deveria fazer e rapidamente: descobrir se, no processo

[86] Essa falta de imaginação de Fermi, ou seja, sua extrema concretude científica, não previa voos pindáricos, e isso o teria levado à não descoberta da fissão já em 1934. Quando Fermi irradiou o urânio com nêutrons, interpretou o resultado como a produção de elementos transurânicos, segundo esquemas já testados, e não deu nenhuma importância a um trabalho de Ida Noddack, segundo o qual ele poderia produzir fissão e não elementos transurânicos.

da fissão, eram liberados nêutrons e qual a quantidade. E Fermi imediatamente pôs-se a projetar e a realizar, com a sua equipe da Columbia, experiências que respondessem a essas questões.

Szilàrd, como se pode compreender pela carta a Lewis Strauss, tinha intuído todas as potencialidades e possibilidades da descoberta da fissão e ia muito além. Tinha intuído o resultado dessa descoberta e suas aplicações no âmbito bélico. Assim, rapidamente pôs-se a trabalhar para que as consequências fossem levadas ao conhecimento do governo dos Estados Unidos e para que fosse imposto segredo para as próximas descobertas nesse setor.

Fermi, sempre racional, considerava excessivas a preocupação de Szilàrd, criando-se, por esse motivo, uma primeira divergência de opinião entre os dois, à qual se seguiram outras, como veremos. Szilàrd não tinha participado da Conferência de Washington porque estava doente, com um resfriado contraído durante sua visita a Wigner, em Princeton, mas, tão logo se restabeleceu, precipitou-se à Columbia University para convencer Fermi e Rabi a manter secretas as próximas descobertas sobre a fissão, por causa também da situação internacional, que levaria certamente, segundo ele, a uma guerra. Fermi opôs-se firmemente, acreditando que Szilàrd dizia *nuts* (idiotices!).

Assim Fermi explicou sua posição a Rabi e Szilàrd (MALTESE, 2003):

> "[...] existe uma longínqua possibilidade de que na fissão do urânio sejam emitidos nêutrons e, portanto, que possa ser iniciada uma reação em cadeia." "A quanto remota?" – perguntou Rabi. "Mais ou menos a 10%" – respondeu Fermi. E Rabi: "10% não é uma possibilidade remota se significa que se pode morrer. Se eu tivesse uma pneumonia e o médico me dissesse que teria uma remota possibilidade de morrer e depois afirmasse que esta seria de cerca de 10%, eu ficaria perturbado". (MALTESE, 2003, p. 65).

Mas Fermi, como cientista "puro", não tinha se convencido da necessidade de manter as pesquisas em segredo. Então, em 2 de fevereiro de 1939, Szilàrd escreveu uma carta a Joliot-Curie, por saber que ele traba-

lhava em Paris com o mesmo assunto, solicitando-lhe manter segredo. Mas Joliot-Curie, assim como Fermi, achou extemporânea a iniciativa de Szilàrd. E, no final, nada se fez, e foram publicados os resultados que confirmavam a emissão de cerca de três nêutrons por fissão, obtidos por Joliot-Curie, e depois por Fermi.

A prudência de Fermi manifestou-se em muitas ocasiões, ao contrário, por exemplo, de Bohr que se tornava cada vez mais explícito sobre o potencial de destruição da fissão. Assim, o problema do segredo voltava a ser evocado, principalmente por Szilàrd e Wigner, que enviaram cartas de advertência a pesquisadores americanos, ingleses e franceses que trabalhavam com a fissão. Desta vez, a resposta foi favorável, exceto para Joliot-Curie. Mas somente no período que antecedeu aquele verão é que se chegou a um acordo para não mais tornar públicos os resultados das pesquisas, porém, o dano já estava feito.

As medidas sobre a fissão, que Fermi e Szilàrd, separadamente, tinham começado na Columbia University, logo após a notícia da descoberta da fissão por O. Hahn e F. Strassmann, levaram, em 3 de março de 1939, a "ver" os produtos da fissão e os nêutrons secundários (ANDERSON et al., 1939a, 1939b, HALBAN, et al., 1939b, 1939c).

"Naquela noite" – lembra Szilàrd– "havia pouquíssimas dúvidas sobre o fato de que o mundo estivesse caminhando para uma catástrofe" (MALTESE, 2003). Em 16 de março, informado por Szilàrd, Wigner, alarmadíssimo, precipitou-se de Princeton para a Columbia University, para discutir com Fermi, Szilàrd e Pegram as consequências das medidas efetuadas por Szilàrd. Então, Pegram organizou uma visita de Fermi a especialistas da Marinha, visita essa que aconteceu em Washington, no dia 17 de março.

No entanto, na Columbia University continuava-se a fazer as medidas, para verificar o número de nêutrons emitidos pelo urânio, sua absorção e, depois, em especial, se era somente o U^{235} a ser fissionado, segundo o que tinha sido previsto pelos cáculos de N. Bohr, em Princeton (BOHR,

1939[87]). E também para estudar o efeito dos moderadores, em particular da grafite, e caracterizar a intensidade dos nêutrons nas várias condições experimentais, empregando como reveladores soluções de manganês. Nessa fase, Szilàrd deu uma importante contribuição e, para melhor compreender a factibilidade de uma reação em cadeia, conseguiu obter 230 kg de U_3O_8 da Eldorado Radium Co., sociedade canadense. Essa foi a única experiência na qual Fermi e Szilàrd, em tudo tão diversos, conseguiram trabalhar juntos. A seguir, foram organizados dois grupos: um constituído por Fermi e Anderson, e outro por Szilàrd e Zinn. Segundo Bernard Feld, que trabalhou com ambos, "Fermi jamais dava um passo de A para B enquanto não soubesse tudo sobre A e tivesse razoável segurança sobre B. Szilàrd, ao contrário, passava diretamente de A para D, perguntando-se porque deveria perder tempo com B e C" (KURTI, 1998, p. 102).

Uma outra diferença estava na organização do trabalho experimental. Fermi o fazia com as próprias mãos, até mesmo aqueles mais simples, como o transporte de pesos, enquanto Szilàrd acreditava que gastava melhor seu tempo delegando a outrem os trabalhos simples. Um desses consistia na preparação da solução de manganês, que deveria ser refeita, recuperando o manganês depois de cada medida. Tratava-se de um trabalhão, o qual Fermi aceitava fazer com entusiasmo. Szilàrd, por sua vez, recrutou um ajudante para si, para que ele, Szilàrd, pudesse utilizar melhor o seu tempo, pensando. Fermi, quando foi comunicado sobre isso, ficou em silêncio, ignorando o que o outro dizia. A incompatibilidade entre eles se manifestava também na intolerância de Szilàrd à hierarquia, à atuação de Fermi como "chefe"; e, com efeito, Fermi era um líder nato.

No início do verão de 1939, as medidas sobre o urânio, feitas pelos grupos de Fermi e de Szilàrd, tinham sido completadas, mesmo não forne-

---

[87] Neste artigo, Bohr exprime, pela primeira vez, a opinião de que era o U235 o responsável pela fissão: "We have the possibility of attributing the effect concerned to a fission of the excited nucleus of mass 236 formed by the impact of the neutron on the rare isotope of mass 235" (BOHR, 1939, p. 428).

cendo informações conclusivas. Entrementes, o contrato de 3 meses de Szilàrd com a Columbia University tinha terminado, e a ele não sobrou mais nada a fazer senão pensar, coisa que fazia muito bem. Em 3 de julho, escreveu a Fermi propondo a grafite para a desaceleração dos nêutrons, em vez do hidrogênio. Portanto, propôs uma experiência urânio-grafite e, desta vez, Fermi concordou com ele. Além disso, fazia cáculos sobre esse sistema. Wigner ficava impressionado com sua capacidade.

Ainda no verão de 1939, enquanto Fermi frequentava o curso de verão de Ann Arbor, Szilàrd cuidou da dissertação do trabalho experimental feito com Fermi e de um outro trabalho, que tinha sido feito preponderantemente por Zinn. Em 17 de julho, o trabalho com Fermi foi expedido para a *Physical Review* (SZILÀRD; ZINN, 1939a, 1939b). A seguir, foi enviado também o outro trabalho (ZINN; SZILÀRD, 1939). Como se vê, nessa fase, Szilàrd trabalhou e publicou muito.

E também em estudos desenvolvidos por outros cientistas, em particular por Bohr, a situação era clara: do urânio apenas o isótopo U^{235} era sujeito à fissão, presente em uma concentração de sete por mil no urânio natural. Além disso, a fissão acontecia com nêutrons térmicos. Portanto, era necessário, para incrementar o processo de fissão, desacelerar os nêutrons. Como fazer isso da melhor maneira foi a principal preocupação de Fermi e de Szilàrd. Enquanto Szilàrd passava o tempo todo pensando, já que havia esgotado os 3 meses de bolsa de estudos na Columbia University, Fermi inventava a desaceleração dos nêutrons com parafina, em 1934, em Roma.[88]

---

[88] A sequência dos trabalhos sobre a emissão de nêutrons na fissão é a seguinte:

M. Dodé, H. von Halban jun., F. Joliot, L. Kowarski: Liberation of neutrons in the nuclear explosion of uranium (DODÉ, 1939); H. von Halban jun., F. Joliot, L. Kowarski: Liberation of neutrons in the nuclear explosion of uranium (HALBAN et al., 1939b); H. von Halban jun., F. Joliot, L. Kowarski Number of neutrons liberated in the nuclear fission (HALBAN et al., 1939c); H. von Halban jun., F. Joliot, L. Kowarski: Energy of neutrons liberated in the nuclear fission of uramium induced by thermal neutrons (HALBAN et al., 1939a). H. L. Anderson, E. Fermi and L. Szilàrd: Neutron production and absorption in uranium (ANDERSON et al., 1939b).

Para desacelerar os nêutrons, são necessários os elementos químicos os mais leves possíveis, e que sejam fáceis de encontrar e que não absorvam nêutrons, mas apenas os desacelerem. A água não servia, porque o hidrogênio absorvia muitos nêutrons. Pensou-se na água pesada, na qual o átomo de hidrogênio é substituído pelo de deutério, mas esta não é fácil de ser encontrada. Os próximos elementos são: o hélio que, porém, é encontrado apenas na forma gasosa; o lítio, que é um grande absorvedor de nêutrons; o berílio, que é raro e também tóxico; o boro, também este um absorvedor de nêutrons; e, enfim, o carbono, que, como já foi dito, de modo natural, prendeu a atenção de Fermi e Szilàrd, assim como de Heisenberg, na Alemanha. O carbono é fácil de ser encontrado e, em forma de grafite, é adequado ao objetivo. Porém, deve ser muito bem purificado, para evitar traços de elementos absorvedores, como o boro, que sempre está presente nele.

Szilàrd passava o verão em New York, fazendo os cálculos sobre um sistema urânio-grafite, ajudado pelo seu compatriota Wigner. Os dois, fugidos da Europa nazista, começaram a preocupar-se com o que estaria acontecendo na Alemanha, onde não faltavam bons cérebros, e, principalmente, o que aconteceria caso a Alemanha nazista se apossasse da enorme quantidade de urânio que os belgas extraíam no Congo.

Szilàrd recorreu, então, a Einstein, que tinha um bom relacionamento com a rainha da Bélgica, instando que ele escrevesse uma carta a ela, explicando a situação. Szilàrd e Wigner foram várias vezes ao encontro de Einstein que, na época, estava em férias na praia, em Long Island.

Szilàrd and W. H. Zinn: Instantaneous emission of fast neutrons in the interaction of slow neutrons with uranium (SZILÀRD; ZINN, 1939a).

E. J. Booth, J. R. Dunning, F. G. Slack: Delayed neutron emission from uranium (BOOTH et al., 1939).

J. L. Michiels, G. Parry, G. P. Thomson: Production of neutrons by the fission of uranium (MICHIELS et al., 1939).

J. Rotblat: Emission of neutrons accompanying the fission of uranium nuclei (ROTBLAT, 1939).

G. von Droste, H. Reddemann: Über die beim Zerspalten des Urankerns autretenden Neutronen (DROSTE; REDDEMANN, 1939).

Após idas e vindas, Einstein preferiu, em vez da carta à rainha, uma aproximação indireta, na forma de uma carta ao embaixador da Bélgica. Decidiram também que escreveriam uma carta ao presidente Roosevelt, na qual explicariam que após a fissão nuclear poder-se-ia construir armas com uma potência inimaginável.

Szilàrd, de fato, foi quem escreveu a carta, após consultas a Wigner e a Teller. No início, Einstein a considerou excessivamente longa e ditou-lhe uma versão resumida em alemão, que Szilàrd traduziu para o inglês. Durante dias, Szilàrd continuou a trabalhar na carta e, por fim, surgiram duas versões, uma longa e outra curta. Em 2 de agosto de 1939, Einstein assinou as duas, porém, demonstrando sua preferência pela versão mais longa que, afinal, foi a definitiva. Assim, a carta foi dada a Alexander Sachs, amigo e consultor político de Roosevelt, para ser-lhe entregue, em mão. Mas, em 1º de setembro de 1939, os exércitos nazistas invadiram a Polônia e apenas em 11 de outubro Sachs foi recebido por Roosevelt e entregou-lhe a carta assinada por Einstein.

A carta de Einstein não suscitou grande impressão. Como sempre acontece quando não se quer fazer nada, Roosevelt nomeou um Comitê Consultivo para o Urânio, presidido por L. J. Briggs, diretor do National Bureau of Standards, e composto, além de dois militares e A. Sachs, por Szilàrd, Wigner, Teller e Merle Tuve, da Carnegie Institution. Foi acordada uma primeira reunião para o dia 21 de outubro, quando foram destinados 6.000 dólares para os experimentos de Fermi sobre a grafite. Em geral, a Comissão Briggs fez coisas modestas, mesmo porque os Estados Unidos não estavam ainda em guerra e, portanto, a comissão não estava pronta para desenvolvimentos científicos de grande monta.

É interessante observar que Einstein, tomando gosto pela coisa, escreveu mais três cartas ao presidente Roosevelt: uma, em 7 de março de 1940, na qual fala do desenvolvimento das pesquisas nucleares na Alemanha (cita, explicitamente, C. F. von Weizsäcker, filho do secretário de Estado,

como o artífice delas; cita também os experimentos de Joliot na França e o desenvolvimento das pesquisas nos Estados Unidos); outra, em 25 de abril de 1940, e, finalmente, mais uma, em 25 de março de 1945, na qual, em resumo, "lhe apresenta" Szilàrd e suas dúvidas e considerações sobre o uso da bomba atômica, já construída. Esta última carta jamais chegou às mãos de Roosevelt, que morreu repentinamente, em 12 de abril de 1945. Estas últimas cartas e, em especial a última, foram escritas, em grande parte, por Szilàrd.

De qualquer forma, graças aos 6.000 dólares e aos esforços de Fermi e de Szilàrd, começaram a chegar à Columbia University grandes quantidades de grafite e retomaram-se as pesquisas sobre as reações em cadeia. Fermi completou a teoria da evolução dos nêutrons e, finalmente, foi medida a probabilidade de captura dos nêutrons térmicos pela grafite, que se mostrou extremamente baixa, confirmando que a grafite poderia ser usada como moderadora.

Na produção da grafite pura, Szilàrd teve um dos seus típicos ataques de genialidade, ao intuir, não se sabe como, que poderiam ser perigosas as impurezas de boro, um grande absorvedor de nêutrons. Convenceu, então, os produtores (a National Carbon Company) a fornecer a grafite sem o boro.

Quando foi medida a probabilidade de captura dos nêutrons térmicos pela grafite, apresentou-se novamente o problema do segredo. Fermi queria publicar os resultados, mas Szilàrd mais uma vez se opôs. Parece que, nesse momento, Fermi perdeu mesmo a calma, atitude que não lhe era completamente estranha, e, entre eles, o encontro foi extremamente áspero. Szilàrd escreveu, então, em 7 de abril de 1940, um memorial a Pegram e Fermi, no qual expunha explicitamente o problema do segredo. Pegram conseguiu convencer Fermi da necessidade de manter segredo. Essa divergência gerou um rompimento entre Fermi e Szilàrd e, por conta disso, decidiu-se que, daquele momento em diante, Fermi

se dedicaria à parte experimental, enquanto Szilàrd forneceria as ideias e providenciaria o abastecimento dos materiais, campo no qual tinha se revelado de grande valia.

Enquanto a Comissão Brigs continuava a reunir-se, embora esporádica e exaustivamente, e sem resultados apreciáveis, a guerra na Europa se precipitava e, em 10 de junho de 1940, as tropas alemãs entravam triunfalmente em Paris. Com a previsão de uma guerra iminente, Roosevelt criou o National Defense Research Committee (NDRC), sob a direção do enérgico Vannevar Bush. Em pouco tempo, esse comitê absorveu a Comissão Briggs.

Nesse ponto, é interessante observar um episódio paradoxal, que diz respeito a um relatório secreto do Exército dos Estados Unidos, surgido no verão de 1940, segundo o qual Fermi era definido como "certamente fascista", e Szilàrd, que fora obrigado a fugir da Alemanha nazista, como simpatizante do nazismo[89].

O relatório chegou ao diretor do FBI, que mandou fazer uma investigação e interrogou Albert Einstein a esse respeito. Trancrevemos uma parte do interrogatório de Einstein, como registrado pelo FBI e transcrito por Gene Dannen:

---

[89] É interessante observar que, em recente livro sobre as memórias do ex-espião soviético Pavel Sudoplatov, recolhidas pelo seu filho e por dois jornalistas americanos (SUDOPLATOV et al., 1992), são acusados de fazer parte de uma rede de informantes americanos para a URSS (consciente ou inconscientemente): Fermi, Bohr, Szilàrd e Oppenheimer, além de Pontecorvo, espião soviético na Grã-Bretanha. As acusações contra os três primeiros parecem absurdas: Fermi, certamente, era anticomunista e grato à América por tê-lo acolhido; parece improvável que tenha passado informações ao amigo Pontecorvo, dada a sua conhecida reserva e seriedade; Bohr, acusado por outros de ser um espião inglês, simplesmente era favorável a uma "repartição" das armas nucleares, enquanto Szilàrd, como visto, acusado de ser filonazista, era um sincero democrata e pacifista. Oppenheimer certamente tinha sido um filocomunista, pelo menos por um certo período, e tinha sido contatado por espiões soviéticos, mas também era um patriota. Depois da guerra, sofreu um processo durante o chamado "macartismo", mas, no final, foi considerado inocente. Pontecorvo, que fugiu para a União Soviética em 1950, parece que um pouco tempo antes de ser preso, foi reconhecidamente um espião soviético, mesmo que o tenha sido por motivos puramente ideológicos. O certo é que os soviéticos obtiveram todos os projetos da bomba atômica, e isso permitiu que eles a fizessem com pelo menos dois anos de antecipação.

> O professor Albert Einstein foi contatado na sua casa, à Mercer Street, 112, em Princeton. Declara ter conhecido Szilàrd desde 1920, que acreditava ter ele um pouco mais de 30 anos (sic! Na realidade, tinha 41), que tinha nascido na Hungria, de pais judeus, e de conhecê-lo somente sob o aspecto científico [...] [...] declara que Szilàrd foi assistente de von Laue em Berlim e que ele era a única pessoa que tinha se comportado de modo admirável depois do advento de Hitler. Não acredita que Szilàrd tenha obtido a cidadania alemã, embora não esteja certo disso [...] [...] declara que Szilàrd trabalha atualmente na Columbia University com um italiano de nome Fermi, que é uma pessoa totalmente confiável. Declara ter visto Szilàrd pela última vez cerca de uma semana antes, juntamente com o professor Wigner. Einstein declara ainda que Szilàrd é uma pessoa muito idealista, que não é ligado a nenhuma organização política. Ele é um homem honesto, confiável e totalmente recomendável. Ele assumiria pessoalmente todas as responsabilidades ao testemunhar a seu favor. Szilàrd é um democrata e antinazista. Einstein conclui afirmando que John von Neumann e Eugene Wigner poderiam dar, de qualquer forma, informações posteriores sobre Szilàrd. (FBI INTERVIEW..., 1940).

Por fim, as dúvidas do FBI sobre Szilàrd foram resolvidas e Szilàrd foi deixado em paz. Quanto à história da bomba atômica (não aquela pessoal, entre Fermi e Szilàrd), tinha tomado uma outra direção.

O NDRC criou um "Uranium Committee" que, em agosto de 1941, foi organizado em quatro subseções: uma teórica, cujo chefe era Fermi e os demais membros eram G. Breit, C. H. Eckart, H. D. Smyth, L. Szilàrd e J. A. Wheeler; uma para a produção de energia, cujo chefe era G. Pegran e que tinha Fermi como membro; e outras duas dedicadas à produção de água pesada e à separação dos isótopos de urânio.

Os primeiros "experimentos exponenciais" (aumento do número de nêutrons em uma estrutura constituída por urânio e grafite de dimensões crescentes) do fim de 1941 foram, também, os últimos trabalhos de Fermi e Szilàrd na Columbia University. No domingo, 7 de dezembro de 1941, foi o dia do ataque japonês a Pearl Harbour e, poucas semanas depois, decidiu-se transferir o projeto da reação em cadeia para Chicago e dar-lhe um posterior impulso. Todo o projeto foi chamado de Projeto Manhattan e foi colocado sob a direção militar do general

Groves, homem enérgico e notável organizador. Em Chicago, o trabalho desenvolveu-se sob a direção de Arthur H. Compton, no Metallurgical Laboratory.

Fermi aceitou, embora aborrecido, transferir-se para Chicago (aliás, não tinha alternativa). E também Szilàrd, igualmente de má vontade. Assim, de fevereiro de 1942 a julho de 1946, Szilàrd trabalhou no Metellurgical Laboratory como "chief physicist". Nessa fase, Szilàrd foi, aos poucos, sendo colocado de lado, atitude que motivou violentos desentendimentos entre ele e o general Groves. Este, desde o começo, tinha desenvolvido uma total antipatia e desconfiança por Szilàrd, pessoa, como já se falou, de difícil convivência. Por seu turno, Szilàrd combinava bastante bem com A. Compton, que lhe permitiu continuar a trabalhar no Metallurgical Laboratory de Chicago. Além disso, desentendia-se com Fermi quanto ao desenvolvimento da atividade experimental.

Por ocasião da construção, da estrutura do primeiro reator atômico, constituído por blocos de grafite e urânio, Fermi, segundo seu costume de trabalho, queria que todos, inclusive Szilàrd, contribuíssem para transportar os pesados blocos de grafite. Szilàrd, como de costume, delegou essa tarefa a um jovem estudante, porque pensava que suas grandes capacidades deveriam ser desfrutadas de modo diverso. Isso tirou Fermi do sério, pois estava habituado a arregaçar as mangas em qualquer circunstância[90].

O restante da história da construção do primeiro reator nuclear é bastante conhecido: em 2 de dezembro de 1942, o reator chegou à reação nuclear sustentada, chamada crítica.

Mas Szilàrd, que, como se sabe, foi quem mais lutou para que os Estados Unidos construíssem a bomba atômica em primeiro lugar, foi também o

---

[90] Uma referência indireta a Szilàrd é feita pelo próprio Fermi (1955). Em uma conferência de convivência, baseada em recordações, ocorrida em 30.1.1954 na Columbia University, Fermi repercorre o caminho das pesquisas que levaram à construção do primeiro reator nuclear. Nessa conferência, Fermi revela outra de suas características: um notável senso de humor.

primeiro a opor-se ao seu emprego, depois de saber que a Alemanha jamais seria capaz de produzi-la. Na primavera de 1945, influenciou um grupo de cientistas a produzir o assim chamado *Relatório Franck* (inspirado no nome de James Franck, físico alemão de Göttingen, Prêmio Nobel de Física, e também ele obrigado a fugir da Alemanha em 1933, para chegar à Universidade de Chicago). Esse denso relatório (é constituído por 16 páginas) é claramente inspirado por Szilàrd e foi redigido pelo Commitee on political and social problems, constituído por James Franck (presidente), D. J. Hughes, J. J. Nickson, E. Rabinowitch, G. Seaborg, J. C. Stearns e L. Szilàrd. O relatório denunciava os perigos da competição mundial para a produção de armas nucleares e propunha que se fizesse a demonstração da bomba atômica em vez de testá-la no Japão.

Em 28 de maio de 1945, Szilàrd encontrou-se com aquele que seria o secretário de Estado do presidente Truman: James Byrnes. O trecho seguinte da conversação dá ideia dos dois diferentes pontos de vista:

> Szilàrd: Se os Estados Unidos usarem a bomba contra o Japão, começará a disputa entre a América e a Rússia e isto poderia terminar com a destruição destes dois Estados.
>
> Byrnes: O general Groves informou-me que a Rússia não possui urânio e, assim, não pode construir a bomba atômica[91].
>
> Szilàrd: A Rússia tem disponibilidade do urânio da Checoslováquia e, provavelmente, o possui também no próprio país. O governo deveria adiar os testes sobre a bomba até que tenha desenvolvido uma séria política a este respeito.
>
> Byrnes: O governo gastou 2 bilhões de dólares para a construção da bomba. Como convencer o Congresso a investir dinheiro para a pesquisa no setor da energia atômica se não são mostrados os resultados do dinheiro já gasto? (KURTI, 1998, p. 377).

---

[91] Nota nossa. Essa afirmação em breve se revelaria completamente errada, enquanto eram justas e razoáveis as hipóteses de Szilàrd. A contraespionagem (se fosse hoje, seria "a inteligência) americana não faz um bom papel, seja quando suspeita de Fermi e de Bohr como espiões, seja quando declara, em época recente, ter provas concretas de que o Iraque de Sadam Hussein possui armas de extermínio em massa e certamente bombas nucleares.

Como se pode ver, tratou-se de um diálogo entre surdos. Em julho de 1945, Szilàrd encaminhou uma petição urgente a Truman pedindo que não usasse a bomba atômica sobre o Japão. Uma versão revisada da petição foi assinada por 68 cientistas do Metallurgical Laboratory e dos laboratórios de Oak Ridge. Enviou uma cópia ao conterrâneo Edward Teller, em Los Alamos, para que fosse assinada também ali; porém, Teller a entregou a Oppenheimer, que impediu que ela circulasse. Depois, o próprio Teller respondeu para Szilàrd dizendo que, segundo ele, os cientistas não têm nenhuma responsabilidade pelo uso que os outros fazem das suas descobertas. Essa petição encontrou fortíssima oposição do general Groves e jamais chegou ao presidente Truman.

Como tínhamos dito anteriormente, o general Groves não suportava Szilàrd, dada a impaciência deste último com as autoridades, fato inconcebível para um militar. Além disso, em 1945, Grove começou a suspeitar dele por comportar-se com leviandade e por transmitir informações. Em julho de 1945, escreveu uma carta a Lindemann, que tinha hospedado Szilàrd em Oxford, pedindo-lhe informações sobre o encontro que ele, Lindemann, tinha tido com Szilàrd em Washington, em 1943. Nessa carta escreveu, entre outras coisas, que não considerava Szilàrd competente para a segurança do projeto. Lindemann respondeu a Groves em 12 de julho, afirmando que, no encontro de Washington, Szilàrd tinha falado essencialmente sobre as nefastas consequências das armas nucleares, e que, quando ele lhe tinha solicitado para falar sobre alguns desenvolvimentos das pesquisas que tinha começado em Oxford, Szilàrd lhe disse que não poderia dizer-lhe nada, por obrigação firmada com o governo dos Estados Unidos.

Não sabemos se o general Groves se convenceu da honestidade de Szilàrd. Provavelmente não, conforme mostra uma entrevista dada pelo general muito depois do fim da guerra.

De fato, nessa entrevista, Groves afirmou que Szilàrd era um grande idiota e que, desde o início do Projeto Manhattan, o considerava uma

ameaça, e, ainda, que atribuía o comportamento de Szilàrd ao fato de ele ser um judeu mercenário. Essas palavras, excessivamente duras, somadas à antipatia pessoal, reforçavam a divergência entre eles, que se sustentava também na compartimentalização do projeto, imposta por Groves a todos, para reduzir os perigos de fuga de informações, e que Szilàrd, como cientista "puro", combatia de todos os modos.

Em 6 e 9 de agosto de 1945, foram lançadas, sobre Hiroshima e Nagasaki, duas bombas atômicas: a primeira de U^{235}, e a segunda de plutônio. Szilàrd sustentou que se tinha cometido "a maior brutalidade da história". Em Los Alamos, onde tinha sido desenvolvida a última parte das pesquisas que levaram à construção da bomba atômica, todos os cientistas envolvidos tinham sido transferidos, inclusive Fermi com o seu grupo, Oppenheimer, Segrè, Teller, Bethe, Bohr (quando estava nos Estados Unidos) e muitos outros. Otto Frisch lembra-se de que a reação, naquele momento, foi variada. Para alguns era motivo de festa, mas, para ele, a sensação ante o fato era de mal-estar, de náusea, principalmente em relação à atitude daqueles amigos que, no Hotel La Fondo, em Santa Fé, comemoravam a bomba.

Logo depois da guerra, Szilàrd trabalhou para combater a proposta de lei May-Johnson, que propunha colocar a energia nuclear nas mãos dos militares.

Depois da rendição do Japão e do fim da guerra, os cientistas retornaram aos seus laboratórios e às suas universidades, a maior parte deles proveniente de Los Alamos, onde as bombas tinham sido projetadas e construídas. Um grupo muito numeroso, que incluía Fermi, Teller, Urey e Libby, com seus jovens colaboradores, foram instalados no novo Instituto de Estudos Nucleares construído em Chicago. No momento da constituição do novo instituto, Fermi declarou que não desejaria ter Szilàrd como colaborador. Portanto, ele deveria procurar um novo trabalho; mas isso, para ele, que já tinha vagado pelo mundo, não

constituía um problema. Já que era assim, simplesmente mudou de setor, passando da física nuclear para a biologia, disciplina para a qual deu contribuições relevantes (FOX; SZILÀRD, 1955; NOVICK; SZILÀRD, 1949, 1950, 1952, 1959; SZILÀRD, 1959, 1960, 1969).

As motivações dessa mudança de Leo Szilàrd, da física nuclear para a biologia, foram bastante discutidas e, certamente, não se exauriram com o fato de que ele não estivesse agradecido a Fermi ou ao general Groves. De fato, já em 1933, quando emigrou da Alemanha para a Grã-Bretanha, Szilàrd já manifestara interesse por trabalhar com biologia, mas foi impedido por conta da sua intuição sobre a reação em cadeia, que o ocupou pelos 14 anos seguintes. Além disso, a evolução da física para a biologia foi comum para muitos cientistas. Quando se reconstrói a história da descoberta da estrutura do DNA por Watson e Crick, fica evidente que os homens que mais contribuíram para criar o "ambiente" para essa descoberta foram E. Schrödinger, L. Szilàrd, M. Delbrück e S. Luria. Desses, somente o último era biólogo, o outros eram físicos, e todos provinham da Europa Central.

Além disso, é útil revelar que durante toda a sua vida, Szilàrd escreveu cerca de 29 publicações científicas. Portanto, não foi muito profícuo; dessas, 15 são relativas à física e 14 à biologia.

Como já foi dito, em 1º. de junho de 1946, ele deixou o Metallurgical Laboratory e tornou-se professor de biofísica, em tempo parcial, no Instituto de Radiobiologia e Biofísica da Universidade de Chicago.

Ao mesmo tempo, trabalhou também na Divisão Universitária de Ciências Sociais, como conselheiro para os aspectos sociais da energia atômica. Nesse papel, contribuiu para a publicação do *Bulletin of the Atomic Scientists*, no qual publicou uma carta-aberta para Stalin, que suscitou notáveis polêmicas.

É interessante ver como é descrita essa nova aventura no campo da biologia por um seu colaborador da época, Aaron Novick:



Enrico Fermi
(☆1901–✞1954)

> [...] encontrei Leo pela primeira vez em Chicago, durante o Projeto Manhattan. Eu apenas tinha acabado de me formar em química e entrei para fazer parte do projeto em 1943. Leo já era uma lenda [...] [...] na primavera de 1947, estávamos caminhando juntos no campus de Chicago, para irmos ao encontro dos cientistas atômicos de Chicago. De repente, Leo perguntou-me se queria unir-me a ele para uma aventura na biologia, e, na verdade, mostrando-me também os riscos dessa aventura. Aceitei imediatamente. Para começar a aprender as novidades da biologia, sugeri que participássemos do curso de verão sobre bactérias, ministrado por Max Delbrück em Long Island. Assim o fizemos. Começamos as pesquisas partindo de baixo, porque o nosso laboratório era subterrâneo, em uma sinagoga judia, que, depois, passou para a Universidade de Chicago. Todos os dias, Leo entrava no laboratório sempre com a mesma pergunta: "alguma ideia nova hoje?" Na realidade, era ele mesmo que todos os dias chegava com alguma ideia nova, e destas ele era extremamente generoso. Lembro-me que um dia passeávamos no centro de Chicago, quando um homem aproximou-se de Szilàrd, apertou-lhe fortemente a mão e disse-lhe: "Quero agradecer-lhe muitíssimo pela sua ideia; coloquei-a em prática e funcionou muito bem. Sou-lhe imensamente grato!". Quando foi embora, perguntei a Leo quem era aquele homem e ele me respondeu: "Não tenho a mínima ideia". A fama de Leo como teórico puro não deve dar a errônea impressão de que ele não soubesse estar em um laboratório; com efeito, ele ficava fortemente envolvido com os experimentos, pipetando soluções e preparando culturas [...] [...] A sua capacidade de concentração era impressionante. Ele era a única pessoa que eu tinha conhecido que conseguia pensar de modo consistente por um tempo bem longo. (NOVICK, DANNEN, 1998, p. 163).

No início dos anos 1950, orientou a oposição à construção da bomba H, que, ao contrário, era fortemente desejada pelo seu conterrâneo Edward Teller.

De 1953 a 1954, foi professor visitante na Universidade de Brandeis, e, em 1956, tornou-se professor de biofísica no novo Instituto "Enrico Fermi" para Estudos Nucleares, sempre em Chicago (Fermi tinha falecido em 1954).

A partir do fim da II Guerra Mundial, a preocupação mais constante de Leo Szilàrd foi a contínua procura pela paz. O controle dos armamentos nucleares tornou-se uma ideia fixa para ele. Jamais deixou de viajar, nos Estados Unidos e no exterior, como sempre irrequieto e desejoso do novo.

Em 1956, foi um dos promotores da primeira Pugwash Conference, que tinha o objetivo de reunir eminentes cientistas do Oeste e do Leste, para discutirem problemas ligados à paz e à segurança no mundo. Em 1957, participou da primeira conferência, que aconteceu exatamente em Pugwash, na Nova Escócia.

Em 1959, enquanto estava em Estocolmo, descobriu que tinha um câncer na bexiga. George Klein, também ele de Budapeste – que havia escapado milagrosamente do holocausto na Hungria, fugindo do trem que o teria levado a Auschwitz, e tendo chegado depois ao Karolinska Institute de Estocolmo –, o conheceu bem naqueles anos e assim contou essa história, típica da natureza de Szilàrd (KLEIN, 1998). Indo ao banheiro logo depois de Szilàrd, Klein notou traços de sangue. Decidiu perguntar a Szliàrd se ele tinha notado o sangue:

> "Sim, está acontecendo há cerca de seis meses".
>
> "Mas você foi ao médico?"
>
> "Não, não confio nos médicos americanos, só querem ganhar dinheiro e operar. Eu não posso, tenho coisas mais importantes para fazer, a Conferência Pugwash, e, talvez depois, um encontro com Kruschev".
>
> "Sim, mas deve fazer uma consulta! Quer consultar-se com um médico sueco?"
>
> "OK, tudo bem, mas você conhece algum urologista inteligente?" (KLEIN, 1998, p. 169).

G. Klein marcou uma consulta com um amigo urologista, que sentenciou que, sem sombra de dúvida, Szilàrd tinha um grande câncer na bexiga, e que deveria ser operado o mais rápido possível. Sem um mínimo de perturbação, Szilàrd partiu para New York no dia seguinte. Uma semana depois, Szilàrd enviou um telegrama a Klein, pedindo-lhe que marcasse a cirurgia com o seu amigo urologista. Mas, depois de alguns contratempos, decidiu não fazer nada e permaneceu em New York. Em vez de internar-se e operar, foi a uma biblioteca e durante muitos dias

estudou tudo o que podia sobre o câncer de bexiga. Pediu a M. Goldhaber e a L. Hamilton, do Brookhaven National Laboratory, para ajudá-lo a fazer as contas, e, enfim, decidiu fazer uma radioterapia, mas, sob sua indicação, em vez de receber 20 grays de raios X, decidiu receber 60, e conseguiu convencer os radioterapeutas do Sloan Kettering Memorial Hospital. Szilàrd acomodou-se no último andar do hospital e de lá dominou totalmente a situação. A terapia de qualquer forma funcionou, e o tumor foi completamente queimado, assim como sua bexiga.

A seguir, transformou o seu quarto de enfermo no lobby de um hotel, com duas secretárias a seu serviço, uma pronta para bater à máquina e a outra para registrar tudo o que fosse solicitado por Leo. Em 1960, durante a sua permanência no hospital, conseguiu ainda organizar uma visita a Kruschev, que deveria falar às Nações Unidas. Pensou em dar a Kruschev um pequeno presente e, enfim, comprou-lhe uma barbeador com várias lâminas para troca, quando soube que esses aparelhos não eram facilmente encontrados na União Soviética. Parece que Kruschev alegrou-se como uma criança com o presente. Szilàrd disse-lhe que forneceria sistematicamente as lâminas de troca, enquanto fosse mantida a paz. "Caso contrário, disse então Kruschev, deixarei de me barbear; mas isto sucederá a muitos outros homens." Os dois homens discutiram sobre como reduzir a tensão EUA-URSS, e Szilàrd propôs a criação de uma linha telefônica direta Washington-Moscou, que seria colocada em prática logo depois. (KLEIN, 1998, p. 169).

Depois dessa experiência no hospital, Szilàrd viveu vários anos em plena atividade, sem problemas de saúde. Terminou sua fábula política *A voz dos golfinhos* e continuou a disseminar ideias científicas. Em 1960, recebeu, da National Academy of Sciences, o Prêmio "Átomos para a Paz".

Durante a crise de Cuba, temeu pelo pior, isto é, pela explosão da III Guerra Mundial, e voou para a Suíça, onde, numa manhã, dirigiu-se, impulsivamente, como sempre, ao diretor do CERN em Genebra,

V. Weisskopf. Sofreu grandes gozações por essa fuga, porém, anos depois, foi verificado que, por ocasião da crise de Cuba, efetivamente, estava-se muito próximo de uma nova guerra.

Quando o médico Jonas Salk lhe disse haver recebido uma grande quantidade de financiamento para resolver o problema da paralisia infantil por meio da vacinação, Szilàrd o aconselhou a criar uma nova instituição para pesquisas biológicas. Assim, o Instituto Salk foi fortemente inspirado por Szilàrd e ali ele trabalhou nos dois últimos anos de sua vida. O instituto era localizado em um dos mais belos locais dos Estados Unidos, com vista para o mar, mas posicionado no alto: em La Jolla, uma "joia" da Califórnia. A estrutura da nova construção foi realizada de modo a favorecer a interação entre os cientistas e seus colegas humanistas. Szilàrd morreu em La Jolla, em 30 de maio de 1964, de um ataque do coração.

A autópsia, solicitada pela sua mulher, mostrou que sua bexiga não apresentava células cancerosas.

Creio que se possa terminar esta breve biografia científica de Leo Szilàrd com a seguinte afirmação, na verdade feita por muitas pessoas que o conheceram e por muitos dos seus colaboradores: Leo Szilàrd foi, provavelmente, o maior "gênio científico em estado puro" do século 20, século que, aliás, viu muitos gênios. Todavia, por um lado, a sua generosidade em distribuir ideias e, portanto, também a sua ingenuidade, e, por outro, sua notável indisciplina no trabalho e, ainda, sua simplicidade, sua falta de hipocrisia e seu senso de liberdade, que muitas vezes o tornaram mal visto nos ambientes onde trabalhou, impediram-no de obter os resultados que poderia e merecia ter obtido.

Provavelmente, Szilàrd foi também o cientista mais eclético do século 20. De fato, durante toda a sua vida, dedicou-se a um grande número de atividades diferentes: foi físico da termodinâmica e dos raios X em Berlim, depois inventor de geladeiras e aceleradores nessa

mesma cidade, depois físico nuclear na Inglaterra e nos Estados Unidos. Ali foi, em seguida, cientista-político, depois biólogo. E sempre pacifista. Sempre foi um homem curioso, intolerante à disciplina e à autoridade, um homem livre.

Hans Bethe, outro fugitivo da Alemanha e Prêmio Nobel de Física, fez um julgamento muito acurado:

> Leo Szilàrd foi uma personalidade muito complexa. Foi uma das pessoas mais inteligentes que eu conheci. Seu cérebro trabalhava rapidamente e de um modo profundo, e tinha a habilidade de chegar às ideias que a maioria de nós só tinha condição de avaliar após muitas horas de discussão. Essa era a sua força e também a sua fraqueza. Ele estava sempre adiantado em relação aos tempos. (TELEGDI, 2000, p. 26).

Referências

ANDERSON, H. L.; FERMI, E.; HANSTEIN, H. B. Production of Neutrons in Uranium Bombarded. **Physical Review**, College Park, v. 55, p. 797-798, 1939a.

ANDERSON, H. L.; FERMI, E.; SZILÀRD, L. Neutron production and absorption in uranium. **Physical Review**, College Park, v. 56, p. 284-286, 1939b.

BOHR, N. Resonance in uranium and thorium disintegration and the phenomenon of nuclear fission. **Physical Review**, College Park, v. 55, p. 418, 1939.

BOOTH, E. J.; DUNNING, J. R.; SLACK, F. G. Delayed neutron emission from uranium. **Physical Review**, College Park, v. 55, p. 876, 1939.

CZEIZEL, A. Genetic aspects of Leo Szilàrd's roots. MARX, G. (Ed.). **Leo Szilàrd centenary volume**: lectures and contributions on the centenary of Szilard's birth. Budapest: Eötvös Physical Society, 1998. 192 p.

DODÉ, M.; HALBAN, H. von; JOLIOT, F.; KOWARSKI, L. Liberation of neutrons in the nuclear explosion of uranium. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 208, p. 995, 1939.

DROSTE, G. von; REDDEMANN, H. Über die beim Zerspalten des Urankerns autretenden Neutronen. **Die Naturwissenschaften**, Heidelberg, v. 27, p. 371, 1939.

FBI INTERVIEW with Albert Einstein, November 1, 1940. Disponível em: <http://www.dannen.com/einstein.html>. Acesso em: 21 jul. 2004.

FERMI, E. Physics at Columbia University: the genesis of the Nuclear Energy Project, **Physics Today**, Melville, v. 8, p. 12-16, 1955.

FOX, M. S.; SZILÀRD, L. A device for growing bacteria under steady state conditions. **Journal of General Pathology**, New York, v. 39, p. 261-266, 1955.

GRIFFITHS, J. H. E.; SZILÀRD, L. Gamma rays excited by capture of neutrons. **Nature**, London, v. 139, p. 323-324, 1937.

HALBAN, H. von; JOLIOT, F.; KOWARSKI, L. Energy of neutrons liberated in the nuclear fission of uramium induced by thermal neutrons. **Nature**, London, v. 143, p. 939, 1939a.

HALBAN, H. von; JOLIOT, F.; KOWARSKI, L. Liberation of neutrons in the nuclear explosion of uranium. **Nature**, London, v. 143, p. 470-471, 1939, 1939b.

HALBAN, H. von; JOLIOT, F.; KOWARSKI, L. Number of neutrons liberated in the nuclear fission of uranium. **Nature**, London, v. 143, p. 680, 1939c.

KLEIN, O. Szilàrd plays chess with death. In: MARX G. (Ed.). **Leo Szilàrd centenary volume**: lectures and contributions on the centenary of Szilard's birth. Budapest: Eötvös Physical Society, 1998. p. 169-175.

KURTI, N. Some Szilàrd reminiscences. In: MARX G. (Ed.). **Leo Szilàrd centenary volume**: lectures and contributions on the centenary of Szilard's birth. Budapest: Eötvös Physical Society, 1998. p. 100-102.

LAWRENCE, E. O.; EDLEFSEN, N. E. On the Production of High Speed Protons. **Science**, Washington, v. 72, p. 376-377, 1930.

MALTESE, C. **Enrico Fermi in América**. Bologna: Zanichelli, 2003.

MARK, H.; SZILÀRD, L. Ein einfacher Versuch zur Auffindung eines selektiven Effektes bei der Zerstreuung von Roentgenstrahlen. **Zeitschrift für Physik**, Heidelberg, v. 33, n. 1, p. 688-691, 1925.

MARX, G. (Ed.). **Leo Szilàrd centenary volume**: lectures and contributions on the centenary of Szilard's birth. Budapest: Eötvös Physical Society, 1998. 192 p.

MICHIELS, J. L.; PARRY, G.; THOMSON, G. P. Production of neutrons by the fission of uranium. **Nature**, London, v. 143, p. 760-760, 1939

NOVICK, A.; DANNEN, G. Adventure in biology and ideas. In: MARX G. (Ed.). **Leo Szilàrd centenary volume**: lectures and contributions on the centenary of Szilard's birth. Budapest: Eötvös Physical Society, 1998. p. 163.

NOVICK, A.; SZILÀRD, L. Anti-mutagens. **Nature**, London, v. 170, p. 926-927, 1952.

NOVICK, A.; SZILÀRD, L. Description of a chemostat. **Science**, Washington, v. 112, p. 715-716, 1950.

NOVICK, A.; SZILÀRD, L. Experiments on light-reaction of ultra-violet inactiveted bacteria. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 35, p. 591-600, 1949.

NOVICK, A.; SZILÀRD, L. Experiments with the chemostat on spontaneous mutation of bacteria, **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 112, p. 708-719, 1959.

NOVICK, A.; SZILÀRD, L. Virus strains of identical phenotype but different genotype, **Science**, Washington, v. 113, p. 34-35, 1951.

ROTBLAT, J. Emission of neutrons accompanying the fission of uranium nuclei. **Nature**, London, v. 143, p. 852-852, 1939.

SUDOPLATOV, P.; SUDOPLATOV, A.; SCHECTER, J.; SCHECTER, L. **Special tasks, the memoirs of an unwanted witness**: a Soviet Spymaster. Boston: Little Brown, 1994. 509 p.

SZILÀRD L. The sensitivity minority among men of science. **Dinner Lecture at Brandeis University**, Los Angeles, 8 Dec. 1954.

SZILÀRD, L. A theory of aging, **Nature**, London, v. 184, p. 957-958, 1959.

SZILARD, L. Beschleunigung von Korpuskeln. S89 028 German Patent VI/40c. Dec. 17 1928. **The Collected Works of Leo Szilard**. London: Cambridge: MIT Press, 1972. p. 544. (Scientific Papers).

SZILÀRD, L. Dependence of sex ratio at birth on the age of the father, **Nature**, London, v. 186, p. 649-650, 1960.

SZILARD, L. Korpuskularstrahlröhre. S89288 German Patent 1928. **The Collected Works of Leo Szilard**. London: Cambridge: MIT Press, 1972. p. 554. (Scientific Papers).

SZILÀRD, L. The molecular basis of antibody formation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 46, p. 293-302, 1969.

SZILÀRD, L.; CHALMERS, T. A. Chemical separation of the radioactive element from its bombarded isotope in the Fermi effect. **Nature**, London, v. 134, p. 462, 1934a.

SZILÀRD, L.; CHALMERS, T. A. Detection of neutrons liberated from beryllium by gamma rays. **Nature**, London, v. 134, p. 494-495, 1934b.

SZILÀRD, L.; CHALMERS, T. A. Radioactivity induced by neutrons. **Nature**, London, v. 135, p. 98, 1935.

SZILÀRD, L.; EINSTEIN, A. **Electrodynamic movement of fluid metals particularly for refrigerating machines**. Request of patent 303 065, 24 Dec. 1924.

SZILÀRD, L.; ZINN, W. H. Instantaneous emission of fast neutrons in the interaction of slow neutrons with uranium. **Physical Review**, College Park, v. 55, p. 799-800, 1939a.

SZILÀRD, L.; ZINN, W. H. Production of neutrons in uranium bombarded by neutrons. **Physical Review**, College Park, v. 55, p. 797, 1939b.

TELEGDI, V. Leo Szilàrd as inventor: accelerators and more. **Physics Today**, Melville, v. 53, n. 10, p. 25-28, 2000.

VOGT, E. Eugene Paul Wigner: A Towering Figure of Modern Physics. Physics Today, Melville, v. 48, n. 12, p. 40-44, 1995.

WIDERÖE, R. Über ein neues Prinzip zur Herstellung hoher Spannungen **Archiv fur Elektrotechnik**, Heidelberg, v. 21, p. 387-405, 1928.

ZINN, W. H.; SZILÀRD, L. Emission of neutrons by uranium. **Physical Review**, College Park, v. 56, p. 619-624, 1939.

Capítulo 13

A "CORRIDA" PARA A BOMBA ATÔMICA

As possíveis implicações militares da fissão nuclear do urânio, descoberta por Hahn e Strassmann em 19 de dezembro de 1938 (HAHN; STRASSMANN, 1939), rapidamente ficaram muito claras para todos os cientistas que trabalhavam no setor nuclear, quando se verificou que, para cada fissão, eram emitidos, em média, 2,5 nêutrons, que poderiam gerar uma reação em cadeia. Isso aconteceu na primeira metade de março de 1939, principalmente por obra de Joliot e seus colaboradores, e de Fermi e Szilàrd e seus colaboradores, cujos trabalhos foram publicados poucas semanas depois (ANDERSON et al., 1939; SZILÀRD; ZINN, 1939). Logo após, compreendeu-se, também, principalmente em razão das especulações teóricas de Niels Bohr, que o raro isótopo U-235 era o responsável pela fissão, e não o mais abundante U-238, e que a fissão acontecia com nêutrons "lentos" (BOHR, 1939[92]).

Desse ponto de partida comum, vejamos o que aconteceu nos dois países mais desenvolvidos e mais interessados nas aplicações militares: Alemanha (KARISCH, 2005) e Estados Unidos (GROVES, 1962).

---

[92] Neste artigo, Bohr exprime, pela primeira vez, sua opinião de que seria o U-235 o responsável pela fissão: "We have the possibility of attributing the effect concerned to a fission of the excited nucleus of mass 236 formed by the impact of the neutron on the rare isotope of mass 235."(BOHR, 1939, p. 428).

Os alemães reagiram rapidamente e, já em abril de 1939, o Reichsministerium für Wissenschaft (Ministério da Pesquisa) foi informado sobre as possíveis aplicações militares da fissão nuclear. É possível que as informações viessem dos Estados Unidos, talvez dos trabalhos que continuaram a ser publicados durante todo o ano de 1939, e, em parte, das várias comunicações "internas" (uma carta redigida por Harteck e Groth, químicos da Universidade de Hamburgo, datada de 24 de abril, ao Ministério da Defesa; uma carta de Joos e Hanle, físicos da Universidade de Göttingen, ao ministro da Educação, B. Rust; e uma comunicação do físico N. Riehl, diretor científico da Auer, ao Escritório de Abastecimento do Exército). O chefe do Serviço de Abastecimento da Defesa (Heereswaffenamt, HWA), general Becker, passou a informação ao comandante do Departamento de Pesquisas, general (e também físico) Erich Schumann, neto do compositor Robert Schumann.

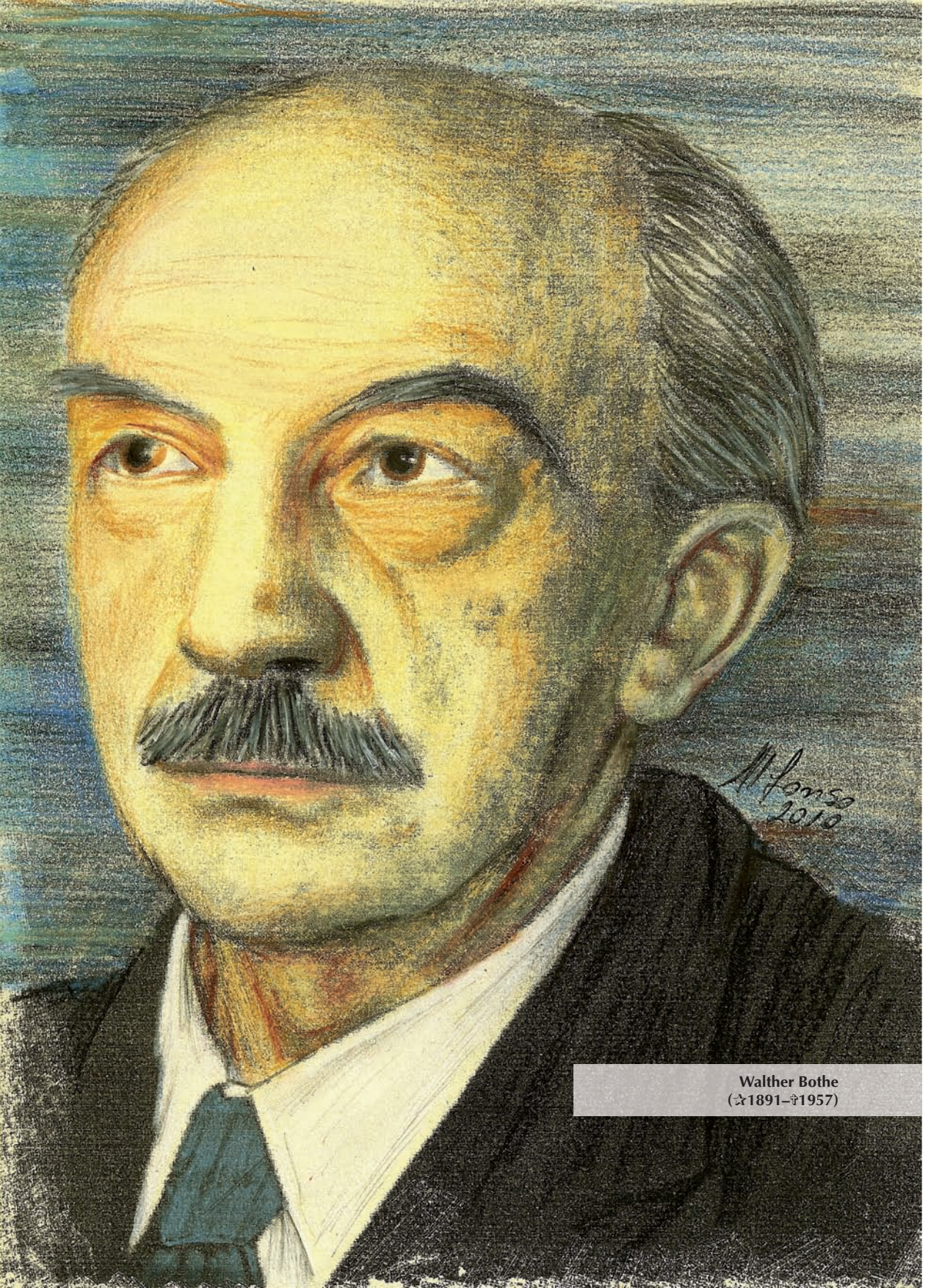
Os organismos militares reagiram lentamente. Os primeiros a se movimentar foram os funcionários do Ministério da Educação, que encaminharam a carta de Joos e Hanle ao Conselho Científico do Reich (Reichforschungsrat), um órgão de pesquisa, cujo presidente era Rudolf Mentzel. Finalmente, a carta chegou à mesa de Abraham Esau, presidente do Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR), que organizou, rapidamente, já em 29 de abril de 1939, uma reunião secreta. Essa reunião foi chamada, em código, pelo nome de "Uranverein" (Clube do Urânio), e também com esse nome foi depois chamada a organização oficial de pesquisa sobre o urânio. Tomaram parte nessa primeira reunião Erich Bagge, Walther Bothe, Peter Debye, Robert Döpel, Hans Geiger, Wolfgang Gentner, Wilhelm Hanle e Gerhard Hoffmann.

Nesse ínterim, conquanto um pouco atrasados, movimentaram-se também os militares do HWA, cujo chefe, o general Becker, tinha ficado muito impressionado com um artigo de junho de 1939, de autoria de Siegfried Flügge, físico do Instituto de O. Hahn, no qual ficava claro a enorme energia que se poderia extrair da energia nuclear (FLÜGGE,

1939a, 1939b). Portanto, foi rapidamente organizada uma reunião do HWA, da qual participaram, além do general Schumann, o diretor da Seção de Física do HWA, Walter Basche, Max Planck, Abraham Esau e poucos outros. Nessa reunião, foi delegado a Kurt Diebner, que dirigia os laboratórios militares, o papel de representante do HWA.

Em 1º de setembro, a Alemanha invadiu a Polônia e começava a II Guerra Mundial. Nesse momento, os militares do HWA definitivamente tomaram conta da questão do urânio e rapidamente foi organizada uma reunião plenária para o dia 16 de setembro de 1939, em Berlim. Desta vez, o organizador da reunião, por conta do HWA, foi Kurt Diebner, como reconhecido especialista do Exército em física nuclear, com o seu assistente Erich Bagge. Por conta do fato de ele ser um físico totalmente dedicado à teoria, para essa reunião foi também chamado Werner Heisenberg, Prêmio Nobel de Física em 1932 e o melhor físico teórico em circulação. Dessa reunião participaram, além de Diebner, as seguintes personalidades: Bagge e Basche (que representavam o HWA), Hahn, Geiger, Flügge, Heisenberg, Mattauch, Bothe, Harteck, Hoffmann e Stetter.

Eram físicos e químicos de destaque e quase todos especialistas em física nuclear, seja teórica, seja experimental. Alguns, eram teóricos, alunos de Heisenberg (Flügge e Bagge), outros eram físicos experimentais (Geiger, Bothe, Hoffmann, Stetter), outros, ainda, eram químicos (Hahn, Mattauch e Harteck). Nenhum deles sustentava a ideia da "física alemã", cujas teorias, naquele momento, tinham espontaneamente entrado em decadência, por sua evidente estupidez. Alguns deles eram, também, avessos ao nacional-socialismo (Heisenberg, por exemplo, jamais inscreveu-se no partido, e Bothe e Hahn não nutriam grande simpatia pelo partido nacional-socialismo). Definitivamente, eles representavam a nata do setor da física e da química nuclear no Terceiro Reich. Mas alguns eram idosos, e provavelmente muitos eram apenas físicos teóricos. Enfim, não pareciam estar assim tão motivados em construir uma da bomba, como estavam, nos Estados Unidos, os cientistas do Projeto



Walther Bothe
(☆1891–†1957)

Manhattan, em grande parte constituído por fugitivos europeus aterrorizados com a possibilidade de serem os nazistas os primeiros a construir uma bomba atômica.

Depois da reunião de 16 de setembro, o Kaiser Wilhelm Institut für Physik (KWIP) de Berlin-Dahlem foi identificado como um centro de referência[93].

Principais localidades da Europa Central, dos centros de pesquisas e atividades do Uranverein, ou ligadas ao Uranverein:

1) Hamburgo (P. Harteck e colaboradores);

2) Leipzig (W. Heisenberg e o casal Döpel);

3) Gottow (K. Diebner e colaboradores, laboratórios do Exército);

4) Heidelberg (W. Bothe e colaboradores);

5) Berlim (Heisenberg, Wirtz e von Weizsäcker);

---

[93] As frágeis tentativas de concentrar no KWIP todas as pesquisas do Uranverein falharam. As pesquisas do Uranverein continuaram a se desenvolver, principalmente nos seguintes lugares (*):

a) Laboratório de Químico-Física de Hamburgo (Harteck e colaboradores, para a separação de U-235).

b) Instituto de Física de Leipzig, com três grupos (Heisenberg e os Döpel para a construção de um reator; K. F. Bonhöffer para a água pesada; e G. Hoffmann para a construção de um cíclotron).

c) Laboratório do Exército em Gottow (Diebner e colaboradores, para a construção de um reator nuclear).

d) PTR, seção de física atômica (H. Beute e colaboradores, para o desenvolvimento de fontes neutrônicas e instrumentações).

e) KWI de Física Médica de Heidelberg (Bothe e colaboradores, para a construção de um acelerador e de medidas de parâmetros nucleares).

f) KWI de Berlin-Dahlem (Heisenberg, von Weizsäcker, Wirtz e colaboradores. Esse instituto era o centro do projeto Uranverein e era, também, a sede da construção de um reator depois do incêndio que danificou o reator de Leipzig).

g) KWIC de Dahlem (Hahn e Mattauch, para a avaliação dos produtos das fissões).

h) Instituto de Física de Estrasburgo (von Weizsäcker e colaboradores, para os aspectos teóricos).

i) Instituto de Física da Universidade de Viena (Stetter e colaboradores) e alguns pesquisadores das universidades de Innsbruck e Graz (medidas com nêutrons).

(*) Vários documentos sobre o Uranverein encontram-se no: <http://www.deutsches-museum.de/bib/archiv/atom>

6) Estrasburgo (von Weizsäcker e colaboradores);

7) Viena e Innsbruck (G. Stetter);

8) Bad Saarow (construção e explosão (?) de um reator experimental realizado por K. Diebner);

9) Kummersdorf;

10) Stadtilm (transferência de um reator experimental de K. Diebner);

11) Ohrdruf (pequenas explosões experimentais (?));

12) Heigerloch (última transferência do reator experimental Leipzig-Berlim).

Obs.: o ponto de interrogação refere-se às hipóteses feitas por R. Karlsh in ref. 5.

Como resultado da discussão feita na reunião Uranverein, em setembro de 1939, ficaram evidentes duas linhas de ataque ao problema da bomba atômica: separação do U-235 do urânio natural; e emprego de uma substância (moderadora), misturada ao urânio, que desacelerasse os nêutrons de modo a aumentar a probabilidade de fissão do urânio, que acontecia preponderentemente com nêutrons lentos (térmicos).

Poucos meses depois da reunião, um estudo teórico de Heisenberg concluiu que a água natural não era boa como moderadora, enquanto a água pesada parecia ser adequada. Também a grafite parecia ser adequada, mas somente a elevados níveis de pureza (HEISENBERG, 1939).

O próprio Heisenberg assim se expressa, logo depois da reunião de Berlim, em uma conversa com o seu mais fiel colaborador, Carl Friedrich von Weizsäcker:

> [...] poder-se-ia dizer que não seria possível iniciar uma reação em cadeia no urânio natural empregando-se nêutrons velozes; em resumo, não é possível fabricar uma bomba atômica empregando-se o urânio natural. Por sorte, uma reação em cadeia pode produzir-se apenas com o U-235 puro ou fortemente

> enriquecido. Nem ao menos sei se isto seria possível; de qualquer modo, mesmo se o fosse, requereria um esforço técnico imenso. Com os materiais que são conhecidos, não é possível construir bombas atômicas em um período breve; não conseguiremos, nem nós, nem os ingleses, nem os americanos. Porém, se ao urânio natural se pudesse agregar uma substância moderadora que desacelerasse os nêutrons produzidos no processo de fissão, então, creio, que seria possível iniciar uma reação em cadeia. É claro que essa substância moderadora não deveria capturar os nêutrons. A água normal não serve; seria mais útil a água pesada ou a grafite. É necessário realizar experiências em relação a isso, o mais rápido possível. Minha opinião é a de que podemos trabalhar com uma reação em cadeia desse tipo com a consciência limpa, deixando para os outros a tarefa de obter o U-235. (HEINSENBERG, 1984, p. 50).

Vale a pena observar que, além do projeto Uranverein, houve tentativas esparsas de pesquisas sobre a energia nuclear. A Marinha alemã entusiasmou-se com a ideia de poder construir submarinos movidos à energia nuclear, e, sob a égide do Serviço de Abastecimento da Marinha, criou-se um grupo de pesquisa dirigido pelo matemático Helmut Hasse, que propôs a construção de um Centro de Pesquisa em Wannsee, próximo a Berlim. Além disso, foram recrutados, como colaboradores, os físicos teóricos P. Jordan, F. Houtermans e O. Haxel.

Também o Ministério dos Correios, do qual foi ministro por 8 anos, de 1937 a 1945, o enérgico físico Wilhelm Ohnesorge, aluno de Lenard, que no passado tinha se interessado por radares, e que tinha como colaborador principal o estranho e versátil Manfred von Ardenne, queria entrar na área nuclear. De fato, W. Ohnesorge foi informado por von Ardenne sobre as potencialidades da fissão também para fins militares e começou a cultivar ambições no setor nuclear e, em particular, na construção de aceleradores de partículas que não existiam na Alemanha.

> "Você pensa, realmente, que um reator a urânio necessita de um esforço técnico inferior à fabricação da bomba atômica?" – perguntou von Weizsäcker.
>
> "Concordo plenamente. A separação dos dois isótopos do urânio U^{235} e U^{238} não é coisa fácil; além disso, lembre-se de que são necessários diversos quilogramas de U^{235}: trata-se de um esforço gigantesco. Ao contrário, para o reator a urânio são necessárias apenas algumas toneladas de urânio natural e também

> uma certa quantidade de grafite ou de água pesada; trata-se de um esforço técnico cem ou talvez mil vezes inferior [...] [...] os nossos estudos sobre o reator poderiam revelar-se muito úteis depois da guerra [...] [...] Seja como for, será melhor não dizer nem uma palavra sequer ao Departamento de Abastecimento sobre a possibilidade de construir uma bomba atômica. Nós guardaremos o assunto conosco, naturalmente, para o caso de os nossos adversários terem qualquer carta na manga". (WEIZSAECKER, 1948, p. 73).

Em 1940, foram feitas, pelos diversos grupos de pesquisa, muitas medidas de seções de colisão, medidas sobre as massas e as energias dos produtos da fissão e sobre os espectros da fissão. A teoria da absorção dos nêutrons nas ressonâncias do U-238 foi realizada por Flügge e Heisenberg. As conclusões foram que a água pesada poderia ser adequada para a construção de um reator nuclear.

No outono de 1940, o primeiro reator, constituído por U_3O_8 e parafina, foi montado no KWI e foram medidas as suas características. Verificou-se um fator de multiplicação $K < 1$, isto é, o reator não conseguia autossustentar-se, mas serviu para orientar o próximo modelo, que deveria ser constituído por U_3O_8 e água pesada. Em 20 de fevereiro de 1940, Heisenberg enviou às autoridades um primeiro relatório reservado sobre a possibilidade de construção de armas nucleares (HEISENBERG, 1984).

Além disso, no verão de 1940, von Weizsäcker observou que, em um reator a urânio, geram-se núcleos de U-239, e que esses deveriam decair para o elemento com número atômico 93 ou 94, e que, provavelmente, eram físseis (BERNSTEIN, 1996). Por conta da falta de um cíclotron na Alemanha, não foi possível, naquela época, verificar isso.

A produção industrial do U_3O_8 foi confiada à Auer, uma associada da Degussa, enquanto a produção de U-metálico foi entregue à própria Degussa. Além disso, para a produção de água pesada, contava-se com a empresa norueguesa Norsk Hydro, já que a Noruega tinha sido ocupada pelas tropas nazistas. Sobre esse assunto, Harteck, Süss, J. H. Jensen

e Wirtz desenvolveram projetos para aumentar a produção da Norsk Hydro, para além dos 10 L a 20 L/mês. Com efeito, no verão de 1942, chegou-se a produzir 200 L/mês.

Ao mesmo tempo, foram feitas tentativas para produzir grafite pura, mas elas deram resultados negativos. Até a grafite mais pura era inadequada (descobriu-se, mas só um bom tempo depois, que a grafite estava contaminada com traços de boro, que é um forte absorvedor de nêutrons; aconteceu o mesmo problema nos Estados Unidos, mas foi resolvido por Leo Szilàrd (ver capítulo 12).

A despeito de alguns insucessos, o desenvolvimento das pesquisas do projeto Atomverein, no final de 1941, era satisfatório. Em especial, compreendeu-se como construir um reator nuclear e, provavelmente, que essa seria a primeira fase para a construção de uma bomba atômica. Os problemas começaram quando se tentou passar para uma fase pré-industrial, em particular em relação à produção de urânio-235 e à preparação de grafite extremamente pura. Durante o ano de 1941, foram feitas tentativas para separar o U-235 com o método da difusão térmica, mas os resultados obtidos foram insatisfatórios. Além disso, medidas efetuadas com a grafite e com o berílio mostraram que os dois elementos poderiam ser úteis como invólucros, tendo um forte poder refletor.

No verão de 1941, estavam disponíveis para o projeto Uranverein cerca de 150 t de água pesada e cerca da mesma quantidade de U_3O_8, e foi construído um reator com camadas alternadas de água e de urânio. O reator não funcionou como se esperava, mas, quando o U_3O_8 foi substituído pelo urânio metálico, houve um relevante aumento do fator K, mostrando que um aumento posterior, além do valor 1, poderia ser possível.

No outono de 1941, pareceu a Heisenberg que era possível a construção de um reator nuclear e, em teoria, a construção de uma bomba. Mas, como escreve o próprio Heisenberg (1984):

> [...] e quanto à produção de U^{235}, realmente não sabíamos como fazer para obtê-lo em quantidades significativas. Em resumo: sabíamos como construir uma bomba atômica, mas supervalorizávamos o esforço técnico necessário. Portanto, poderíamos submeter às autoridades, com perfeita boa-fé, uma prestação de contas exata da situação, com a certeza de que a Alemanha não poderia embarcar no esforço técnico para a construção da bomba. Porém, tínhamos consciência de que estávamos nos aventurando em um terreno muito perigoso e nos perguntávamos se era justo o que fazíamos. (HEISENGERG, 1984, p. 51).

Portanto, como foi observado, no fim de 1941, a pesquisa alemã sobre a construção de um reator nuclear e, eventualmente, de uma bomba atômica, ainda competia com a pesquisa americana.

Quer isso tenha acontecido por causa dos escrúpulos de Heisenberg em acelerar excessivamente o projeto, quer pelas objetivas dificuldades técnicas, o projeto Uranverein, iniciado com grande energia, enfraquecia. Em 26 de fevereiro de 1942, o projeto passou para o controle do Reichsforschungsrat, cujo presidente era Esau. Em 6 de junho de 1942, depois de várias reuniões bastante inconclusivas, o projeto, por consenso, foi colocado sob a direção de Speer, na Harnack Haus, personagem que, fazia pouco tempo, tinha se tornado o poderosíssimo ministro das Armas do Reich. Discutiu-se profundamente e chegou-se à conclusão de que a construção de um reator nuclear era factível, enquanto, respondendo à pergunta explícita de Speer e dos militares, a possibilidade de se produzir uma arma nuclear dentro de 1 ou 2 anos foi totalmente excluída, primeiro por Heisenberg e depois por Bothe (KARISCH, 2005). Assim, Speer decidiu que se deveria continuar em escala reduzida, com a única finalidade de se construir um reator. Sobre a bomba atômica, a discussão tinha se esgotado. Durante esse período, o Kaiser Wilhelm Institut foi transformado no Kaiser Wilhelm Gesellschaft, sendo Heisenberg nomeado seu diretor. No Instituto do KWI, foi construído um bunker subterrâneo, para a construção do reator.

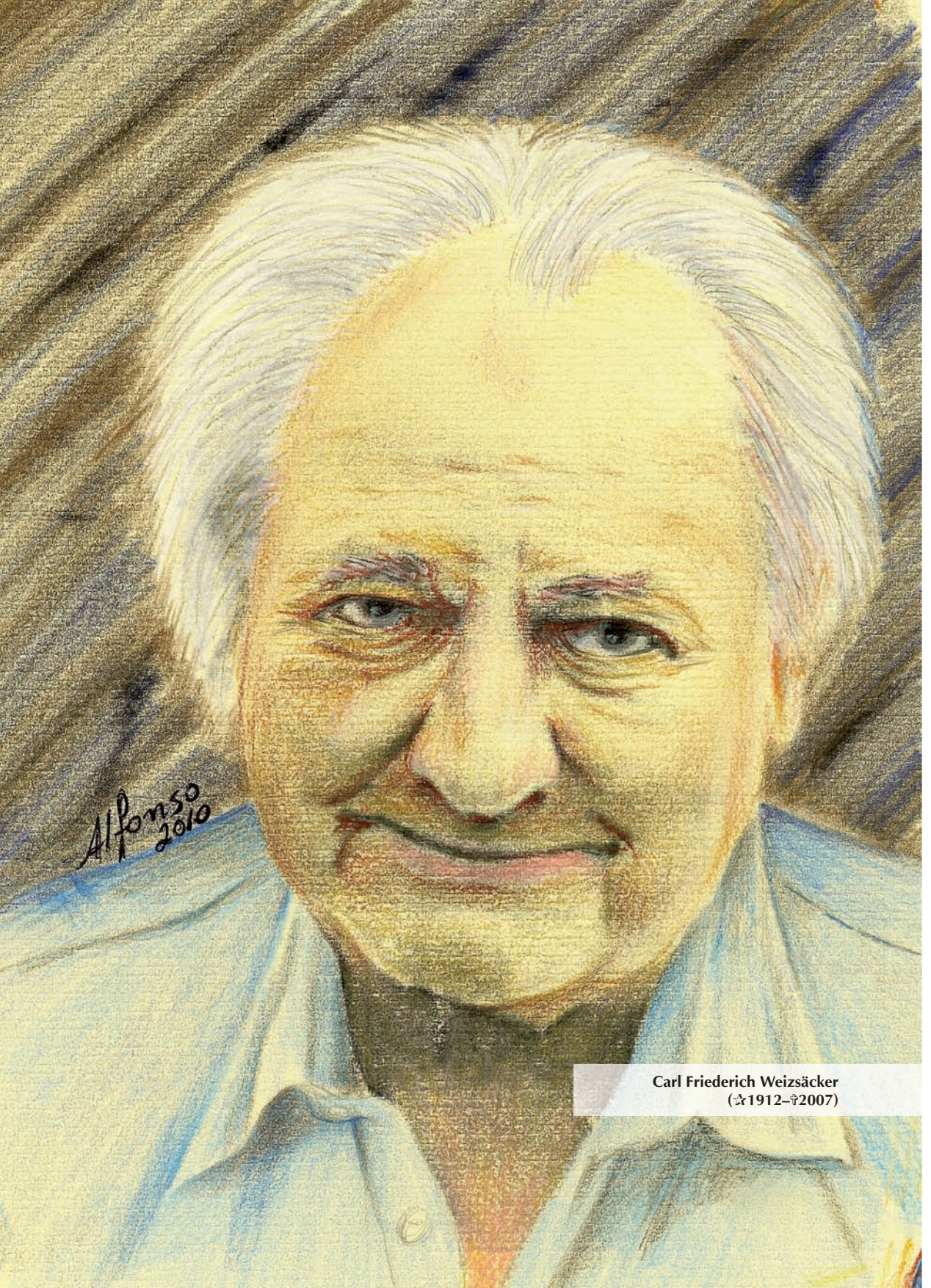
Poucos dias depois da reunião com Speer, o reator nuclear de Leipzig no qual trabalhavam, sob a orientação de Heisenberg, o casal Robert e

Klara Döpel, teve um acidente, superaqueceu-se e, por fim, explodiu. Depois da guerra, ficou esclarecido que, com toda a probabilidade, o reator de Leipzig tornara-se hipercrítico (KARISCH, 2005).

Depois desse insucesso, Heisenberg transferiu o projeto de construção de um reator de Leipzig para o KWI em Berlin-Dahlem, onde, porém, sequer conseguiu reproduzir os melhores resultados obtidos em Leipzig.

Mais ou menos na mesma época, em Kummersdorf-Gottow, nos laboratórios militares, Diebner e seus colaboradores montavam um reator com urânio natural e parafina, mas não em estratos, como o de Heisenberg. Utilizavam-se esferas de óxido de urânio e uma estrutura reticular. Na primavera de 1943, Diebner e seus colaboradores obtiveram um fator de multiplicação superior aos obtidos em Leipzig e, no final de 1943, o grupo de Kurt Diebner, constituído por W. Czulius, G. Hartwig, E. Kamin, F. Berrei e outros, montou uma estrutura reticular, constituída por 25 t de U_3O_8 em forma de dados, com 9,7 cm de lado, e 4,4 t de parafina como moderadoras, obtendo bons resultados.

Finalmente, na primavera de 1944, com cerca de 560 kg de dados de urânio e cerca de 600 kg de água pesada, o grupo de Diebner obteve resultados ainda melhores (KARISCH, 2005). Isso induziu uma comparação entre Diebner e Heisenberg; este último, por teimosia, não queria aceitar o fato de que o seu reator em estratos não representava a melhor solução. Esau tomou o partido de Diebner, o que, ao longo do tempo, custou-lhe o cargo de chefe do Uranverein, sendo substituído, no início de 1943, por Walther Gerlach, conhecido cientista e professor de física na Universidade de Munique. Ele não era um físico nuclear, não estava inscrito no Partido Nacional-Socialista, mas, certamente, era um simpatizante do nazismo, e, seja como for, estava decidido a fazer com que o projeto Uranverein chegasse a uma conclusão positiva. De fato, Gerlach dedicou todas as suas forças a fazer andar o projeto, favorecendo mais as atividades de Diebner e dos militares do que as de Heisenberg.



Carl Friederich Weizsäcker
(☆1912–†2007)

No entanto, na primavera de 1943, a Norsk Hydro, produtora da água pesada, parou de funcionar por causa dos bombardeios aéreos, e, em outubro do mesmo ano, foi completamente destruída. Porém, 2 t de água pesada tinham sido acumuladas na Alemanha. Pouco depois, na primavera de 1944, a produção de urânio foi temporariamente encerrada, depois do bombardeio de Frankfurt, onde se encontrava a Sociedade Degussa. Apesar disso, em 1942, chegou-se a desenvolver em Hamburgo, na Alemanha, por obra do químico Paul Harteck e seus colaboradores, uma supercentrífuga para a separação dos isótopos de urânio. No fim de 1944, chegou-se a produzir uma pequena quantidade de urânio enriquecido a 5% em U-235 (KARISCH, 2005)[94].

Finalmente, no inverno entre 1943 e 1944, um reator com 1,5 t de água pesada e a mesma quantidade de urânio foi montado no KWI, em Berlin-Dahlem. Obteve-se um fator de multiplicação não muito distante daquele da criticidade mas, ao mesmo tempo, inferior aos obtidos pelo grupo de Diebner.

No início de 1945, o reator nuclear de Berlim foi remontado em Hechingen, no sul da Alemanha, mas, falta de material, não deu resultados apreciáveis.

Enquanto isso, Kurt Diebner continuava nos laboratórios subterrâneos do Exército em Kummersodrf-Gottow, trabalhando no "seu" reator, constituído por uma estrutura reticular com esferas de urânio e um moderador de água pesada, no qual parece que também era inserida uma pequena quantidade de urânio enriquecido a 5%. Segundo o historiador alemão Rainer Karlsch, a última tentativa, realizada provavelmente entre o fim de 1944 e o começo de 1945, deu um resultado "explosivo", ou seja, o reator ficou fora de controle depois de ter funcionado somente por poucas horas (KARISCH, 2005).

---

[94] Um grande número de documentos sobre o Uranverein encontra-se no: <http://www.deutsches-museum.de/bib/archiv/atom>

A guerra chegava ao fim. Entre os dias 1º e 3 de maio, muitos cientistas do Uranverein foram feitos prisioneiros dos americanos e enviados a Farm Hall (perto de Cambridge), na Inglaterra. Eram dez, a saber: Kurt Diebner, Walther Gerlach, Otto Hahn, Paul Harteck, Werner Heisenberg, Carl F. von Weizsäcker, Otto von Laue, Horst Korsching, Erich Bagge e Karl Wirtz, que souberam pelo rádio, entre outras coisas, da explosão da primeira bomba atômica em Hiroshima. Pela surpresa que manifestaram (eles não sabiam que estavam sendo gravados) e por conversas posteriores, deduziu-se que os cientistas alemães não tinham plena ciência da forma como seria feita uma bomba atômica (BERNSTEIN, 1996).

Pode-se concluir com a observação de que a Alemanha começou muito bem e tempestivamente com o projeto Uranverein, mas que, depois, esse projeto desacelerou. Isso teve, provavelmente, diversos motivos (POWERS, 2000):

- A vontade (mesmo que colocada em dúvida por muitos) de Heisenberg em desacelerar os trabalhos.
- As dificuldades técnicas e, em particular, a dificuldade em separar o U-235; em relação ao plutônio, outra possível matéria-prima para uma bomba atômica, jamais os cientistas alemães conseguiram construir um reator com esse objetivo.
- Os escassos meios, humanos e materiais, à disposição. A Alemanha empregou para o seu projeto nuclear algumas centenas de pessoas, enquanto centenas de milhares foram empregadas tanto nos Estados Unidos como na URSS. Na verdade, Speer e os militares estavam dispostos a colocar à disposição do projeto Uranverein todos os meios possíveis, mas foi o próprio Heisenberg a solicitar meios modestos, talvez para depois não ter que justificar possíveis atrasos ou fracassos.
- O tremendo esforço bélico que estava fazendo a Alemanha.

- Os contínuos bombardeios a que foram submetidas as cidades alemãs, que também atingiram duramente os laboratórios utilizados no projeto Uranverein.

Depois da guerra, a Alemanha foi proibida de rearmar-se, mas, a seguir, as coisas mudaram em razão da guerra fria que colocava a Alemanha na mesma posição dos países ocidentais e em oposição à URSS e países satélites. Em 1957, quando Adenauer era chanceler da República Federal da Alemanha, foi também levantado o "problema nuclear", e o próprio Adenauer teria sido favorável a que a Alemanha fosse dotada de armas nucleares, eventualmente em associação com a França e com a Itália. Em 13 de abril de 1957, com o famoso Manifesto de Göttingen, 18 cientistas alemães, entre os quais Werner Heisenberg, uniram-se ostensivamente contra as armas nucleares na Alemanha. Em grande parte, tratava-se de 18 cientistas famosos, alguns dos quais envolvidos no projeto Uranverein: Hahn, von Weizsäcker, Bopp, Born, Fleischmann, Gerlach, Haxel, Heisenberg, Wirtz, Kopfermann, von Laue, Maier-Leibniz, Mattauch, Paneth, Paul, Riezler, Strassmann e Walcher.

O apelo teve grande repercussão na imprensa. Adenauer convidou os 18 para uma reunião, mas Heisenberg não quis participar. Em seguida, o projeto nuclear de Adenauer foi destruído pelo general De Gaulle[95].

Em relação a outro grande protagonista da corrida à bomba atômica, isto é, os Estados Unidos, seu percurso foi, de certo modo, inverso ao alemão. De fato, os Estados Unidos começaram de modo muito débil e pouco convincente, mesmo porque entraram em guerra apenas de-

---

[95] Depois da crise de Suez, em 1956, na qual os Estados Unidos colocaram "na linha" os governos da Inglaterra e da França, foram feitas pressões, por parte da França, para que a Alemanha e a Itália se unissem a ela para criarem armas nucleares próprias. Esse projeto prosseguiu por vários anos a partir de 1956 e, em abril de 1958, foi firmado um acordo entre os Ministros da Defesa da época, Strauss, Taviani e Chaban-Delmas, para a construção de um equipamento de enriquecimento na França. Porém, em maio de 1958, com o retorno ao poder do general De Gaulle, este decide romper o acordo e continuar sozinho. Esse episódio, na verdade não muito conhecido, foi bem descrito por P. Cacace em *L'atomica europea* (CACACE, 2004).

pois de Pearl Harbour, no final de 1941. Mas, depois da sua entrada na guerra, não só avançaram rapidamente, como investiram no projeto um grande número de homens, elevados meios financeiros e toda a potência da sua indústria pesada. Além disso, tinham se transferido para os Estados Unidos os melhores físicos nucleares. Enfim, mas não menos importante, os Estados Unidos estavam longe da área da guerra e poderiam tranquilamente colocar em prática os projetos de desenvolvimento da fissão nuclear, sem ter que enfrentar ataques ou bombardeios nos seus territórios.

No fim de janeiro de 1939, chegou a New York a publicação de Hahn e de Strassmann na *Die Naturwissenschaften* (HAHN; STRASSMANN, 1939), com a notícia da descoberta da fissão nuclear. Pouco depois, foi trazida por Niels Bohr, e, a seguir, pela revista *Nature*, com a explicação da interpretação física que tinham dado Otto R. Frisch e Lise Meitner (FRISCH, 1939; MEITNER; FRISCH, 1939), inclusive a enorme liberação de energia por fissão. Enrico Fermi e Leo Szilàrd, ambos emigrados fazia pouco tempo para os Estados Unidos, exatamente para New York, "fugindo" do nazifascismo, estavam entre os físicos mais qualificados para interpretar o fenômeno da fissão e para intuir suas consequências científicas (Fermi) e científicas e militares (Szilàrd). Fermi porque, desde 1934, vinha trabalhando com os nêutrons, descobrindo a radioatividade artificial induzida por nêutrons e a sua desaceleração em moderadores hidrogenados (ver capítulo 8); e Szilàrd, porque tinha intuído o possível processo de fissão desde 1933, e, a partir de então, tinha refletido longamente e também feito medidas *ad hoc* e certamente obtido uma patente (SZILÀRD, 1934).

Leo Szilàrd, tendo lido o artigo de Hahn e Strassmann, e tomado conhecimento das deduções de L. Meitner e das medidas de O. Frisch, já tinha previsto o que viria a acontecer na Alemanha. A esse propósito, em 25 de janeiro de 1939, escreveu uma carta preocupada e previdente ao seu influente amigo e financiador Lewis L. Strauss, pessoa que, a seguir, te-

ria um importante papel na organização da energia nuclear nos Estados Unidos, tornando-se presidente da Atomic Energy Commission. Nessa carta, ele fala, provavelmente pela primeira vez, em "bomba atômica".

Ao contrário de Szilàrd, Fermi, que mal havia chegado da Conferência de Washington, na qual ele e Bohr tinham desenvolvido uma apresentação sobre o processo da fissão (ver capítulos 8 e 12), não tinha se dado conta das consequências bélicas da fissão nuclear, mas, sempre com os pés firmes no chão, sabia perfeitamente o que deveria fazer, e o mais rápido possível, para levar adiante as pesquisas: descobrir se, no processo de fissão, eram liberados nêutrons e qual a quantidade. E, assim, Fermi pôs-se imediatamente a projetar e a realizar, com a sua equipe da Columbia University, experências que respondessem a essas perguntas.

Szilàrd, como se pode compreender pela carta a Lewis Strauss, tinha intuído todas as potencialidades e possibilidades da descoberta da fissão e já ia muito além. Tinha intuído a importância da descoberta e as suas aplicações no âmbito bélico, e rapidamente pôs-se a trabalhar para que essas consequências fossem levadas ao conhecimento do governo dos Estados Unidos e para que fosse imposto segredo para as eventuais pesquisas nesse setor. Fermi, ao contrário, considerava excessivas as preocupações de Szilàrd, e isso criou a primeira divergência de opinião entre os dois, à qual se seguiram muitas outras.

De qualquer forma, as medidas sobre a fissão que Fermi e Szilàrd, separadamente, tinham começado na Columbia University, depois da notícia da descoberta da fissão por O. Hahn e por F. Strassmann, levaram a "ver", desde o final de janeiro, os produtos da fissão, e, em 3 de março de 1939, a medir os nêutrons secundários (ANDERSON et al., 1939; SZILÀRD; ZINN, 1939).

"Naquela noite – assim se lembra Szilàrd, sempre anos à frente de todos –, havia pouquíssimas dúvidas de que o mundo estava caminhando para uma catástrofe" (MALTESE, 2003, p. 57). Em 16 de março, infor-

mado por Szilàrd, Wigner, alarmadíssimo, precipitou-se de Princeton para a Columbia University, para discutir com Fermi, Szilàrd e Pegram as consequências das medidas efetuadas por Szilàrd. Então, Pegram organizou uma visita de Fermi a especialistas técnicos da Marinha, visita essa que aconteceu em Washington, no dia 17 de março.

No entanto, as medidas continuavam a ser feitas nos laboratórios Pupin da Columbia University, para se verificar o número de nêutrons emitidos pelo urânio, sua absorção e, depois, em especial, se era somente o U^{235} a ser fissionado, segundo o que tinha sido previsto pelos cálculos de N. Bohr, em Princeton (BOHR, 1939[96]). Além disso, devia ser estudado o efeito dos moderadores e caracterizada a intensidade e o espectro dos nêutrons nas várias condições experimentais. Nessa fase, Szilàrd deu uma importante contribuição e, para melhor compreender a factibilidade de uma reação em cadeia, dedicou-se como sempre, e rapidamente conseguiu obter 200 kg de U_3O_8 da Eldorado Radium Co., sociedade canadense que, a seguir, tornou-se a fornecedora oficial de urânio para o governo americano. Essa foi a única experiência na qual Fermi e Szilàrd, em tudo tão diversos, conseguiram trabalhar juntos. A seguir, foram organizados dois grupos: um constituído por Fermi e Anderson e outro por Szilàrd e Zinn.

No início do verão de 1939, as medidas "preparatórias" sobre o urânio, feitas pelos grupos de Fermi e de Szilàrd, tinham sido quase completadas e tinha-se demonstrado experimentalmente que era mesmo o U-235 a ser fissionado. Em 3 de julho, Szilàrd escreveu a Fermi propondo a grafite para a desaceleração dos nêutrons e, alguns dias depois, acenou com o uso da água pesada[97]. Portanto, propôs a Fermi uma experiência urânio-grafite.

---

[96] Neste artigo, Bohr exprime, pela primeira vez, sua opinião de que seria o U-235 o responsável pela fissão: "We have the possibility of attributing the effect concerned to a fission of the excited nucleus of mass 236 formed by the impact of the neutron on the rare isotope of mass 235."(BOHR, 1939, p. 428).

[97] Em 9 de julho, Fermi responde de Ann Arbor, dizendo que ele também tinha pensado na grafite para desacelerar os nêutrons, e que, provavelmente, a água pesada seria muito cara.

Ainda naquele verão de 1939, enquanto Fermi frequentava o curso de verão de Ann Arbor, Szilàrd cuidava da dissertação do trabalho experimental feito por aquele, e de um outro trabalho, que tinha sido feito preponderantemente por Zinn. Em 17 de julho, o trabalho com Fermi foi enviado para a *Physical Review* (ANDERSON et al., 1939; SZILÀRD; ZINN, 1939). A seguir, foi enviado o outro trabalho (ANDERSON et al., 1939; SZILÀRD; ZINN, 1939). Como se vê, nessa fase, Szilàrd trabalhou e publicou muito, antes que se decidisse sobre o *black out* para os trabalhos pós-fissão.

E também nos estudos desenvolvidos por outros cientistas, em particular por Bohr e Joliot, a situação era clara: do urânio apenas o isótopo U^{235} era sujeito à fissão, presente em uma concentração de sete por mil no urânio natural. Além disso, a fissão acontecia com nêutrons térmicos. Portanto, era necessário, para incrementar o processo de fissão, desacelerar os nêutrons e, se possível, separar o U-235. Como fazer isso da melhor maneira foi a principal preocupação de Fermi e de Szilàrd.

Szilàrd, sempre atento ao desenvolvimento dos acontecimentos na Europa, frente a possibilidade da construção de uma bomba nuclear nazista, contactou Einstein para que fosse elaborada uma carta para o embaixador da Bélgica (sobre a quantidade de urânio do Congo) e outra carta destinada a Roosevelt, que criou o Comitê Consultivo para o Urânio, presidido por Briggs.

Enquanto a Comissão Briggs continuava a reunir-se de vez em quando, cansativamente e sem resultados apreciáveis, a guerra na Europa se precipitava e, em 10 de junho de 1940, as tropas alemãs entraram triunfalmente em Paris. Com a previsão de uma guerra, a este ponto pelo menos possível, Roosevelt então criou o National Defense Research Committee (NDRC) sob a direção do enérgico Vannevar Bush (nenhum parentesco com os Bush, presidentes dos Estados Unidos). Em pouco tempo este comitê absorveu a Comissão Briggs.

O NDRC criou um "Uranium Committee" que, em agosto de 1941, foi organizado em quatro subseções: uma teórica, onde como chefe foi colocado Fermi, e cujos membros eram G. Breit, C. H. Eckart, H. D. Smyth, L. Szilàrd e J. A. Wheeler; uma para a produção de energia, cujo chefe era G. Pegram e que tinha Fermi como membro e outras duas dedicadas à produção de água pesada e à separação dos isótopos de urânio.

Na segunda metade de 1941, nos laboratórios da Columbia University, Fermi começou a fazer o primeiro protótipo de um pequeno reator nuclear, constituído por esferas de urânio natural e blocos de grafite. Os primeiros "experimentos exponenciais" (aumento do número de nêutrons em uma estrutura constituída por urânio e grafite de dimensões crescentes) deram resultados positivos. Aqueles do fim de 1941 foram, também, os últimos trabalhos de Fermi e de Szilàrd na Columbia. No domingo, 7 de dezembro de 1941, foi o dia do ataque japonês a Pearl Harbour e do retorno do empenho dos Estados Unidos na construção da bomba atômica. Poucas semanas depois de Pearl Harbour, decidiu-se transferir o projeto da construção do reator nuclear para Chicago e dar-lhe um impulso. Assim, foi colocado em prática um projeto específico para a construção da bomba, chamado Projeto Manhattan, e que, no outono de 1942, ficou sob a direção militar do general Groves, homem enérgico e notável organizador. No início de 1943, ele nomeou como chefe científico do projeto o físico Robert Oppenheimer, brilhante físico teórico, filho de pais alemães emigrados, e que tinha, entre outras coisas, completado os seus estudos na Alemanha (GROVES, 1962).

Em Chicago, o trabalho desenvolveu-se sob a direção de Arthur H. Compton no assim chamado Metallurgical Laboratory. Fermi aceitou, embora razoavelmente aborrecido, transferir-se para Chicago e também Szilàrd aceitou, ele, aliás, que jamais teve uma "residência fixa". Todavia, ele foi sendo lentamente colocado à parte, num processo que deu lugar a violentos confrontos com o general Groves que, desde o começo, tinha

desenvolvido uma total antipatia e desconfiança por Szilàrd, o qual, pelo contrário, combinava bastante com A. Compton e este permitiu que ele continuasse a trabalhar no Metallurgical Laboratory de Chicago.

O restante da história da construção do primeiro reator nuclear é bastante conhecido: em 2 de dezembro de 1942, no "Stagg Field" da Universidade de Chicago foi completada por uma equipe dirigida por Enrico Fermi, a construção do primeiro reator nuclear. Este, chamado CP-1 (Chicago pile[98] one) era constituído por 350 t de grafite (cerca de 40 mil blocos), 36.5 t de óxido de urânio e 5.6 t de urânio puro (em forma de esferas). O CP-1 custou cerca de 1 milhão de dólares. Chegou a um valor K = 1.0006 e a uma potência de meio Watt e funcionou por aproximadamente 3 meses. Neste período, foi usado para um grande número de objetivos: a pureza dos materiais, urânio e grafite, que continuavam a ser produzidos, o andamento do índice k com a temperatura, a avaliação da água pesada como moderadora em um reator – que depois foi construído e entrou em funcionamento em maio de 1944. Porém, rapidamente tornou-se necessário construir um reator de dimensões maiores. Foi assim que, em fevereiro de 1943, o reator CP-1 foi desmontado e remontado, melhorado e modificado, e colocado para funcionar a 110 kW, no novo Laboratório de Argonne. Foi chamado de CP-2.

Enquanto Fermi, Szilàrd e seus colaboradores trabalhavam na construção de um reator nuclear a urânio natural e grafite, em outros lugares, em particular em Berkeley, trabalhava-se com um outro possível "combustível" para a bomba atômica: o plutônio.

Como visto anteriormente, compreendeu-se com bastante rapidez, primeiro teoricamente, por Niels Bohr, em 1939, e depois, em 1940, na

---

[98] O termo *pile* foi cunhado por Fermi, que já estava habituado a dar nome a invenções (muitos anos antes, tinha cunhado o termo "neutrino" para designar as partículas hipotéticas previstas teoricamente por Pauli). Aquele termo não tem nada a ver com "pilha", como já foi traduzido para o italiano; simplesmente significa "amontoado, acúmulo (de urânio e grafite)".

Alemanha, sempre com considerações teóricas, e depois nos Estados Unidos, também experimentalmente, que o U-238, o isótopo mais comum do urânio, irradiado com nêutrons, dava origem primeiramente ao transurânico de número atômico 93, que foi chamado de netúnio (na realidade netúnio-239), e, sucessivamente, ao elemento transurânico de número atômico 94 (mais exatamente o plutônio-239). Este último isótopo mostrou-se ideal para construir uma bomba porque era sujeito à fissão com elevada probabilidade, tanto com os nêutrons lentos quanto com os velozes. Além disso, era muito mais fácil separar o plutônio do urânio e do netúnio (são elementos quimicamente diferentes), ao contrário do U-235 do U-238, tratando-se de isótopos do mesmo elemento.

A história "teórica" do plutônio nasceu, portanto, nos primeiros meses de 1939. Do ponto de vista experimental, ela nasceu no fim de 1940, quando G. Seaborg, A. C. Wahl e J. W. Kennedy irradiaram o U-235 com dêuterons do acelerador de Berkeley, produzindo o isótopo Pu-239. Alguns meses depois, conseguiram isolar mínimas quantidades. Assim se refere Glen T. Seaborg:

> [...] neste primeiro relatório (março de 1942), decidimos chamar este elemento de plutonium, da mesma forma como uranium é assim chamado em razão do planeta Urano, e neptunium (elemento de número atômico 93) assim foi chamado por Mcmillan e por Abelson (em junho de 1940, McMillan e Abelson, irradiando urânio com dêuterons, tinham produzido o elemento 93, que chamaram de neptunium) por causa do planeta Netuno. O símbolo deveria ser Pl, mas preferimos indicá-lo como Pu. (GROVES, 1962, p. 77).

O $_{94}Pu^{239}$ decai com uma vida média de 24.110 anos e é fundamental para a construção de uma bomba atômica. Ele pode ser produzido irradiando-se urânio natural com nêutrons, e por ter muitos nêutrons necessita de um reator.

O Projeto Manhattan teve como centro operativo e científico uma perdida localidade no Novo México, Los Alamos, selecionada pelo general Groves e por Oppenheimer de modo que fosse de difícil identificação e

que mantivesse os cientistas relativamente isolados do resto do mundo. Posteriormente, foram criados dois outros centros: Hanford, no estado de Washington, onde foi construído um reator especificamente dedicado à produção de plutônio[99], e Oak Ridge[100], onde foi concentrada toda a atividade de separação do urânio-235.

Como já foi dito, os Estados Unidos construíram o primeiro reator nuclear no fim de 1942: tratava-se da famosa pilha de Fermi. Todavia, era um pequeno protótipo de reator. Para produzir plutônio em quantidade relevante (eram necessários cerca de 5 kg a 6 kg para uma bomba atômica), foi construído um reator *ad hoc*. As primeiras quantidades relevantes de Pu-239, numa ordem de poucos miligramas, foram produzidas com o reator nuclear de Hanford, em novembro de 1943, mas foi apenas entre o fim de 1944 e a metade de 1945 que foi produzida a quantidade necessária para duas bombas atômicas.

Paralelamente, continuavam os estudos – primeiro experimentais, depois em grande escala – sobre os métodos de separação do U-235 do urânio natural. Harold Urey dedicou-se de modo especial a essa tarefa. Foram experimentados vários métodos, em particular o da centrifugação, o da separação eletromagnética e o das membranas finas. Foi feito um enorme esforço industrial e, como já dito, em 1943 foi criado um centro destinado exclusivamente, ou quase, ao objetivo de separar o U-235, em Oak Ridge, no Tennessee, onde, no final da guerra, trabalhavam no projeto nuclear cerca de 70.000 pessoas. Também aqui as coisas aconteceram rapidamente e, no início de 1945, já eram produzidos, por meio da difusão através de membranas e separação eletromagnética, 200 g de U-235 por dia. Deve-se observar que são necessários cerca de 50 kg de urânio 235 para uma bomba atômica.

---

[99] Ver, por exemplo, **The world's first large plutonium reprocessing plant**. Disponível em: <http://www.ccnr.org/B_plant_reprocessing.html>

[100] Ver, por exemplo, **About Oak Ridge**. <http://www.cortn.org/aboutoakridge.php>

Referências

ANDERSON, H. L.; FERMI, E.; SZILÀRD, L. Neutron production and absorption in uranium. **Physical Review**, College Park, v. 56, p. 284-286, 1939.

BERNSTEIN, J. **Hitler's uranium club**: the secret recordings at Farm Hall. Woodbury: American Institute of Physics, 1996. 427 p.

BOHR, N. Resonance in uranium and thorium disintegration and the phenomenon of nuclear fission. **Physical Review**, College Park, v. 55, p. 418 1939.

CACACE, P. **L'atomica europea**. Roma: Fazi, 2004.

FLÜGGE, S. Die ausnutzung der atomenergie, vom laboratoriumsversuch zur uranmaschine. **Deutsche Allgemeine Zeitung**, Leipzig, n. 387, 1939b. Supplement 15 August.

FLÜGGE, S. Kann der Energieinhalt der Atomkerne technisch nutzbar gemacht werden? **Die Naturwissenschaften**, Heidelberg, v. 27, p. 402, 1939a.

FRISCH, O. R. Physical evidence for the division of heavy nuclei under neutron bombardment. **Nature**, v. 143, p. 276, 1939. Letter to the Editors.

GROVES, L. **Now it can be told**: the story of the Manhattan Project. New York: Harper, 1962. A história administrativa do Projecto, pelo seu líder.

HAHN, O.; STRASSMANN, F. Über den nachweis und das verhalten der bei der bestrahlung des urans mittels neutronen entstehenden erdalkalimetalle. **Die Naturwissenschaften**, Heidelberg, v. 27, n. 1, p. 11-15, 1939.

HEISENBERG, W. **Bericht über die möglichkeit der technischen energiegewinnung aus der uranspaltung** (II) G-40. München, 1939. Achiv des Deutsches Museum, Disponível em: <http://www.deutsches-museum.de/archiv/archiv-online/geheimdokumente/forschungszentren/leipzig/energie-aus-uran/>. Acesso em: 9 out. 2005.

HEISENBERG, W. **Fisica e oltre**: incontri con i protagonisti: 1920-1965. Torino: Boringhieri, 1984.

KARISCH, R. **Hitlers Bombe**. München: Deutsche-Anstalt, 2005.

MALTESE, C. **Enrico Fermi in América**. Bologna: Zanichelli, 2003.

MEITNER, L.; FRISCH, O. R. Disintegration of uranium by neutrons, a new type of nuclear reaction. **Nature**, London, v. 143, p. 239, 1939. Letter to the Editors.

POWERS, T. **Heisenberg's War**. New York: Knopf, 2000.

SZILÀRD, L. **Transmutation of chemical elements**. 440 023 British Patent, 1934.

SZILÀRD, L; ZINN, W. H. Instantaneous emission of fast neutrons in the interaction of slow neutrons with uranium. **Physical Review**, College Park, v. 55, p. 799-800, 1939.

WEIZSÄECKER, C. F. von. Kurzer Bericht über eventuelle praktische Auswirkung der Uranuntersuchungen auf Grund einer Rücksprache mit Dr Diebner, **Archiv der MPG**, **KWI für Physik**, [Berlin], n. 56, p. 170-172, 1948.

Anexo 1

CONCEITOS BÁSICOS DE FÍSICA ATÔMICA E NUCLEAR

A matéria é constituída por moléculas e por átomos. Estes últimos são constituídos por um núcleo central e por elétrons, que giram ao redor do núcleo. O núcleo, por sua vez, é constituído por prótons e por nêutrons.

O elétron (e) é o "portador" da carga elétrica negativa elementar, que é semelhante a: $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ Coulomb (A1.1).

O próton, por sua vez, é o "portador" da carga elétrica positiva e tem o mesmo valor da carga negativa. Em um átomo, existe um número igual de cargas positivas (prótons) e de cargas negativas (elétrons); portanto, em condições normais, os elementos não possuem carga elétrica.

Os elementos foram classificados com base nas suas propriedades químico-físicas segundo a assim chamada Tabela Periódica ou Tabela de Mendeleev. O número de prótons ou de elétrons (iguais) de um elemento chama-se número atômico e é indicado pela letra Z.

Existem na natureza 92 elementos. O primeiro elemento da Tabela Periódica é o hidrogênio (símbolo H), que, portanto, é caracterizado por Z = 1 (1 elétron e 1 próton). O segundo elemento é o hélio (símbolo He), que é caracterizado por 2 elétrons e por 2 prótons. Saltando

24 elementos, consideremos, por exemplo, o elemento ferro (símbolo Fe), caracterizado por 26 prótons e 26 elétrons. Saltando muitos outros elementos, chegamos ao último elemento presente na natureza, o urânio, com símbolo U e número atômico 92, e que, portanto, é caracterizado por 92 prótons e outros tantos elétrons.

Os elétrons, em número igual a Z, giram ao redor do núcleo em órbitas elípticas, em uma situação de equilíbrio entre a força atrativa (colombiana) do núcleo e a força repulsiva (centrífuga). Além disso, os elétrons colocam-se em órbitas cada vez mais distantes do núcleo e, portanto, menos ligadas a ele, com um número máximo definido.

Na primeira órbita, chamada K, podem ficar no máximo 2 elétrons. Na segunda órbita, chamada L, no máximo 8. E assim por diante. Assim, os elétrons das órbitas mais externas são pouco ligados ao núcleo, podendo ser considerados praticamente livres. Por exemplo, no caso dos metais, cada átomo possui 1 ou 2 elétrons livres, chamados também de elétrons de condução. São esses elétrons, que se movem livremente no metal, os responsáveis pelas propriedades térmicas e elétricas dos metais. Além disso, em alguns metais, esses elétrons livres podem ser "extraídos" do metal, com uma mínima contribuição de energia, que se obtém, por exemplo, aquecendo o metal. Um caso típico é do tungstênio, que, por esse motivo, é muito usado como filamento nas lâmpadas, nos tubos catódicos e nos tubos de raios X. Um filamento de tungstênio, levado à incandescência por meio de uma corrente que nele circula, gerada por uma diferença de potencial, emite elétrons. Esses dão origem, no tubo catódico e no tubo de raios X, a uma "nuvem" de elétrons (raios catódicos), que são repelidos por uma placa carregada negativamente (catodo), colocada próximo do filamento. Em um tubo de raios X, esses elétrons são depois atraídos por uma placa carregada positivamente (anodo). Assim, os elétrons, repelidos pelo catodo e acelerados em direção ao anodo, que, também ele, é constituído por uma placa metálica, o atingem a uma grande velocidade. Os elétrons penetram no anodo e

são freados. Como consequência disso e também em razão do efeito fotoelétrico, são emitidos raios X, seja por freamento (*Bremsstrahlung*), seja por causa do efeito fotoelétrico.

Portanto, no núcleo do átomo, existem prótons, partículas carregadas em número igual ao número de elétrons, mas existem também nêutrons, partículas com massa praticamente igual à do próton, mas sem carga. O número de nêutrons em um mesmo elemento pode variar, sem que variem as propriedades físico-químicas do elemento. Normalmente, nos elementos leves, o número médio de nêutrons é quase igual ao de prótons, enquanto tende a aumentar com o aumento do número atômico.

Assim, um elemento em geral é constituído por um número variável de nêutrons, cuja variedade define os assim chamados isótopos. Por exemplo, o hidrogênio é caracterizado por 3 isótopos, o primeiro com 1 nêutron, o segundo com 2 nêutrons (chama-se deutério), o terceiro com 3 nêutrons (chamado trício). O número de isótopos pode ser consideravelmente grande. Por exemplo, o ferro é constituído por 10 isótopos, respectivamente com um número de nêutrons de 26 a 35. Desses, 4 estão naturalmente presentes na natureza, os outros são produzidos por meio de processos de "bombardeamento" com projéteis de várias naturezas. Os isótopos estáveis do ferro são: com 29 nêutrons, presente in natura a 5,8%; com 30 nêutrons, presente a 91,7%; com 31 nêutrons, presente a 2,2%; e, finalmente, com 32 nêutrons, presente a 0,3%. Portanto, em um pedaço de ferro, estão presentes os 4 isótopos acima mencionados, nos percentuais indicados.

Na física atômica, indica-se um elemento com o seu símbolo e com o número atômico embaixo, à esquerda. Por exemplo, o ferro é indicado $_{26}$Fe, o urânio $_{92}$U, etc.

Na física nuclear, quando se quer identificar o isótopo, acrescenta-se no alto, à esquerda, o número de nêutrons e, eventualmente, o número total de núcleons (soma de prótons e de nêutrons, também chamados

de núcleons, cujo número total é indicado por A), no alto à direita. Por exemplo, os 4 isótopos estáveis do ferro são assim indicados:

$_{26}{}^{28}Fe^{54}$, $_{26}{}^{30}Fe^{56}$, $_{26}{}^{31}Fe^{57}$, $_{26}{}^{32}Fe^{58}$

Em relação às massas, a massa do elétron tem o valor:

$m_e = 9{,}1 \times 10^{-28}$ gramas

A massa do próton é 1.839 vezes maior do que a do elétron, e a do nêutron é quase igual à do próton, sendo 1.836 vezes a massa do elétron. Esses valores indicam que a massa da matéria está praticamente concentrada no núcleo do átomo, tendo os elétrons uma massa irrelevante.

Em relação às dimensões do átomo e do núcleo, em uma primeira aproximação, pode-se considerá-las como as das pequenas esferas. Com essa aproximação grosseira, o átomo tem um raio da ordem de 10^{-7}cm - 10^{-8} cm, enquanto o núcleo é caracterizado por um raio da ordem de 10^{-12} cm - 10^{-13} cm. Obviamente, os dois raios dependem do número de elétrons (átomo) e do número de núcleons (núcleo).

Nem todos os isótopos presentes na natureza são estáveis; alguns são espontaneamente radioativos, no sentido de que se modificam espontaneamente, emitindo radiações de diferentes naturezas: raios α, β, γ. Enfim, podem ser sujeitos à fissão.

Muitos isótopos de elementos pesados, compreendidos entre Z = 82 e 92, decaem emitindo raios α. Por esse processo, passa-se de um isótopo $_ZX^A$ para um isótopo $_{Z-2}X^{A-4}$. Por exemplo, o isótopo $_{92}U^{232}$ decai para $_{90}Th^{228}$. O decaimento acontece com tempos característicos, destacados da seguinte relação exponencial:

$N(t) = N(0) \exp(-0.693\ t/t_{1/2})$

em que N(0) e N(t) são o número dos núcleos no tempo t = 0 e no tempo t, e $t_{1/2}$ indica o tempo depois do qual o número dos núcleos se

divide. Por exemplo, o isótopo $_{92}U^{232}$ é caracterizado por um tempo de divisão de 50 anos. Isso significa que, no início, eram N(0) núcleos de U^{232} e 0 núcleos de Th^{228}; depois de 50 anos, seriam N(0)/2 núcleos de U^{232} e N(0)/2 núcleos de Th^{228}.

Outros isótopos decaem emitindo raios β (elétrons negativos e^- ou elétrons positivos, ou pósitrons e^+. Esses dois tipos de decaimento têm origem na instabilidade de nêutrons e prótons livres, segundo as relações:

$n \rightarrow p + e^- + \nu$ decaimento β^-

$p \rightarrow n + e^+ + \nu$ decaimento β^+

Essas duas formas de decaimento frequentemente são acompanhadas pela simultânea emissão de raios γ.

Observa-se que existem isótopos radioativos naturais, p. ex. K^{40}, ou isótopos que derivam das cadeias radioativas do urânio (alguns isótopos do urânio e, além deles, isótopos do polônio, do rádio, etc.), enquanto muitos radioisótopos são produzidos artificialmente através da irradiação de isótopos estáveis com nêutrons, prótons, etc.

Alguns isótopos de elementos pesados podem, enfim, estar sujeitos ao processo de fissão. Isso acontece quando o núcleo de um isótopo de elemento pesado é "deformado" por um nêutron e se divide em duas partes de uma mesma ordem de grandeza.

Se considerarmos, por exemplo, a fissão do isótopo 235 do urânio:

$$_{92}U^{235} + n \rightarrow {}_{92}U^{236*} \rightarrow {}_{57}La^{147} + {}_{35}Br^{87} + 2n$$

em que $_{92}U^{236*}$ indica U^{236} em um estado excitado. Naturalmente, a fissão de $_{92}U^{236*}$ em $_{57}La^{147}$ e $_{35}Br^{87}$ constitui somente um dos possíveis produtos da fissão.

A "captura neutrônica", isto é, a captura de um nêutron pelo isótopo U^{238} leva, por sua vez, aos elementos transurânicos netúnio e plutônio, segundo as reações:

$_{92}U^{238} + n \rightarrow {}_{92}U^{239}$ (23 min) $\rightarrow {}_{93}U^{239}$ (2.4 d) $\rightarrow {}_{94}Pu^{239}$ (2.4×10^4 y)

A transição de $_{92}U^{239}$ para $_{93}U^{239}$ e de $_{93}U^{239}$ para $_{94}Pu^{239}$ acontece através de um decaimento β^-.

A diferença entre a fissão do U^{235} e do U^{238} está no fato de que o primeiro se fissiona praticamente com nêutrons de qualquer energia, enquanto o segundo se fissiona somente com nêutrons velozes. Este, todavia, segundo a Eq. (A1.6), irradiado com nêutrons, transforma-se em $_{94}Pu^{239}$, isótopo que se fissiona com nêutrons de qualquer energia.

A desaceleração dos nêutrons, quando se tem o objetivo de aumentar a probabilidade de fissão do U^{235}, acontece, por exemplo, imergindo o "combustível" (U^{235} ou Pu^{239}) em grafite ou em água pesada (os nêutrons são desacelerados pelas colisões com os átomos de carbono ou com as moléculas de água pesada).

Anexo 2

URÂNIO: UM PROTAGONISTA INVOLUNTÁRIO NA HISTÓRIA DA FÍSICA NUCLEAR

O urânio foi descoberto pelo químico alemão Martin Klaproth, em 1789, ano da Revolução Francesa, e tirou seu nome do planeta Urano, que acabava de ser descoberto. Esse é o elemento químico com uma das maiores densidades, igual a 19,3 g/cm^3.

O urânio não é um elemento abundante na Terra e tem uma concentração média de 2 g/t a 4 g/t. Atualmente, consideram-se exploráveis jazidas que contenham mais de 0,05% de óxido de urânio (U_3O_8); mas existem jazidas que superam os 10% e, sem dúvida, algumas chegam a 70% (Shinkolobwe, no Zaire). Segundo estudos recentes, as reservas mundiais de urânio giram em torno de 2,5 milhões de toneladas e estão distribuídas principalmente em quatro países – Austrália, Canadá, Nigéria e África do Sul –, onde se encontram ¾ das reservas. Se acrescentarmos os Estados Unidos, a França, a Namíbia, a Rússia e a China, chegaremos a 95% da produção total. Para dar um exemplo, em 1995, a produção de urânio foi de 40 mil toneladas.

Depois de extraído e triturado, o mineral é submetido in loco a tratamentos químicos, que dependem da concentração de urânio. Obtém-se

um concentrado que contém 70% ou mais de óxido de urânio que, por sua cor característica, é chamado de *yellow cake*, isto é, bolo amarelo.

Por mais de 100 anos, o urânio foi praticamente desprezado, motivo por que tinha pequeno valor comercial. Apenas alguns compostos do urânio eram utilizados para colorir, de amarelo, vidros e cerâmicas.

As coisas começaram a mudar a partir de 1896, quando Bequerell descobriu que os sais de urânio emitiam radiação e que poderiam impressionar uma chapa fotográfica (ver capítulo 3). Essa propriedade, que depois foi chamada de radioatividade, a seguir foi explorada pelo casal Curie, que descobriu que o urânio contém dois elementos posteriores, até então não identificados, o rádio e o polônio, que eram milhões de vezes mais radioativos que o urânio. Para "extrair" esses elementos do urânio, foi usada cerca de uma tonelada de pechblenda, proveniente de Joachimstal, região localizada na divisa entre a Alemanha e a Checoslováquia – hoje República Tcheca e Eslováquia. Na época, o rádio tornou-se o elemento mais caro (em 1920, 1 g custava US$ 120.000) porque era utilizado na terapia de tumores.

A seguir, foi analisada a composição isotópica do urânio, pricipalmente por Alfred Nier, sendo estudadas as radiações emitidas por ele. Viu-se que o urânio é constituído por três isótopos estáveis (ou melhor, com vida média bastante longa), isto é:

U^{234}, presente em uma concentração de 0,0057%, com uma vida média de $2,5 \times 10^5$ anos e que emite raios α e γ.

U^{235}, presente em uma concentração de 0,72%, com uma vida média de $7,1 \times 10^8$ anos e que emite raios α e γ.

O isótopo U^{235} é o responsável pela fissão e a matéria-prima da bomba atômica.

U^{238}, presente em uma concentração de 99,27%, com uma vida média de $4,5 \times 10^9$ anos e que emite raios α e γ.

O urânio natural, mistura desses três isótopos com vida média muitíssimo longa, é, no entanto, fracamente radioativo.

Entre 1934 e 1938, em vários laboratórios europeus, irradiou-se o urânio (e também o tório) com nêutrons, para verificar qual processo se produziria, depois que Fermi, em 1934, levantou a hipótese de que seriam produzidos transurânicos. Irène Curie, em Paris, Otto Hahn e Lise Meitner não estavam convencidos disso.

Em 19 de dezembro de 1938, uma segunda-feira, Hahn e Strassmann fizeram uma extraordinária descoberta: quando se irradiava o urânio com nêutrons, originava-se o bário (ver capítulo 8). Lise Meitner e seu sobrinho Robert O. Frisch levantaram a hipótese de que o urânio se dividia em dois fragmentos e calcularam que, nesse processo, chamado de fissão, fosse liberada uma grande quantidade de energia (ver capítulo 8). Pouco depois, durante o desenrolar desse processo de fissão do urânio, feitas novas medidas, concluiu-se que são emitidos dois ou três nêutrons secundários. Foi nesse momento que os físicos nucleares compreenderam que o processo de fissão poderia provocar uma reação em cadeia, que poderia levar à construção de uma bomba de enorme potência.

Além do mais, desde a primavera de 1939, reconheceu-se que o isótopo U^{235} era o maior "responsável" pelo processo de fissão (ver capítulo 8). Assim, nesse mesmo período, foi introduzido, por Francis Perrin, o conceito de "massa crítica", isto é, a massa de urânio necessária para dar origem a uma reação explosiva. Os primeiros que a calcularam, ou seja, F. Perrin, O. Frisch e R. Peierls, chegaram a uma quantidade de dezenas de toneladas.

A partir da primavera de 1939, o urânio começou a ser reabilitado, tendo se tornado um elemento muito pesquisado, em especial nos Estados Unidos e na Alemanha, onde, então, já se começava a pensar na construção de uma bomba atômica. Naquela época, as minas de urânio mais conhecidas eram as da Checoslováquia, que abasteciam os Curie,

as do Congo Belga, administradas pela empresa belga Union Minière du Haut-Katanga (eram as mais ricas, contendo acima de 60% de óxido de urânio) e aquelas recentemente descobertas no Canadá (Great Bear Lake, no noroeste do país).

Em 10 de maio de 1940, a Alemanha invadiu a Bélgica e apropriou-se de alguns milhares de toneladas de minério de urânio da Union Minière, provenientes das minas de Katanga. Assim, o problema do urânio estava resolvido para a Alemanha, que, além das minas de Katanga, tinha à sua disposição as minas de Joachimstal, por conta da ocupação da Checoslováquia. Tratava-se, agora, de purificar os minerais, e, se possível, extrair o U-235, o que não era tarefa simples.

O programa nuclear americano foi, no início, bastante tímido, tanto é que só começaram a dedicar-se ao urânio a partir de 1941. Em maio de 1941, o governo americano encomendou 8 t de urânio ao Canadá e, em março de 1942, mais 80 t. Quando, finalmente, decidiram investir pesadamente em um programa nuclear de grande porte (o famoso Projeto Manhattan), a primeira providência do seu chefe, o enérgico general Groves, empossado em 17 de setembro de 1942, foi procurar grandes fornecedores do mineral. Soube, então, que, no porto de New York, exatamente em Staten Island, encontravam-se, desde 1939, cerca de 1.250 t de mineral, contendo 68% de óxido de urânio, em 2.000 recepientes de aço. A história desse depósito é muito interessante e tem como protagonista um engenheiro de minas belga, Edgar Sengier (HUNT, 1948).

Sengier, recém-formado em engenharia de minas, chegou ao alto Katanga, no Congo Belga, em 1911, tendo percorrido a pé os últimos 150 km para chegar às minas. Na década de 1930, tinha se tornado um dos mais competentes presidentes da Union Minière, a proprietária das minas, que produziam, além de urânio, também cobre, cobalto, estanho e diamantes.

Naquela época, o urânio era usado principalmente para extrair o rádio, que era empregado na terapia de tumores, e, secundariamente, para colorir de amarelo vidros de grande valor.

Desde a primavera de 1939, Sengier tinha sido avisado, separadamente, por Frédéric Joliot (ver capítulo 7) e por Henry Tizard (chefe da comissão que tratava da pesquisa com objetivos militares, na Inglaterra), sobre a importância do urânio. Em 8 de maio de 1939, F. Joliot, que acabara de determinar em 3,5 o número de nêutrons emitidos por fissão, e que, portanto, tinha intuído as potencialidades do urânio para objetivos energéticos e militares, foi a Bruxelas encontrar-se com Sengier. Em 10 de maio, Sengier encontrou-se, em Londres, com Henry Tizard, que, mesmo hesitante, era pressionado a investir nesse minério. Em 13 de maio, Sengier retornou a Paris, onde firmou um acordo de fornecimento de urânio aos franceses.

Foi, então, levantada a hipótese de que a Alemanha poderia tomar posse do urânio belga se a guerra tivesse um desdobramento desfavorável aos Aliados. Rapidamente, Sengier compreendeu que o urânio estava prestes a tornar-se o mineral mais cobiçado pelos militares de todo o mundo, e, pensando assim, fez da Union Minière a principal fonte de urânio no mundo. Antes que as coisas se precipitassem na Europa, carregou 1.250 t de urânio em 200 recipientes de aço e os transportou da África para os Estados Unidos, e estocou-os em New York, precisamente em Staten Island. Depois, mudou-se para New York, onde abriu um escritório na Broad Street, nas proximidades de Wall Street, que chamou de "African Metals".

Por muito tempo, Sengier tentou chamar a atenção do governo americano sobre o urânio estocado em Staten Island, mas inutilmente, e a Comissão Briggs, criada pelo presidente Roosevelt para estudar a "questão do urânio", era lenta e ineficiente. As coisas só começaram a mudar quando o general Groves, chefe do Projeto Manhattan, mostrou grande

interesse em aumentar os estoques americanos de urânio a ser purificado e, eventualmente, enriquecido, uma vez que a quantidade de minério importada do Canadá era modesta.

Tendo tomado conhecimento do depósito de urânio em Staten Island, no dia seguinte à sua posse oficial, na sexta-feira, 18 de setembro de 1942, Groves enviou seu vice, K. Nichols, para comprar o urânio de Sengier. Foi o maior fornecimento de urânio para o programa americano de construção da bomba. Portanto, tanto a Alemanha como os Estados Unidos possuíam grande quantidade de urânio, mas tinham a enfrentar o grande problema de "extrair" um urânio, o mais puro possível, do mineral inicial, e, depois, separar o U-235, o combustível da bomba atômica.

A tarefa de purificar o urânio foi delegada a Auer, em Berlim, e à Eldorado Gold Mining canadense, que se encontrava em Port Hope, no lago Ontário, a 100 km a leste de Toronto, para os Estados Unidos.

Quanto à França, segundo acordos feitos por Joliot com Sengier, uma primeira entrega, de 5 t, chegou a Paris em junho, e uma segunda, de 3 t, em abril de 1940, pouco antes da ocupação da França pelos alemães. Essas 8 t de urânio foram arriscadamente transferidas para o Marrocos, antes da chegada dos alemães, e serviram, depois da guerra, para a construção dos primeiros pequenos reatores experimentais franceses.

Nesse período, ou seja, em 1939-1940, já se havia compreendido, tanto na Alemanha como nos Estados Unidos, que o componente útil para a fissão e, portanto, para a bomba, era o U-235. A "massa crítica" foi recalculada somente para o U-235. O. Frisch e R. Peierls a definiram em menos de 1 kg (PERRIN, 1939).

Separar o U-235 do urânio natural não era nada simples. Na Alemanha, foram estudados muitos métodos para a separação de U-235 do U-238 (centrifugação, difusão gasosa através de septos porosos, espectrometria de massa) e, finalmente, deu algum resultado a ultracentrifugação, que,

porém, não produziu quantidade significativa de U-235[101]. Por seu turno, nos Estados Unidos, foi feito um enorme esforço industrial e, assim, nos laboratórios de Oak Ridge, em 1945, já eram produzidos, por meio da difusão através de membranas e separação eletromagnética, 200 g de U-235 por dia.

Um derivado fundamental do urânio, último elemento natural presente in natura, é o plutônio.

De fato, compreendeu-se rapidamente, primeiro na teoria, por parte de Niels Bohr, em 1939 e depois em 1940, tanto na Alemanha como nos Estados Unidos, que o U-238, o isótopo mais comum do urânio, quando irradiado com nêutrons dava origem primeiro ao netúnio-239 e, depois, ao plutônio-239. Este último isótopo mostrou ser o ideal para construir uma bomba, porque era sujeito à fissão com elevada probabilidade, tanto com nêutrons lentos como com os velozes (ver capítulo 8).

As reações que acontecem são as seguintes:

$$_{92}U^{238} + n \rightarrow {}_{92}U^{239} \rightarrow {}_{93}Np^{239} + e^{-} + \nu \rightarrow {}_{94}Pu^{239} + e^{-} + \nu$$

As primeiras três reações acontecem em qualquer dia, enquanto o Pu-239 é praticamente estável, decaindo com uma vida média de 24.360 anos.

Atualmente, são conhecidos 23 isótopos do plutônio, todos radioativos e todos emissores de partículas γ. Vai-se do $_{94}Pu^{228}$ ao $_{94}Pu^{247}$.

Naturalmente, o mais importante é o $_{94}Pu^{239}$, que decai com uma vida média de 24.110 anos. O $_{94}Pu^{238}$, que decai com uma vida média de

---

[101] Paul Harteck and Johannes Jensen. **Berechnung des Trenneffektes und der Ausbeute verschiedenen Zentrifugenanordnungen zur Erhöhung des Wirkungsgrades einer einzelnen Zentrifuge**. KPFB G-158, fevereiro 1943. Documento não publicado. Nos arquivos de Haigerloch existem cópias de obras originais de pesquisa nuclear alemã do período de 1939 a 1945, ver informações em: <http://www.haigerloch.de/stadt/atomkeller/geheimberichte_verzeichnis.html>. Acesso em: 18 jun. 2002.

84 anos, é, por seu turno, muito empregado para usos industriais, emitindo raios X do Np. O que tem a vida média mais longa é o $_{94}Pu^{242}$, que decai com uma vida média de $3,7 \times 10^5$ anos.

De qualquer forma, o Pu-239, fundamental para a bomba atômica, pode ser produzido irradiando-se o urânio natural com nêutrons, mas, para se ter muitos nêutrons, há necessidade de um reator.

Os Estados Unidos construíram o primeiro reator nuclear no fim de 1942: trata-se da famosa pilha de Fermi. Porém, anteriormente, no fim de 1940, G. Seaborg, A. C. Wahl e J. W. Kennedy irradiaram o U-235 com dêuterons do acelerador de Berkeley, produzindo o isótopo Pu-239[102]. Alguns meses depois, conseguiram isolar quantidades mínimas. Decidiram chamar esse elemento de "plutonium", nome copiado do planeta Plutão, e o símbolo deveria ser Pl, mas preferiram colocar Pu.

Para os antigos romanos, Plutão era o deus dos seres inferiores, portanto, do inferno, e jamais um nome foi tão bem escolhido como esse, para designar esse elemento, principal "combustível" da bomba atômica (a de Nagasaki era, exatamente, de plutônio), que, pelo aspecto químico, era extremamente tóxico, em razão da sua emissão γ.

Voltando alguns anos no tempo, Fermi e seus colaboradores acreditavam, erroneamente, em 1934, que tinham produzido esse elemento irradiando urânio com nêutrons, e o chamaram de *espério*. Também O. Hahn, L. Meitner e F. Strassmann acreditaram, no período de 1934 a 1938, ter produzido o elemento 94, e o chamaram de *eka-osmium* (ver capítulo 8). Traços de plutônio são encontrados também nos minerais de urânio, em razão da, embora pequena, irradiação natural de urânio com nêutrons, por esse mesmo produto, para fissão.

---

[102] No final de 1940, Seaborg, G.; A. C. Wahl e J. W. Kennedy irradiaram U-235 com dêuterons do acelerador de Berkeley, produzindo o isótopo Pu-239.

A primeira quantidade relevante de Pu-239, da ordem de poucos miligramas, foi produzida com o reator nuclear de Hanford (localidade vizinha a Washington), em novembro de 1943. Mas, enquanto os Estados Unidos dispunham de uma dezena de aceleradores (e depois de outubro de 1943, do reator nuclear de Hanford, construído ad hoc para a produção de plutônio), a Alemanha, também por "mérito" do nazifascismo, não possuía nenhum. Para os alemães, o único acelerador disponível era o de Joliot-Curie, em Paris. Nesse caso, torna-se inevitável mostrar a diferença entre a Alemanha e os Estados Unidos: no primeiro país foram investidas somas ridículas no Projeto Uranverein, também por ação de frenagem dos cientistas, enquanto, nos Estados Unidos, foram investidas, no Projeto Manhattan, somas enormes e recursos humanos excepcionais.

Em 2 de dezembro de 1942, no "Stagg Field" da Universidade de Chicago, foi terminada a construção do primeiro reator nuclear por uma equipe dirigida por Enrico Fermi. Este, chamado CP-1 (Chicago pile one), era constituído por 350 t de grafite (cerca de 40.000 blocos), 36,5 t de óxido de urânio e 5,6 t de urânio puro (em forma de esferas). O CP-1 custou cerca de 1 milhão de dólares. Chegou a um valor K = 1,0006 e a uma potência de meio Watt, e funcionou por aproximadamente 3 meses. Nesse período, foi usado para vários objetivos: a pureza dos materiais, urânio e grafite, que continuavam a ser produzidos; o andamento do índice K com a temperatura; a avaliação da água pesada como moderadora em um reator – que depois foi construído e começou a funcionar em maio de 1944, etc. Porém, rapidamente tornou-se necessário construir um reator de dimensões maiores e, portanto, em fevereiro de 1943, o reator CP-1 foi desmontado e remontado, melhorado e modificado, e colocado em funcionamento a 110 kW, no novo Laboratório de Argonne, sendo chamado de CP-2.

Em relação à Alemanha, embora Heisenberg, por várias vezes, tivesse reclamado do atraso no fornecimento de urânio, as prioridades na Ale-

manha eram outras. Assim, sabemos que o programa alemão de construção da bomba foi abandonado em junho de 1942, restando somente um programa de construção de um ou mais reatores nucleares, que não necessitavam de grande quantidade de urânio natural, e que, afinal, jamais foram concluídos. Portanto, a Alemanha tinha à sua disposição pelo menos mil toneladas de urânio, que, na prática, jamais foram usadas. De fato, no verão de 1943, Speer aprovou a solicitação do Exército de usar o urânio para os projéteis perfurantes.

Mais tarde, entre os anos de 1944 e 1945, uma das tarefas da missão americana Alsos foi exatamente a de identificar o urânio na posse dos alemães e, se possível, recuperá-lo. Por meio de informações colhidas em Londres, em janeiro de 1944, 660 t de urânio, transferidas da Bélgica, que estava ocupada pela Alemanha, tinham sido levadas para Duisburg, em novembro de 1943.

O coronel Boris Pash, da missão Alsos, viajou para a Bélgica para confirmar a veracidade da notícia e tentar a recuperação. Rapidamente, em junho de 1944, localizou 60 t de mineral em Oolen, nas proximidades de Bruxelas, que foram enviadas para os Estados Unidos, por intermédio da Inglaterra. Pelo exame dos documentos da Union Minière, em Bruxelas, descobriu-se que, a partir de junho de 1940, tinham sido enviadas para a Alemanha cerca de 1.000 t de urânio. Além disso, parece terem sido enviados três vagões de carga, localizados perto de Tolosa, antes da chegada dos militares alemães, em 1940. Uma parte desse mineral foi recuperada e também enviada para os EUA. Contribuiu para a construção da bomba de Hiroshima.

Finalmente, em 20 de abril de 1945, foram recuperadas cerca de mil toneladas de mineral de urânio, que se encontravam nas proximidades da Wirtschaftliche Forschung Gesellschaft de Strassfurt, perto de Wiesbaden. É a última parte daquela carga furtada ou adquirida da Union Minière. Assim, no final de 1944, os Estados Unidos já possuíam

quase todo o urânio mundial. Além disso, na primavera de 1945, os americanos possuíam U-235 para algumas bombas de urânio e Pu-239 para uma bomba. O teste de Alamogordo, no deserto do Novo México, "consumiu" uma bomba de urânio. As outras duas foram lançadas sobre o Japão.

A bomba atômica que foi lançada sobre Hiroshima em 6 de agosto de 1945 era constituída por cerca de 55 kg de U-235. E a que foi lançada sobre Nagasaki em 9 de agosto era constituída por cerca de 6 kg de Pu-239.

Em relação ao programa nuclear soviético, este foi iniciado com seriedade somente em 1943, já que, antes desse período, o país estava empenhado na própria sobrevivência. Os pesquisadores soviéticos de repente encontraram-se diante de um problema: a falta de urânio. Com base nesse argumento, os especialistas dos Estados Unidos acreditavam que a URSS teria grande dificuldade em construir a bomba atômica. Mas engavam-se. Com efeito, em 1945, a União Soviética tinha à sua disposição cerca de 5 t de urânio, e mais algumas pequenas minas (compare-se esse dado com as cerca de mil toneladas à disposição dos cientistas alemães e americanos), mas, no final da guerra contra a Alemanha, em 1945, 45 t de urânio foram encontradas na Alemanha Oriental (ver anexo 3).

Ao mesmo tempo, a União Soviética empenhava-se em procurar novas minas de urânio. Milhares de pessoas foram designadas para a pesquisa de sinais de radioatividade nas montanhas da União Soviética. Como resultado, foram identificadas cerca de 50 minas de urânio, para um total de uma reserva de cerca de 80.000 t. De 1945 a 1955, a disponibilidade de urânio passou de 5 t para 6.800 t. Além disso, a URSS tornou-se dona das minas de urânio da Checoslováquia.

A essa altura, a disponibilidade de urânio não era mais um problema e passou-se para a fase seguinte, que era conseguir o material para a

bomba: U-235 ou Pu. O caminho escolhido pelos soviéticos foi o do plutônio e, em 1948, foi construído em Mayak, na Sibéria, um reator nuclear ad hoc, de urânio, moderado com grafite e resfriado com água, de modo análogo ao do reator nuclear de Hanford, nos EUA. Esse reator, que usava 150 t de urânio e 365 t de grafite, começou a funcionar em 10 de junho de 1948. O sistema de reprocessamento do combustível começou a trabalhar no fim de 1948. Enquanto isso, em março de 1947, um programa soviético de construção de submarinos nucleares estava começando.

Naquele período, na URSS, cerca de 300 mil pessoas foram empregadas no programa nuclear.

O Japão foi quem teve maior dificuldade para o abastecimento de urânio. Tendo, ele também, um programa nuclear para a construção de uma bomba, não dispunha, porém, de minas de urânio, embora pudesse utilizar as da Coreia e da Birmânia, ambos os países ocupados pelos japoneses. Porém, essas eram de importância bastante modesta (ver anexo 4).

Finalmente, no início de 1945, o Japão pediu ajuda à Alemanha, que lhe enviou um submarino, o U-Boot 234, carregado com aproximadamente 600 kg de óxido de urânio. Esse carregamento não era suficiente para resolver as necessidades do programa nuclear japonês, que tinha subestimado em cerca de 1 kg de U-235 a massa crítica necessária. Não se sabe, também, se o país seria capaz de separar o U-235. De qualquer forma, enquanto o submarino navegava pelo Atlântico, a Alemanha se rendia e o almirante Doenitz pedia o armistício. O submarino U-234 rendeu-se, então, aos americanos, e os 600 kg de urânio acabaram no caldeirão de urânio americano, que, provavelmente, naquele momento, nem devia precisar deles. E assim terminava o projeto nuclear japonês que, contudo, estava muito atrasado em relação ao americano.Concluindo, dos cinco países que começaram um programa para a construção

de armas nucleares durante a II Guerra Mundial, isto é, a Alemanha, a Inglaterra, a URSS, os EUA e o Japão, somente os EUA e a URSS conseguiram levá-lo até o fim. A URSS, pelo menos no início, por meio da contribuição de uma grande rede de espiões e informantes. O programa britânico associou-se, em 1942, ao americano.

Conforme pudemos compreender, para que o programa fosse bem-sucedido, eram necessárias, a posteriori, grande capacidade científica, alta disponibilidade de urânio, meios industriais ilimitados e um elevado número de trabalhadores, além, naturalmente, da vontade, tanto científica quanto política, de conduzir a bom termo o programa nuclear.

Referências

HUNT, V. **The Manhattan-Uranium Connection**. Disponível em: <www.amherst.edu/~mrhunt/uranium>. Acesso em: 22 abril 2002.

PERRIN, F. Calcul relatif aux conditions eventuelles de transmutation en chaine de l'uranium. **Comptes Rendus**, Paris, v. B208, p. 1394-1396, 1939.

Anexo 3

CRONOLOGIA DOS ACONTECIMENTOS QUE LEVARAM À BOMBA ATÔMICA

30 de janeiro de 1933: Adolf Hitler torna-se Chanceler.

12 de março de 1938: As tropas alemãs entram na Áustria, que é anexada ao III Reich (*Anschluss*).

30 de setembro de 1938: Acordo de Munique, entre a Alemanha, a Itália, a França e a Inglaterra. A Alemanha fica com o "caminho livre" para anexar os Sudetas – Sudetenland.

1938

19 de dezembro (segunda-feira): Otto Hahn e Fritz Strassmann descobrem, em Berlin-Dahlem, a "fissão do urânio" (identificam a presença de bário após o bombardeamento de urânio com nêutrons).

28 de dezembro: O. Hahn envia seu trabalho relativo à identificação do bário após o bombardeamento de urânio com nêutrons à revista *Die Naturwissenschaften*.

Final de dezembro: Lise Meitner e seu sobrinho Otto Frisch, em férias na Suécia, "interpretam" como fissão as medidas de Hahn e de Strassmann, com base no modelo da gota desenvolvido por Bohr em 1936. Enviam esse trabalho à *Nature*.

1939

2 de janeiro: Enrico Fermi chega a New York com a família, acolhido por G. Pegram, e hospeda-se, temporariamente, no King's Cross Hotel de Manhattan, em frente à Columbia University, onde tinha aceitado uma proposta de trabalho.

6 de janeiro: o trabalho de Hahn e de Strassmann é publicado na *Die Naturwissenschaften*.

13 de janeiro (sexta-feira): Otto Frisch "vê" em Copenhague os traços deixados pelos fragmentos das fissões de urânio.

16 de janeiro: Niels Bohr chega a New York com seu filho Aage e com Rosenfeld.

16 de janeiro: O. Frisch envia à *Nature* seu trabalho sobre a interpretação da fissão (com L. Meitner) e aquele sobre a identificação dos traços da fissão.

16 de janeiro: a notícia da descoberta da fissão chega aos Estados Unidos, levada por Rosenfeld, em Princeton.

De 16 a 20 de janeiro: I. Rabi e W. Lamb, que nessa semana estavam trabalhando em Princeton, tomam conhecimento da fissão. Em 20 de janeiro, retornam a New York, e, nesse mesmo dia, ou no dia 23, informam o fato a Fermi.

De 16 a 20 de janeiro: E. Wigner tomou conhecimento da fissão em Princeton quando estava internado no hospital com icterícia. L. Szilàrd

fica sabendo do fato por intermédio de Wigner, quando este vai visitá-lo no hospital.

20 de janeiro: N. Bohr envia à *Nature* um artigo sobre alguns aspectos da fissão (também para preservar a prioridade de O. Frisch e L. Meitner).

25 de janeiro: Fermi sugere e propõe a Anderson e a Dunning um experimento para "verificar" a fissão. Nessa mesma noite, também Dunning "vê" claramente os traços da fissão do urânio.

25 de janeiro: Szilàrd toma conhecimento, por intermédio de E. Wigner, das medidas de Hahn e Strassmann, e imediatamente compreende que se pode chegar a uma bomba. Escreve, então, uma carta, mostrando sua preocupação, a Lewis Strass, um amigo banqueiro que, muitos anos depois, será o presidente da Comissão Atômica.

26 de janeiro: Frédéric Joliot e seus colaboradores "veem", também eles, os traços da fissão do urânio.

26 de janeiro (quinta-feira): Conferência de Física em Washington, durante a qual Fermi e Bohr explicam o experimento de Hahn-Strassmann e a interpretação de Meitner-Frisch.

Final de janeiro: chegam, nos Estados Unidos, cópias da revista *Die Naturwissenschaften* com o artigo de Hahn e de Strassmann.

5 de fevereiro: G. Placzek, também ele em Princeton, discute, durante o café da manhã, com N. Bohr, e, repentinamente, intui que é o U-235 a ser fissionado com nêutrons lentos, enquanto o U-238 o é com os nêutrons velozes e com os de 25 eV.

17 de fevereiro: Edwin Mcmillan e colaboradores identificam, também eles, os traços da fissão do urânio.

20 de fevereiro: Bohr e Wheeler escrevem um trabalho no qual levan-

tam a hipótese de que é o U-235 o isótopo de urânio responsável pela fissão com nêutrons térmicos.

Fevereiro: J. Dunning, A. von Grosse e E. Booth determinam experimentalmente, na Columbia University, que o U-235 é físsil para os nêutrons lentos.

16 de março: a Wehrmacht entra em Praga.

16 de março: Fermi, Anderson e Dunning e, separadamente, Szilàrd e Zinn, medem os nêutrons secundários da fissão.

17 de março: Fermi tem um encontro, em Washington, com especialistas técnicos da Marinha Militar, para lhes descrever as possíveis consequências da fissão.

18 de março: é publicado na *Nature* o artigo de Joliot e colaboradores sobre a fissão.

Março: o grupo de Joliot e, separadamente, o de Fermi e o de Szilàrd medem os nêutrons secundários emitidos na fissão. São cerca de 2,5/fissão, sufucientes para uma reação em cadeia.

Meados de abril: L. Szilàrd consegue obter 230 kg de óxido de urânio; com Fermi e colaboradores, é realizada uma estrutura em forma de rede, tendo ao centro uma fonte neutrônica de Ra-Be; demonstra-se que o U emite mais nêutrons do que absorve.

24 de abril: (depois de enviada uma carta escrita por P. Harteck e W. Groth ao Ministério da Guerra). Junto ao Ministério da Educação, em Berlim, é realizada uma reunião sobre a fissão com um grupo de pesquisa organizado pelo escritório da Artilharia do Exército Alemão, sob a direção do general e físico Erich Schumann. Participaram, entre outros, Esau (presidente do Conselho de Pesquisas do Reich), Mattauch, von Weizsäcker, Flügge e mais alguns. Foi cunhado o termo "Uranverein" (Clube do Urânio).

1º de maio: Francis Perrin, filho do Prêmio Nobel Jean Perrin, e colaborador de F. Joliot, usa, pela primeira vez, o conceito de "massa crítica" para designar a mínima quantidade de urânio com condição de manter uma reação em cadeia.

10 de maio: Henry Tizard, presidente da Comissão Científica para a Proteção Antiaérea Inglesa, encontra-se com Edgar Sengier, diretor-geral das Minas Belgas, para adverti-lo de que "[...] tem em mãos alguma coisa (mineral de urânio) que pode significar uma catástrofe para o seu e para o meu país, se cair em mãos de um inimigo em potencial". Alguns dias depois, Sengier encontra F. Joliot em Paris, que o convence a transferir os minerais para New York.

27 de maio: Depois de algumas semanas de intensas pesquisas em Berkeley, Abelson e McMillan enviam à *Physical Review* o artigo *O elemento radioativo 93*.

27 de maio: L. A. Turner envia a Szilàrd o "profético" trabalho sobre a fissão, no qual são levantadas hipóteses sobre as potencialidades de fissão do elemento 94, ainda desconhecido.

Junho: aparece na *Die Naturwissenschaften* um artigo de Flüge, no qual se fala, explicitamente, sobre a possibilidade de uso da fissão para fins militares.

16 de julho (domingo): Wigner (que faz as vezes de motorista) e Szilàrd vão se encontrar com Einstein, que estava em férias em Peconic. Szilàrd explica a Einstein os possíveis usos da fissão. Einstein: Daran habe ich gar nicht gedacht.

19 de julho: Szilàrd propõe-se a chegar até Roosevelt e, para isso, contata, por intermédio de seu amigo Gustav Stolper, Alexander Sachs, imigrante russo, depois formado nos USA, que é vizinho de Roosevelt.

30 de julho: E. Teller (que faz as vezes de motorista) e Szilàrd visitam novamente Einstein em Peconic. São esboçadas duas cartas para

Roosevelt, uma mais curta que a outra, que depois Szilàrd traduziu do alemão para o inglês. A seguir, são enviadas a Einstein, que assina as duas, em 2 de agosto.

Agosto: Fermi e Szilàrd (separadamente) levantam a hipótese de que a grafite possa ser o moderador ideal para os nêutrons (velozes) da fissão.

15 de agosto: a famosa carta de Einstein (na realidade escrita por Szilàrd) sobre a possível construção de uma bomba atômica pela Alemanha é passada a Alexander Sachs, com a recomendação de que ele a entregasse a Roosevelt.

31 de agosto: N. Bohr e J. A. Wheeler publicam uma trabalho teórico sobre a fissão, no qual é sustentado que o U-235 é mais físsil do que o U-238, e que o elemento 94-239 (que logo depois será descoberto e chamado de plutônio) deve ser também muito físsil.

Setembro: artigo de Bohr levanta a hipótese de que o elemento transurânico, que depois será chamado de plutônio, possa ser, também ele, fortemente físsil.

1º de setembro: a Alemanha invade a Polônia. A França e a Inglaterra declaram guerra à Alemanha.

16 de setembro: Uranverein – próximo ao Ministério da Guerra em Berlim, no Serviço de Abastecimento do Exército (organizada por Erich Schumann), acontece a primeira reunião militar para definir um programa nuclear experimental. Participaram da reunião, entre outros: Hahn, Geiger, Flügge, Mattauch, Bothe, Harteck, Hoffmann, Diebner (responsável administrativo), Bagge, Döpel, Joos, von Weizsäcker e Stetter. Discute-se a possibilidade de se obterem armas a partir da fissão. Fica decidido envolver Heisenberg.

26 de setembro: Uranverein – decide-se desenvolver pesquisas em diversos locais: Berlin-Dahlem (Diebner, von Weizsäcker, Wirtz), Leipzig

(Heisenberg), Gottow (Diebner), Hamburgo (Harteck e colaboradores) e Heidelberg (Bothe). Devem ser focalizados dois problemas: a separação do U-235 e a escolha do moderador.

11 de outubro: Alexander Sachs entrega a carta de Einstein-Szilàrd (a carta mais longa) para Roosevelt e discute seus termos com ele.

Em data posterior a 11 de outubro: Roosevelt nomeia um Comitê Consultivo para o Urânio, presidido por L. J. Briggs, diretor do National Bureau of Standards.

21 de outubro: primeira reunião do Comitê Briggs em Washington, constituído por: Lyman Briggs (presidente), Szilàrd, Wigner, Sachs, Teller, Army Lt. Col. Adamson e Navy Cmdr. Hoover. Nessa reunião, são destinados US$ 6.000 para os experimentos de Fermi com a grafite. Essa quantia só é entregue no mês de março do ano seguinte, depois de pressão feita por Szilàrd.

Entre novembro e dezembro: Uranverein – Harteck informa que o combustível e o moderador devem ser fisicamente separados. Heisenberg deduz, das considerações teóricas, que a água não é boa como moderadora, mas que a água pesada (D_2O) deveria se prestar a esse objetivo.

Nos últimos meses: O. R. Frisch, R. Peierls e F. Perrin calculam a massa crítica para o urânio natural. É avaliado em várias dezenas de toneladas.

1940

9 de janeiro: Segrè e Seaborg bombardeiam 10 g de uranium nitrate hydrate no cíclotrom de Berkeley, com a intenção de produzir o elemento 94.

25 de janeiro (terça-feira): Wahl, Seaborg e colaboradores demonstram que a atividade alfa produzida pela irradiação de 9 de janeiro é devida ao U-235.

10 de fevereiro: Frisch e Peierls, na Universidade de Birmingham, consideram a possibilidade de fissão do U-235 com nêutrons velozes. Calculam a massa crítica do U-235, que é da ordem de 1 libra. Não é necessário um moderador. Em março, escrevem um memorando e o entregam a Mark Oliphant (diretor dos laboratórios de Birmingham), que o passa para Henry T. Tizard, chairman do Committee on the Scientific Survey of Air Defense.

28-29 de fevereiro: Alfred Nier produz pequenas quantidades de U^{234}, U^{235} e U^{238} com um espectrômetro de massa.

29 de fevereiro: Nier envia uma microamostra do isótopo U-235 à Columbia.

Março: é instituída, na Grã-Bretanha, a Comissão (que mais tarde será chamada de M.A.U.D.) para avaliar a possibilidade de construção de uma bomba atômica. É presidida por G. P. Thomson e constituída, entre outros, por J. Chadwick e J. Cockroft. Na primavera, J. R. Dunning envia um memorando a Pegram, no qual, partindo das medidas com o U^{235}, propõe o método da difusão através de septos porosos, para separar o isótopo U^{235}.

2 de março: J. R. Dunning, E. T. Booth e A. von Grosse demonstram experimentalmente que é mesmo o U^{235} que é fissionado com nêutrons lentos.

2 de março: John Dunning faz, na Columbia, a primeira medida da enorme divisão por colisão da fissão do U-235.

9 de abril: a Alemanha invade a Dinamarca e a Noruega.

10 de abril: primeira reunião do Comitê inglês MAUD, organizado por Tizard, sobre o problema do urânio. O projeto inglês foi chamado "Tube Alloys". Trabalha na linha da separação isotópica e da fissão veloz.

10 de maio: a Alemanha invade a Holanda, a Bélgica e a França.

10 de maio: George Kistiakowski sugere a difusão gasosa como meio para produzir o U-235.

10 de maio: os alemães invadem a Bélgica e furtam milhares de toneladas de minerais de urânio da Union Minière.

27 de maio: Louis Turner envia a Szilàrd um manuscrito, no qual levanta a hipótese de que o isótopo 94-239 deveria ser altamente físsil, e que poderia ser produzido bombardeando o U-238 com nêutrons, para formar o U-239, que depois de dois decaimentos beta formará, em seguida, os isótopos 93-239 (netúnio) e 94-239 (plutônio).

27 de maio: E. McMillan e P. Abelson produzem Np-239 bombardeando urânio com nêutrons.

Junho: Comitê MAUD – Franz Simon inicia pesquisas sobre a separação isotópica por meio da difusão gasosa.

18 de junho: Halban e Kowarski, fugindo da França, chegam à Grã-Bretanha com 26 latas de água pesada. Continuam suas pesquisas no Cavendish Laboratory; demonstram, no final de 1940, que se pode obter uma reação em cadeia divergente (k = 1.05) com um reatorzinho de urânio natural e água pesada.

1º de julho: é criado, nos EUA, o National Defense Research Council (NDRC), sob a direção de Vannevar Bush, que substituirá o Comitê Briggs.

17 de julho: Uranverein – von Weizsäcker faz um relato sobre o plutônio (que ele chama de eka-rhenium, produzido irradiando-se urânio com nêutrons), que poderia ser o isótopo ideal para um reator nuclear – ou uma bomba. No final de 1940, Houtermans, que trabalha no Laboratório de von Ardenne, chega, independentemente, à mesma conclusão. Falam com Heisenberg e decidem manter segredo. São realizadas muitas medidas de divisão por colisão, especialmente por Bothe e Döpel.

Heisenberg e Flügge concluem, com base em considerações teóricas, que a água pesada absorve pouco os nêutrons e, portanto, pode ser utilizada para um reator nuclear.

Verão: em várias universidades britânicas, estuda-se a possibilidade de ser feita uma bomba de U-235. O problema principal é o enriquecimento de urânio; com o urânio da McGill University, estuda-se o processo de difusão por membranas. O hexafluoreto de urânio, aquecido, transforma-se em gás. O U-235, mais leve, tem mais facilidade de passagem.

1º de novembro: o NRDC financia a Columbia University com US$ 40.000, para a construção de um reator subcrítico de óxido de urânio e grafite.

Outono: em Berlin-Dahlem, é construído o primeiro reator com camadas de U_3O_8 e parafina. Tem, como resultado, segundo as expectativas, um parâmetro k muito menor que 1.

Dezembro: Comitê MAUD – Simon faz referência sobre a possibilidade de separar o U-235 através da difusão gasosa.

14 de dezembro: G. Seaborg, A. Wahl e J. W. Kennedy produzem o Pu-239, irradiando o U-235 com dêuterons.

1941

Janeiro: Uranverein – Bothe faz um relatório sobre algumas medidas feitas, com base nas quais conclui que a grafite não seria adequada como moderadora; a única a ser proposta seria a água pesada. Uma análise da grafite fornecida pela Siemens a Bothe, feita por Hanle após a guerra, mostrou que a própria grafite não era suficientemente pura, mas continha impurezas, como de boro e de cádmio, de modo a aumentar muito a absorção de nêutrons.

Primeiros meses: G. Seaborg e Wahl demonstram ter produzido o elemento 94, que chamam de plutônio. Em seguida, J. W. Kennedy, G. T. Seaborg, E. Segrè e A. C. Wahl preparam cerca de 1 μg de Pu-239 e mostram que esse isótopo pode ser usado como combustível nuclear. J. Kennedy, Seaborg e Segrè demonstram que o Pu-239 fissiona-se com nêutrons lentos, indicando que é potencialmente utilizável para a construção de uma bomba. Além disso, o plutônio separa-se mais facilmente do urânio do que o U-235 do U-238. Em novembro de 1940, na Grã-Bretanha, Feather e Bretscher chegaram, teoricamente, às mesmas conclusões.

Março: com base nas medidas feitas na Carnegie Institution, Peierls recalcula a massa crítica para a bomba com 5 kg a 10 kg de U-235.

10 de março: na Carnegie Institution de Washington, é medida a divisão por colisão do U-235 por nêutrons velozes.

28 de março: Kennedy, Segrè e Seaborg mostram que o plutônio se fissiona com nêutrons lentos, mas também com nêutrons velozes.

Abril: Uranverein – Harteck informa que a separação do isótopo U-235 seria muito cara.

28 de maio (domingo): Segrè e Seaborg demonstram que a divisão por colisão de fissão com nêutrons lentos do Pu-239 é ~1,7 vez superior à do U-235.

10 de julho: Segrè e Seaborg medem a divisão por colisão de fissão do Pu-239 por nêutrons velozes, encontrando um valor elevado.

15 de julho: o Comitê MAUD aprova o relatório final que descreve, em detalhes, os elementos constitutivos de uma bomba atômica. Depois, o Comitê se dissolve.

Agosto: nos EUA, o Comitê Briggs é cancelado e é criado o "Uranium Committee", subdividido em quatro seções. Fermi é colocado como chefe da seção teórica.

Agosto: von Ardenne faz circular entre os físicos interessados um pró-memória de Houtermans sobre a possibilidade de utilizar o elemento 94 para a fissão.

Agosto: Mark Oliphant dirige-se aos EUA para discutir com os americanos o relatório conclusivo do projeto M.A.U.D.

Setembro: Fermi e sua equipe completam a montagem de um reator subcrítico na Columbia University. Obtêm o valor k = 0.83.

14 de setembro (domingo): Heisenberg viaja para Copenhague; em um dia não especificado, acontece o famoso colóquio com Bohr, que deu origem a tantas discussões sobre o seu real conteúdo (ver capítulo 10).

3 de outubro: o relatório final do Comitê MAUD é enviado ao governo americano.

21 de outubro: em uma reunião com Compton, Lawrence, Oppenheimer, Kistiakowski e Conant, é analisado o relatório MAUD e chega-se a um acordo sobre a possibilidade de construção de uma bomba atômica (*Relatório Compton*).

27 de novembro: Vannevar Bush entrega ao presidente Roosevelt o *Relatório Compton*.

1º de dezembro: os EUA decidem seguir tanto o caminho do urânio como o do plutônio.

6 de dezembro: em uma reunião em Washington, Bush organiza um programa acelerado de pesquisa; em especial, é criado o projeto S-1, dedicado às armas baseadas na fissão.

7 de dezembro: o Japão ataca a base naval americana de Pearl Harbour.

8 de dezembro: os Estados Unidos declaram guerra ao Japão; em 11 de dezembro, declaram guerra à Alemanha e à Itália.

1942

10 de janeiro: Compton cria, em Chicago, o "Metallurgical Laboratory" (Met).

Fevereiro: Compton encarrega Gregory Breit de coordenar as pesquisas físicas sobre nêutrons velozes. Ele deixará essa incumbência poucos meses depois.

Fevereiro: os EUA encomendam 60 t de óxido de urânio à canadense Eldorado.

26 de fevereiro: em Berlim, o Exército organiza, junto à Harnack Haus, uma conferência de "despedida" das aplicações militares da fissão; em paralelo, o Conselho de Pesquisas do Reich, presidido por C. Ramsauer, organiza, em outro local, um congresso, com os mesmos assuntos, para os militares. Segundo Bagge, que presenciou o colóquio, o general Becker perguntou a Heisenberg se ele seria capaz de, no período de 9 meses, produzir uma bomba; ao que o cientista respondeu que não.

Primavera: Klaus Fuchs, que, naquela época, trabalhava com Born e Peierls, em Edimburgo, começa a passar informações sobre a bomba atômica aos russos.

10 de abril: Fermi transfere-se para Chicago, para o ML, e começa a construção de um reator nuclear crítico.

10 de abril: Seaborg transfere-se para Chicago, para começar um projeto industrial de separação e de preparação de plutônio.

10 de abril: começa, na Kellog Co., o projeto de difusão gasosa para a separação de U-235; é concebido um projeto-piloto para a difusão gasosa.

Junho: o projeto americano da bomba atômica é transferido para os militares; como o centro administrativo da nova organização fica em New York, foi chamado de Manhattan Engineer District, e depois substituído

por Manhattan Project. O general W. D. Styer, do Serviço de Abastecimento do Exército, coloca o coronel Groves em primeiro lugar na relação dos possíveis candidatos à direção.

4 de junho (quinta-feira): reunião conclusiva, com Speer, na Harnack Haus. Participam, entre os cientistas: Hahn, Strassmann, Jensen, Wirtz, von Weizsäcker, Bagge, Bothe, Clusius, von Ardenne, Heisenberg, Sommerfeld, Diebner, Harteck, Joos, Groth e Thiessen. Diante das claras solicitações de Speer sobre a possibilidade de produzir armas nucleares, Heisenberg mostra-se esquivo, declarando que precisaria de pelo menos 2 anos. Depois, Heisenberg explicou que os progressos eram lentos em função da falta, na Alemanha, de um cíclotron. Em relação às dimensões de uma possível bomba, disse: "[...] como um abacaxi." Ou, segundo outros, "[...] como um pequeno balão".

Outros cientistas, como Diebner e Harteck, mostravam-se mais confiantes do que Heisenberg, cuja autoridade, porém, era indiscutível. Speer acreditava em Heisenberg.

10 de junho: o presidente Roosevelt aprova a despesa de 85 milhões de dólares para o programa de desenvolvimento de armas.

23 de junho: Speer faz um relatório a Hitler sobre a cisão do urânio.

23 de junho: no laboratório de Heisenberg, em Leipzig, acontece uma reação incontrolada, com superaquecimento do reator a urânio natural e água pesada. O laboratório ficou praticamente destruído.

Agosto: o grupo de Fermi demonstra a possibilidade de realização de um reator com k = 1,04.

20 de agosto: Seaborg isola plutônio puro: em 10 de setembro, é produzido um dezmilionésimo de onça.

Verão: R. Oppenheimer, por incumbência de A. Compton, conclui que uma bomba atômica de U^{235} ou então de Pu^{239}, provavelmente, é passível de realização.

15 de setembro: o grupo de Fermi começa a montar o reator nuclear com blocos de urânio e de grafite. Continuará a fazer isso até o dia 15 de novembro.

17 de setembro: o coronel Leslie Groves é nomeado chefe do projeto de construção da bomba nuclear, chamado "Projeto Manhattan". Em 23 de setembro, Groves é promovido a brigadeiro-general.

18 de setembro: Groves adquire 1.250 t de urânio da Union Minière belga, proveniente de Katanga, que estavam armazenadas em Staten Island desde 1939.

19 de setembro: Groves supervisiona a aquisição de um grande terreno, o futuro Oak Ridge Laboratory, que será destinado à química nuclear e, em particular, aos sistemas de enriquecimento de U-235.

Outono: os canadenses, em colaboração com os britânicos, decidem criar um centro de pesquisas sobre a bomba em Montreal.

15 de outubro: Groves pede a Oppenheimer, a quem tinha conhecido no início do mês e definido como "um gênio", para dirigir o laboratório principal do Projeto Manhattan, que depois seria realizado em Los Alamos; Bush aprova a nomeação de Oppenheimer.

Outubro: nasce, em Los Alamos, no Novo México, a sede do Projeto Manhattan.

16 de novembro: é escolhida a área de Los Alamos, no Novo México, para instalar o laboratório principal do Projeto Manhattan.

Dezembro: a difusão gasosa é pré-escolhida como método principal para enriquecer o U-235. É criada a Kellex, subsidiária da Kellog, para construir o equipamento; por sua vez, a separação e.m. (segunda opção) terá lugar em Oak Ridge.

2 de dezembro: em Chicago, o reator de Fermi e colaboradores, a urânio e grafite, chamado de CP-1, torna-se crítico; é constituído por 36,5 t de óxido de urânio, 5,6 t de urânio metálico e 350 t de grafite. Funcionará por 3 meses e depois será desmontado, melhorado (para 110 kW) e remontado no Laboratório Argonne.

1943

18 de fevereiro: começa a construção, em Oak Ridge, do Y-12, o equipamento eletromagnético de separação do U-235.

21 de fevereiro: Pio XII, numa intervenção oficial à Academia de Ciências do Vaticano, afirma que havia a possibilidade da construção do reator, mas que seria preciso evitar a explosão, para evitar uma catástrofe.

27 de fevereiro: é parcialmente destruído, por sabotadores noruegueses, o equipamento de produção de água pesada na Noruega. Porém, ele é rapidamente consertado e, em maio, recomeça a produzir água pesada.

Março: os cientistas anglo-franceses da "Tube Alloys" dirigem-se para o Canadá para participar das pesquisas nos laboratórios de Montreal.

Maio: é criada a Missão Alsos (o nome vem do grego e significa "arvoredo", "moita", isto é, *grove*), missão científica americana de espionagem científica na Europa. Samuel Goudsmit, físico americano que tinha estudado na Europa, tendo sido aluno de Heisenberg, é nomeado seu chefe.

7 de maio: reunião do Uranverein: discute-se sobre o reator por camadas (Heisenberg) ou por rede (Diebner). No fim de 1943, o projeto de Heisenberg é abandonado.

Início de julho: Glenn Seaborg prepara, no Met de Chicago, uma amostra de cerca de 0,2 g de óxido de plutônio (atentar para 20 de agosto de 1942!)

Agosto: Paul Harteck e Suess transferem os aparelhos para a separação dos isótopos de urânio de Hamburgo, continuamente bombardeada, para Freiburg. No entanto, ainda não existe qualquer evidência real de separação do U-235.

Agosto: Roosevelt e Churchill encontram-se e, além de darem o sinal de partida para a operação Overlord (invasão da Normandia), firmam um acordo de colaboração para o desenvolvimento da bomba e da energia nuclear.

6 de outubro: Bohr, fugindo da Dinamarca, chega à Inglaterra.

21 de outubro: é iniciada a construção do equipamento K-25, para a separação de U-235 por meio da difusão gasosa.

Novembro: os especialistas "ingleses" da fissão – Bohr, Frisch, Peierls, Chadwick, Penney, Placzek, Moon, Tuck, Bretscher e Fuchs – transferem-se para os EUA, para participarem do Projeto Manhattan.

Novembro: o reator nuclear construído em Hanford, Estado de Washington, produz os primeiros miligramas de plutônio.

16 de novembro: é definitivamente destruída, pela força aérea americana, a fábrica norueguesa de produção de água pesada.

6 de dezembro: Niels Bohr chega aos EUA, vindo da Inglaterra, para onde tinha ido, fugindo da Dinamarca.

1944

Primavera: Szilàrd convence um grupo de cientistas a produzir o *Relatório Franck*, no qual evidenciam os perigos de uma competição mundial para a produção de armas nucleares.

13 de abril: o Comitê Anglo-Canadense decide construir um reator à água pesada em Chalk River, Ontário. Os USA forneceram parte do

combustível (barras de urânio natural contendo plutônio e de tório contendo U-233).

9 de maio: torna-se crítico o reator de 50 mW de Los Alamos, que emprega 565 g de urânio enriquecido.

15 de maio: entra em funcionamento o reator CP-3 de 300 kW, a urânio natural e água pesada.

16 de maio: N. Bohr, parece que a mando de Roosevelt, tem um "desastrado" diálogo com Churchill. Procura convencê-lo a dividir com os aliados russos os segredos atômicos anglo-americanos.

Junho: é iniciada, em Oak Ridge, a construção do equipamento S-50, para separar U-235 com difusão térmica.

5 de junho: Amaldi e Wick são contactados pelos americanos, em Roma. Declaram que os físicos italianos não tinham conhecimento dos programas nucleares alemães, e sequer sabiam que existiam programas italianos.

20 de julho: falha o atentado contra Hitler. Os conspiradores, entre eles o general Beck, Ulrich von Hassel, o filho de Planck, Erwin, o general von Hase e outros, foram julgados. Em junho, tentaram envolver também Heisenberg, mas ele se recusou a participar.

26 de agosto de 1944: Bohr é recebido por Roosevelt, a quem entrega um memorando com o assunto "armas nucleares", e, em particular, sobre o compartilhamento dos segredos atômicos com os russos. Roosevelt empenha-se em convencer Churchill no encontro na metade de setembro. Mas será Churchill quem convencerá Roosevelt.

Setembro: os sistemas de enriquecimento de U-235 estão com sério atraso; tinham sido produzidos apenas poucos gramas de U-235.

Setembro: os reatores nucleares de Hanford, terminados em parte, são capazes de produzir uma dezena de quilogramas de plutônio ao

mês. Cada um desses reatores, de 250 MW, emprega 200 t de urânio. Tinha sido idealizado por Wigner e realizado pela du Pont. No início, surgiram problemas de envenenamento por Xe-135, produzido na fissão. Os reatores entraram definitivamente em funcionamento no fim de dezembro.

Setembro: é recuperada, em Oolen, uma parte do urânio furtado da Union Minière belga pelos alemães na primavera de 1940.

20 de setembro: Churchill exprime-se com muita raiva sobre Bohr: "[...] do que ele reclama? Vamos prendê-lo!"

Novembro: o equipamento de enriquecimento Y-12 de Oak Ridge produz 40 g/dia de urânio enriquecido; a partir de dezembro, 90 g/dia.

18 de dezembro: Heisenberg participa de um seminário na TH de Zurique; durante sua estada em Zurique, M. Berg, agente secreto americano, deveria matá-lo, se necessário. Berg não considerou isso necessário.

1945

Janeiro: o equipamento de enriquecimento de U-235 começa a produzir 200 g/dia. Em 1º. de julho, terá produzido U-235, quantidade suficiente para a bomba (cerca de 30 kg).

18 de janeiro: com o experimento Dragon, Frisch demonstra que o U-235 pode tornar-se crítico com nêutrons rápidos.

31 de janeiro: Robert Bacher demonstra que o detonador Po-210/Be-9 funciona.

20 de fevereiro: o equipamento K-25 começa a produzir U-235.

15 de março: o equipamento S-40 começa a funcionar.

12 de abril: morre o presidente Roosevelt; Harry Truman o sucede.

Aproximadamente no segundo terço de abril: cerca de mil toneladas de mineral de urânio, que se encontravam em Wirtschaftliche Forschung Gesellschaft de Stassfurt, perto de Wiesbaden, são recuperadas pelos americanos. É a última parte do total que tinha sido furtado da Union Minière.

Final de abril: estão disponíveis, nos EUA, 25 kg de U-235 e 6,5 kg de Pu-239.

8 de maio: a Alemanha rende-se.

28 de maio: os EUA decidem bombardear o Japão com bombas atômicas. Os alvos japoneses são Kyoto, Hiroshima e Niigata.

30 de maio: o secretário de Guerra, Stimson, exclui Kyoto.

14 de julho: a primeira bomba atômica, de U-235, chamada "Little Boy", é embarcada em São Francisco, no navio Indianapolis, para a ilha de Tinian, no arquipélago das Marianas, que é a base pré-escolhida, e fica cerca de 2.000 km ao sul do Japão.

16 de julho, segunda-feira: no Novo México, em Alamogordo, Jornada Del Muerto, às 5h30, é realizado o primeiro teste atômico, chamado Trinità. A potência da bomba de plutônio é estimada em 20 Kt-22 Kt.

24 de julho: encontro Truman-Stalin em Potsdam. Truman comunica a Stalin que os Estados Unidos possuem uma terrível arma nova.

26 de julho: o navio Indianapolis chega a Tinian. Cinco aviões C-54 deixam a base aérea de Kirtland, vizinha a Albuquerque, com o target de U-235 para a Little Boy e o coração de plutônio para a Fat Man, mais o detonador.

31 de julho: é completada a montagem da Little Boy. Está pronta para o dia seguinte.

1º de agosto: um tufão retarda a Little Boy.

2 de agosto: a primeira bomba de plutônio, apelidada de "Fat Man", chega a Tinian.

5 de agosto: o comandante Tibbits comandará o B-29 n. 82, que se chama "Enola Gay". Little Boy é montada no avião.

6 de agosto (segunda-feira), 8h16: **a primeira bomba atômica americana (de urânio enriquecido: cerca de 55 kg) explode em Hiroshima. Sua potência é estimada em 15 Kt.**

8 de agosto: Fat Man é montada no avião B-29, "Bock's Car".

9 de agosto: a segunda bomba atômica americana (de plutônio, com cerca de 6 kg) explode em Nagasaki, às 11h02. A potência dessa bomba é de 21 Kt. Uma segunda bomba de plutônio estaria disponível mais ou menos em meados do mês de agosto.

6 de setembro: entra em funcionamento, em Chalk River, o reator canadense ZEEP. Estava em construção um maior, o NRX.

1946

25 de dezembro: primeira reação em cadeia soviética.

1948

15 de dezembro: entra em funcionamento o primeiro reator nuclear francês (ZOE), de urânio e água pesada.

1949

29 de agosto: explosão da primeira bomba atômica de origem soviética, de plutônio.

1951

Janeiro: Stan Ulam submete a Teller o projeto de uma bomba H com dois estágios.

1952

Outubro: primeiro teste atômico britânico, realizado nas ilhas Monte Bello (Austrália Ocidental), com uma bomba de plutônio.

1954

1º de março: explosão da primeira bomba de hidrogênio americana.

1955

22 de novembro: explosão da primeira bomba de hidrogênio soviética.

1960

13 de fevereiro: explosão da primeira bomba atômica francesa em Reggane, no Sahara francês.

1964

16 de outubro: em Lop Nor, acontece o primeiro experimento atômico chinês, com uma bomba de U-235.

1968

A China explode sua primeira bomba H.

~1968

Israel dispõe de bombas atômicas.

1974

Maio: primeira explosão atômica na Índia, em Rajastan. Trata-se de uma bomba de plutônio, obtida mediante um reator nuclear fornecido pelo Canadá.

?: teste nuclear paquistanês.

1979

A África do Sul realiza um primeiro teste nuclear no Oceano Índico. O programa nuclear sul-africano foi desenvolvido em colaboração com Israel.

1981

Junho: aviões israelenses bombardeiam e destroem o reator iraquiano Tammuz-1, em Osiraq, colocando um fim ao programa nuclear iraquiano.

Anexo 4

A BOMBA ATÔMICA SOVIÉTICA

O nível científico da União Soviética antes da II Guerra Mundial, na área da física nuclear, era bom, em especial em relação à física teórica. Basta pensar na teoria de G. Gamow sobre a desintegração γ (1928), no modelo próton-nêutron de D. Ivanenko (1932), nas forças nucleares de I. Tamm (1934) e na teoria da fissão eletrocapilar de Y. Frenkel. Deve-se pensar, ainda, no grande Piotr Kapitsa, aluno de Rutherford em Cambridge, e também em Cherenkov, Kurchatov, Landau e vários outros. Lembremo-nos de que Tamm, Cherenkov, Landau e Kapitsa ganharam o Prêmio Nobel de Física.

Entre os anos 1920 e 1930, a física experimental na URSS não era boa, porque faltavam fontes de radiação, aceleradores e isótopos radioativos naturais. Porém, depois da descoberta do nêutron por J. Chadwick, em 1932, as coisas começaram a mudar: jovens como I. Kurchatov e A. Alijanov começaram a trabalhar com física nuclear experimental no Instituto de Iaffe, em Leningrado (hoje, São Petersburgo). Ao mesmo tempo, outros físicos, como A. Valter e K. Sinelnikov, trabalhavam em Jerkov com a radioatividade artificial. Em 1933, Kurchatov construiu um pequeno acelerador em Leningrado, enquanto ele mesmo, Kurchatov, trabalhava com reações nucleares induzidas por nêutrons.

Posteriormente, em 1939, depois da descoberta da fissão, os físicos Y. Khariton (este, judeu, tinha trabalhado por 2 anos em Cambridge, com Chadwick) e Y. Zeldovich tinham desenvolvido a análise da cinética da reação em cadeia, demonstrando que, com o U-235, era possível uma reação em cadeia e que a massa crítica era de 10 kg de U-235. Finalmente, em 1940, em Jarkov, V. Shpinel e V. Maslov registraram uma patente de uma arma nuclear baseada no U-235.

Em julho de 1940, a Academia de Ciências da URSS criou uma Comissão de Cientistas – depois dos rumores sobre uma superarma atômica ocidental – para examinar a autenticidade das informações e, portanto, a possibilidade da construção de uma bomba de urânio. A comissão era presidida pelo químico-físico V. Jlopin e formada pelos cientistas V. Vernadski, A. Ioffe, I. Kurchatov e P. Kapitsa. A comissão concluiu seus primeiros trabalhos afirmando que uma arma nuclear era uma possibilidade puramente teórica, com duvidoso valor prático.

No final de 1940, a comissão decidiu, de qualquer modo, pela construção de um cíclotron, sob a direção de I. Kurchatov e A. Alijanov. Além disso, o chefe da seção científica do NKVD (depois KGB) enviou uma ordem aos agentes soviéticos nos EUA, na Grã-Bretanha e na Escandinávia para ficarem alertas.

Em 22 de junho de 1941, a URSS entrou na guerra, e as pesquisas dos cientistas soviéticos foram desviadas para problemas mais urgentes, como a defesa da União Soviética, atacada pelo Exército alemão. Alguns cientistas foram, simplesmente, recrutados. O próprio Kurchatov, que depois viria a ser o "pai" da bomba atômica soviética, teve que dedicar-se ao estudo da desmagnetização das minas.

Nessa fase, portanto, a história da bomba atômica soviética está estreitamente ligada à eficiente espionagem soviética, em particular nos Estados Unidos e na Inglaterra. Pelo menos no começo de 1942, tudo o que era realizado nos EUA era, pouco depois, levado ao conhecimento dos dirigentes soviéticos e, depois de várias verificações, era copiado.

As primeiras informações importantes vieram de Gregory Kheifetz, agente da NKVD, residente em São Francisco, formalmente conhecido como Mr. Brown, vice-cônsul soviético. Ele tinha entrado em contato com Robert Oppenheimer no começo dos anos 1940 e, portanto, bem antes que este último fosse nomeado chefe do projeto nuclear americano. Criou, então, uma base comum de interesses ideológicos com ele que, naquela época, simpatizava com os comunistas e, ademais, havia se casado com uma mulher declaradamente comunista. Oppenheimer informou Kheifetz sobre a carta de Einstein a Roosevelt, na qual era levantada a possibilidade da construção de uma arma nuclear e do sentimento de frustração por parte de Einstein pelo fato de o presidente não ter dado a ela um encaminhamento relevante.

Informações posteriores chegaram às autoridades da URSS por intermédio de Semyon Semyonov, formado em engenharia mecânica em Leningrado, tendo sido, depois, enviado ao MIT para completar seus estudos. Ele entrou em contato com muitos cientistas americanos, que depois participariam do Projeto Manhattan. Na primavera de 1942, Semyonov comunicou que o projeto de uma bomba de urânio estava sendo seriamente considerado tanto pelos cientistas como também pelo governo americano. Lavrentiy Beria, que foi chefe da NKVD de 1938 a 1953, levou essas notícias a Stalin e, entre outras coisas, decidiu-se que alguns cientistas, entre os mais famosos e os mais conhecidos no Ocidente, entrariam em contato com seus colegas ocidentais para se apossarem de informações.

No final de janeiro de 1943, também por intermédio de Semyonov, chegou outra informação, proveniente de algum cientista de Chicago, ou talvez de Pontecorvo, referindo-se à entrada em funcionamento do primeiro reator nuclear em Chicago, resultado do trabalho de Fermi. Pouco depois, aconteceram os bombardeamentos anglo-americanos às instalações norueguesas de água pesada e, nesse momento, Stalin convenceu-se de que o projeto da bomba atômica era autêntico e importante.

Nesse intervalo de tempo, os cientistas soviéticos ficaram apenas parcialmente inativos, tendo enviado aos dirigentes soviéticos propostas para a organização das pesquisas nucleares para a construção da bomba atômica, bem como propagandas e petições.

À luz de tudo isso, em 11 de fevereiro de 1943, Stalin promulgou um decreto nomeando um comitê para o desenvolvimento da energia atômica para fins militares. Esse comitê era presidido por Molotov e era composto por Beria, que exercia a função de vice de Molotov, mas, de fato, era o enérgico chefe "militar" do projeto. E também fora incumbido do recrutamento dos cientistas e dos físicos: Igor Kurchatov (como chefe do projeto), Abram Ioffe e Isaac Kikoin.

Igor Kurchatov foi um personagem de máxima importância na Rússia. Nasceu em 1903, nos Urais, e depois de ter estudado física trabalhou, nos primeiros anos, na eletrificação da União Soviética. Em 1932, decidiu dedicar-se à física nuclear e tornou-se diretor do Departamento de Física Nuclear do Instituto de Física Técnica de Leningrado, dirigido por A. Ioffe. Sendo grande organizador, rapidamente montou um importante centro de pesquisas. Acreditava firmemente na doutrina comunista e na função da ciência para o crescimento da sociedade. Viveu a pior época das purgações stalinistas, durante a qual cerca de 10% dos físicos foram presos e alguns nunca mais reapareceram.

Depois da descoberta da fissão nuclear no fim de 1938, cresceu a importância militar da física nuclear e, também, a de Kurchatov. Colocado como chefe do projeto nuclear soviético no início de 1943, levou a termo a construção da primeira bomba atômica, que explodiu em agosto de 1949, e também da bomba de hidrogênio, em 1953. Depois da morte de Stalin, Kurchatov começou a tomar consciência dos perigos de uma guerra nuclear e muitas vezes, juntamente com outros cientistas, dirigiu-se a Kruschev para banir totalmente as armas nucleares, mas sem grande sucesso.

Kurchatov morreu prematura e repentinamente, em decorrência de uma hemorragia cerebral, em 1960. Estava com apenas 57 anos.

Naturalmente, existiram atritos entre Kurchatov, que solicitava liberdade de ação, e Beria, que, ao contrário, pretendia controlar tudo. Parece que, em certo momento, Kurchatov perguntou a Beria se ele preferia a interpretação marxista da história ou uma bomba. Stalin, falando com Berin, aconselhou-o a deixar os físicos tranquilos, para poderem terminar o trabalho. E acrescentou que, em todo caso, poderia mandar fuzilá-los.

Retornando ao programa nuclear soviético, os locais utilizados para esse objetivo eram constituídos pelo laboratório n. 2 da Academia de Ciências, que estava começando a ser construída (atualmente, chama-se Instituto de Energia Atômica Igor Kurchatov).

Depois, foi construída uma espécie de Los Alamos russa, na cidadezinha de Sarov, a 400 km a leste de Moscou, onde existia um antigo monastério. Essa "cidade nuclear" foi excluída do mapa geográfico. Mudou seu nome para Armazas-16 e ficou literalmente isolada do mundo. Os cientistas que ali trabalhavam eram praticamente segregados, como também aqueles de Los Alamos, mas, pelo menos, gozavam de privilégios completamente desconhecidos no resto da União Soviética. Nesse local, sob completo segredo, foi feita a primeira bomba atômica russa.

Entre março e abril de 1943, Kurchatov recrutou 26 cientistas, que começaram a trabalhar para a construção de uma arma nuclear. Em 1944 já formavam uma centena, número que não parou de crescer. Entretanto, o apoio ao programa era limitado, assim como os meios a ele destinados.

Foi somente no outono de 1945, isto é, depois da explosão das bombas atômicas em Hiroshima e Nagasaki, que o programa nuclear soviético foi intensificado e começou a usufruir de apoio e meios praticamente

ilimitados. Nessa fase, entre outras coisas, foram usados vários cientistas alemães, feitos prisioneiros na Alemanha e convencidos a colaborar. Não eram cientistas alemães de primeiríssimo plano (todos eles tinham sido feitos prisioneiros pelos americanos do Projeto Alsos), mas tinham um ótimo nível e competência. Entre eles, lembramos Manfred von Ardenne, que criou um laboratório particular em Berlim e envolveu-se no projeto alemão Uranverein, Nikolaus Riehl, Günther Wirth e vários outros.

Manfred von Ardenne era um cientista singular que, na década de 1930, tinha abandonado os estudos de física em Berlim por julgá-los insatisfatórios (curioso porque, naquela época, ensinavam em Berlim os melhores físicos alemães!) e tinha montado um laboratório próprio onde, mesmo antes da guerra, tinha desenvolvido interessantes pesquisas sobre tubos eletrônicos e aparelhos televisivos. Durante a guerra, desenvolveu pesquisas para o governo alemão sobre a separação isotópica, juntamente com Houtermans, também este uma figura interessante e irrequieta que, entre 1937 e 1939, tinha trabalhado na Universidade de Charcov. Porém, foi feito prisioneiro durante o período do grande expurgo stalinista. Libertado da prisão na Rússia, retornou a Berlim, mas foi preso pelos nazistas porque, por ironia da sorte, era acusado de ser comunista. Libertado de forma imprevista, começou a trabalhar com von Ardenne. Em maio de 1945, depois de ocupada Berlim, os soviéticos procuraram e encontraram von Ardenne, que aceitou a oferta de transferir-se para a URSS, pedindo, em troca, garantia de segurança para sua família e suas propriedades. Assim, transferiu seu laboratório para Sukhumi, no mar Negro, onde colaborou para o desenvolvimento da energia nuclear, em particular para a separação dos isótopos. Em 1954, transferiu-se para Dresden, na Alemanha Oriental, onde colocou em pé, mais uma vez, o seu laboratório particular. A sua contribuição para a bomba atômica soviética não deve ter sido irrelevante, visto que ganhou, por duas vezes, o Prêmio Lênin.

Nikolaus Riehl nasceu em São Petersburgo, em 1901. O pai, alemão, foi mandado para lá pela Siemens, para tratar dos interesses da empresa. Ali, casou-se com uma judia russa. De 1920 a 1927, Riehl estudou no St. Petersburg Polytechnic, onde se formou. Querendo dedicar-se à química nuclear, transferiu-se para a Universidade de Berlim, onde ensinavam radioquímicos famosos, como Otto Hahn e Lise Meitner, com uma tese sobre contadores Geiger. Riehl desejava dedicar-se à carreira acadêmica, porém, devendo começar a trabalhar, aceitou um cargo na Auer Gesellschaft que, na época, trabalhava com lâmpadas, mas também com a separação do rádio do urânio, com finalidades médicas. Ali, fez carreira rapidamente e, de 1939 a 1945, foi diretor do Departamento Científico da Auer, o qual começava a trabalhar com a purificação do urânio, obtendo ricos contratos para a sua purificação, que tinha se tornado fundamental para fins bélicos. Naturalmente, por intermédio da Auer, mantinha contínuos contatos com Hahn e com o Uranverein, em especial. Em maio de 1945, o Exército soviético ocupou Berlim, e Riehl foi transferido, pela força e pela persuasão, para a União Soviética, onde o programa para a construção da bomba atômica tinha recebido uma forte aceleração. Riehl foi transferido para Moscou e alojado, com a família, no mesmo edifício onde estavam alojados o general F. von Paulus, capturado em Stalingrado, e seus colegas físicos berlinenses G. Hertz, Prêmio Nobel, M. Volmer e P. Thiessen, ótimos químicos, e Manfred von Ardenne.

Depois de um encontro com I. Kurchatov, o coordenador da bomba atômica soviética, e depois da notícia sobre as bombas atômicas de Hiroshima e Nagasaki, Riehl foi transferido para Elekrostal, situada a cerca de 60 km a leste de Moscou, para organizar industrialmente a purificação do urânio. A purificação caminhava muito bem e a qualidade do urânio era avaliada como ótima. Em 1949, a União Soviética realizou o primeiro teste de explosão de uma bomba atômica.

Em 1952, Riehl decidiu se articular para reconquistar a liberdade, mas, depois de conversas com dirigentes soviéticos, entre os quais Beria, foi

convencido a permanecer na URSS até 1955. De fato, a URSS estava tendo progressos na construção da bomba de hidrogênio. Riehl foi obrigado a aceitar. Efetivamente, em 1955, foi liberado para transferir-se para Berlim Oriental, onde anteriormente havia vivido. Ali, com o dinheiro recebido dos soviéticos, para quem havia trabalhado por 10 anos em um alto nível, comprou uma casa, como se quisesse fixar-se ali, enquanto organizava sua fuga para a Alemanha Ocidental, o que realmente viria a acontecer. Em Munique, foi imediatamente integrado, passando a ocupar uma posição acadêmica. A partir de 1955, dirigiu, juntamente com Meier-Leibnitz, a construção do primeiro reator alemão em Garsching.

Voltando ao programa nuclear soviético, esse estava funcionando muito bem e continuavam a chegar informações sigilosas dos espiões americanos e russos (certamente Klaus Fuchs e Ted Hall, e provavelmente Bruno Pontecorvo e Robert Oppenheimer), com informações sobre o primeiro teste americano em Alamogordo, em 16 de julho de 1945. Quando foi realizada a famosa Conferência de Potsdam, em 24 de julho de 1945, o presidente Truman comunicou a Stalin a existência da nova arma, imensamente destrutiva, que os Estados Unidos tinham desenvolvido. Contrariando a expectativa de certas autoridades (como Churchill e o secretário de Estado americano) de uma forte reação por parte de Stalin à notícia, ele ficou impassível. Na realidade, ele já tinha sido informado sobre tudo o que estava acontecendo.

Depois das explosões em Hiroshima e Nagasaki, o programa soviético teve um grande impulso e, em 25 de dezembro de 1946, a URSS obteve a primeira reação em cadeia em um reator experimental F-1, constituído de grafite e urânio, e, portanto, cerca de 4 anos depois da criticidade do reator nuclear de Fermi, em Chicago. Para a construção do reator nuclear, foram necessárias 45 t de urânio e 500 t de grafite puríssima.

A seguir, na primavera de 1948, foi colocado em funcionamento, na região de Cheliabynsk, o primeiro reator para a produção de plutônio e o

equipamento de processamento do urânio para a extração do plutônio. Na metade de 1949, já tinha sido produzida uma quantidade suficiente de plutônio, e, em 29 de agosto de 1949, explodiu a primeira bomba atômica, de plutônio, no polígono de Semipalatinsk, localidade vizinha à fronteira com a Mongólia.

A União Soviética manteve em segredo esse teste nuclear, mas os americanos, que já esperavam, a qualquer hora, por uma bomba atômica soviética, tinham colocado uma rede de detecção tanto de amostras de ar como de água de chuva, das quais mediam a radioatividade, no caso de uma eventual explosão de bomba atômica. Desse modo, conseguiram estabelecer que a primeira bomba atômica russa, chamada por eles de JOE-1, era uma bomba de plutônio, e também conseguiram determinar, aproximadamente, o dia da explosão, fixado em não antes de 24 de agosto.

Naturalmente, como já chamamos a atenção, as coisas nem sempre andaram fáceis para a física e para o programa nuclear soviético. Encontramos, antes e durante a guerra, no período do terror stalinista, alguns cientistas que fizeram de tudo para não participar do projeto nuclear (Sagdeev, que depois se casou com a neta de Eisenhower e foi para os Estados Unidos), ou mesmo se recusaram a participar e acabaram na prisão (Landau, por um ano). Outros deram início a uma forte dissidência (Sakharov). Mas, mesmo depois da guerra, não faltaram problemas, provocados pelo biólogo Lysenko. Observa-se, pois, que, também na URSS, a física moderna, em particular a mecânica quântica, mas também a relatividade, eram olhadas com desconfiança e, no fim dos anos 1940, foram banidas por cerca de 10 anos, pelos dirigentes políticos soviéticos. Aliás, foi contestado o método de ensino da física que "não levava em conta o materialismo dialético" e ensinava teorias "contrárias ao marxismo-leninismo".

Para que a situação melhorasse, foi nomeado um Comitê Organizador para uma grande conferência "educativa" em Moscou, em março de

1949. Era uma clara tentativa de controlar os físicos das academias e das universidades, colocando como chefes das instituições outros físicos, politizados. Sobrevieram muitos e intensos protestos, e graves lutas internas entre os físicos das universidades e os físicos das academias. Em resumo, um pandemônio. Por sorte, a construção e a primeira explosão de uma bomba atômica, em agosto de 1949, salvou a física soviética das garras do Partido Comunista Soviético.

O maior artífice da bomba atômica soviética, Kurchatov, não era, portanto, um ingênuo, e estava a par das purgações stalinistas, da brutalidade da polícia política e de outros malefícios. Mas o seu objetivo era construir, a qualquer custo, a bomba, e o que o motivava era simplesmente patriotismo e nada mais.

Recentemente, foram publicadas as memórias de um importante dirigente da KGB durante os anos 1940: Pavel Sudoplatov[103]. Uma parte do livro de Sudoplatov contém importantes revelações relativas à rede de espiões soviéticos e de "contatos americanos" em relação ao programa nuclear americano para a construção de uma bomba "a fissão".

Algumas revelações de Sudoplatov, que naturalmente devem ser lidas com uma certa cautela, são totalmente explosivas e referem-se ao período da construção da bomba atômica em Los Alamos. Segundo essas revelações, a União Soviética teria recebido informações fundamentais sobre a construção da bomba atômica, provenientes de Klaus Fuchs (desde 1950, sabia-se que Klaus Fuchs era informante dos soviéticos), Bruno Pontecorvo (o que não era surpresa, embora, oficialmente, Pontecorvo sempre tenha negado ser informante soviético, mas as provas a seu respeito são consideráveis, apesar de não decisivas), Robert Oppenheimer, Enrico Fermi, Leo Szilàrd e Niels Bohr. Cumpre lembrar, porém, que não foi dito nas memórias de Sudoplatov que Oppenheimer,

---

[103] *Special tasks: The memoirs of an unwanted witness – a soviet spymaster*, by Pavel Sudoplatov and Anatoli Sudoplatov, with Jerrold L. and Leona P. Schecter, Little, Brown and Company, London 1994.

Fermi, Szilàrd e Bohr tenham sido espiões da URSS, mas apenas que deram informações a outros países aliados, principalmente para difundi-las voluntariamente, muitas vezes levados por motivos ideológicos.

Compreensivelmente, as afirmações de Sudoplatov agitaram o mundo político e científico mundial (não o italiano, onde o assunto passou ao largo) e os serviços de segurança. Até mesmo o KGB interferiu no episódio (fato totalmente incomum!), declarando que os fatos descritos por Sudoplatov eram uma mistura de verdades, meias verdades e falsidades, e que o fato de os Serviços Secretos Soviéticos terem recebido informações sobre a construção da bomba diretamente de Fermi, Oppenheimer, Szilàrd e Bohr não correspondia à verdade.

Não é simples esclarecer as coisas, mas, tomando-se por base as informações que vieram à tona após a publicação do livro de Sudoplatov, é possível fazer algumas considerações.

Em relação a Oppenheimer, ele era judeu de origem alemã e tinha ainda muitos parentes na Alemanha. Tinha completado seus estudos em Göttingen, com Max Born.

Retornando aos Estados Unidos, Oppenheimer, sem nenhuma dúvida, tornou-se simpatizante com o comunismo e passou algum tempo envolvido com atividades de suporte a células comunistas americanas. Depois da guerra, numa época de acentuada manifestação anticomunismo (chamada de macartismo, termo derivado do nome do senador McCarthy), foi oficialmente inquirido por suspeita de ter transmitido informações aos soviéticos, tendo sido declarado parcialmente culpado. Em seguida, foi reabilitado, mas ficou uma sombra de dúvida sobre seu envolvimento. É bastante provável que tenha passado documentos aos soviéticos, mas não se sabe se isso decorreria de alguma simpatia pelo comunismo.

Em relação a Szilàrd, um cientista ao mesmo tempo genial e confuso sempre com uma mala pronta na mão, em contínua fuga das ditaduras,

é difícil acreditar que alimentasse simpatias pelo comunismo, e que, voluntariamente, passasse informações aos soviéticos. A partir de um certo momento, torna-se ostensivamente pacifista, o que, é claro, não pode ser considerado um defeito. As memórias de Sudoplatov registram contatos com uma das secretárias de Szilàrd, mas não fornecem indícios contra Szilàrd.

Para Niels Bohr e Enrico Fermi, a defesa é mais complicada. Niels Bohr parecia ser simpatizante com o comunismo e, durante a guerra, insistiu para que as informações sobre a bomba atômica fossem partilhadas com os aliados. Sugeriu isso diretamente ao presidente Roosevelt e a Churchill. Enquanto o primeiro pareceu disposto a fazê-lo, o segundo opôs-se veementemente à ideia, um pouco ingênua, de Bohr. Assim, não seria surpresa que Bohr, como conta Sudoplatov, tivesse "passado", talvez involuntariamente, algumas informações aos soviéticos. Entretanto, em uma carta de Beria a Stalin, datada do fim de 1945, provavelmente preparada pelo próprio Sudoplatov, e escrita pouco depois da visita da espiã soviética Terletsky a Bohr, para "extrair" informações sobre a bomba, afirma-se que as respostas de Bohr às perguntas de Terlitsky foram evasivas e sem real importância. Entre outras coisas é interessante observar que, segundo a espiã soviética Terlitsky, Bohr teria sido um agente do British Intelligence Service. Deve ser comum ao mundo da espionagem enxergar no outro um espião, um inimigo potencial.

Enrico Fermi era, conforme consenso entre aqueles que o conheceram bem, um conservador, mas, provavelmente, partilhava as mesmas ideias de Bohr sobre a difusão das informações científicas e também sobre a bomba atômica. A prova disso é a forte oposição que fazia às insistentes propostas de Szilàrd, na metade de 1940, de que não fossem divulgadas as pesquisas relativas ao desenvolvimento da fissão nuclear, para não favorecer os países inimigos. Depois, quando a proposta de Szilàrd foi oficialmente aprovada pelas autoridades americanas, Fermi ficou em má situação, por conta da sua mentalidade de cientista puro. Fermi era uma

pessoa reservada, prudente e equilibrada. Parece pouco provável que, involuntariamente ou por negligência, tenha passado informações aos soviéticos (eventualmente, por intermédio de seu aluno Pontecorvo), uma vez que até mesmo seus antigos colegas da Via Panisperna, como Amaldi, jamais receberam dele qualquer informação sigilosa sobre as atividades que estava desenvolvendo em Los Alamos e em Chicago. Também não parece provável que ele, voluntariamente, tenha passado informações aos soviéticos. Certamente, Fermi não tinha simpatia nem pelas ditaduras em geral, nem pelo comunismo em particular. Era, como já foi dito, um conservador. Nos Estados Unidos, seria, provavelmente, um republicano, mas avesso a política. A única justificava estaria, assim como foi para Bohr, no propósito de aumentar o mais possível, no círculo dos cientistas, a consciência do perigo da bomba. Mas até mesmo essa hipótese não é convincente.

Assim, parece não existir dúvida quanto ao anticomunismo de Fermi. Como afirma sua filha Nella: "[...] tendo escapado de um regime totalitário, certamente não tinha intenção de colocar-se a serviço de um outro" […] (No entanto, foi isso o que muitos fizeram: basta lembrar de Bruno Pontecorvo!).

Naturalmente, poder-se-ia replicar dizendo que, se Fermi era anticomunista em 1949, isso não significa que, necessariamente, ele tivesse sido 5 ou 6 anos antes, mas, conhecendo Fermi, como o descreveram seus familiares, colegas e amigos, pode-se descartar a hipótese de que fosse simpatizante do comunismo.

Uma história não muito diferente foi contada por Vladimir Chicov, coronel da KGB, e diz respeito à história de Morris e Lona Cohen (V. Chicov e G. Kern: Comment Stalin a volé la bombe atomique aux americains, Dossier KGB n. 13.676, 1996). Os Cohen eram americanos e agentes da KGB em New York, nos primeiros anos da década de 1940. No início de 1942, os Cohen "recrutaram", em New York, um físico

envolvido com o projeto nuclear americano. A esse físico foi dado o nome código de "Arthur Fielding" e, a seguir, "Perseus". Algumas teorias recentes associam a esse código o nome de Robert Oppenheimer. Outros nomes em código são associados aos nomes de Klaus Fuchs e de Bruno Pontecorvo.

Anexo 5

A BOMBA ATÔMICA JAPONESA

Quando se fala sobre a bomba atômica no período da II Guerra Mundial, automaticamente se pensa no Projeto Manhattan, desenvolvido e concluído pelos USA, ou, então, no projeto alemão Uranverein, que não passou de uma tentativa de construção de um reator nuclear. Ou, então, no máximo, pensa-se no programa nuclear soviético, que levou à construção da bomba atômica cerca de 4 anos depois da americana. Mas também os japoneses desenvolveram, durante a guerra, um projeto de construção de uma bomba atômica.

Antes da guerra, a situação da física nuclear japonesa era bastante boa. Em especial, destacava-se a figura de Yoshio Nishina, conhecido pelos estudiosos de física nuclear pela fórmula de Klein-Nishina, relativa à divisão por colisão Compton.

Nishina tinha passado alguns anos na Europa, em Copenhague e em Cambridge, e, tendo retornado ao Japão, tornou-se professor de física na Universidade de Tóquio, onde fundou uma boa escola de física nuclear, tanto teórica quanto experimental. Em Riken, criou o "seu" laboratório de pesquisa física e química. Em 1936, construiu o seu primeiro cíclotron, com 26 polegadas, e, em 1937, um segundo, com 60 polegadas. Em 1938, o Japão comprou outro cíclotron da Universidade da Califórnia, Berkeley.

Em 1939, Nishina já tinha publicado alguns trabalhos sobre produtos da fissão de urânio e de tório, tinha construído o primeiro cíclotron do Japão e tinha descoberto o isótopo U-237. Além disso, Nishina estava ciente dos potenciais empregos militares da fissão nuclear e tinha medo de que armas nucleares pudessem ser usadas contra o Japão. No Japão, além de Nishina, outros cientistas, ainda jovens, se destacariam, principalmente depois da II Guerra Mundial. São eles: Hideki Yukava, que tinha previsto teoricamente a existência do méson e que, por isso, ganhou o Prêmio Nobel de Física; Shinichiro Tomonaga, outro físico teórico que também ganhou o Prêmio Nobel de Física; e Bunsaku Arakatsu, aluno de Einstein, que previra a possibilidade de construção de uma bomba atômica. Assim, não foi nenhuma surpresa quando, em outubro de 1940, o general Takeo Yasuda tomou a decisão de começar um programa nuclear japonês, convencido da possibilidade de construção de uma arma atômica.

Se, porém, a sua estrutura era bastante forte para fazer boas pesquisas, era, também, muito frágil para conduzir até o fim um programa de grandes dimensões e complexidade como o da construção da bomba.

Mas, desde o começo, outras iniciativas tinham sido tomadas, desvinculadas da primeira, porque, nesse ínterim, a Marinha, em competição com o Exército, financiava, também em Riken, atividades de caráter mais especulativo, como o "Physics Colloquium", enquanto outra seção da Marinha financiava outro grupo de pesquisas, na Universidade de Kyoto, dirigido pelo professor Bunsaku Arakatsu.

De qualquer modo, o projeto japonês da bomba, que deveria ser de U-235, subestimava a quantidade de U-235 necessária (pensavam que 1 kg seria suficiente) e procuravam desenvolver, pela separação desse isótopo, o método da difusão gasosa, que já havia algum tempo tinha sido eliminado pelos americanos, porque era muito lento e pouco prático.

Além disso, faltavam as matérias-primas necessárias, porque, no Japão, não havia minerais de urânio, e a quantidade de urânio disponível, proveniente da Coreia e da Birmânia, ocupadas pelos japoneses, era muito pequena.

O Japão acabou por pedir ajuda à Alemanha, que dispunha de grande quantidade de urânio. O governo nazista, embora no extremo de suas forças, enviou, em "caráter de urgência", um U-Boot 234, com cerca de 550 kg de óxido de urânio. Não teria servido muito porque, de 550 kg de óxido do urânio pode-se obter, mesmo considerando um rendimento muito mais alto do que o real, no máximo um pouco mais de 1 kg de U-235. Entrementes, enquanto o U-Boot encontrava-se no meio do Atlântico, o almirante Doenitz declarava a rendição da Alemanha. Assim sendo, o submarino alemão foi entregue aos americanos. A propósito, muito tempo antes, o "Physics Colloquium" já havia avaliado que o Japão (mas também os Estados Unidos) não teria condições de produzir a bomba antes do final da guerra, e que o Japão, em particular, deveria levar pelo menos 10 anos para construí-la. Além disso, o próprio Nishina, depois da guerra, afirmou que a construção da bomba não era uma de suas prioridades; ao contrário, o que pretendia era o avanço do nível científico no Japão e evitar que a guerra atingisse os pesquisadores japoneses. Os cientistas japoneses erraram as previsões e, por ironia da sorte, os americanos que não fabricariam a bomba antes de 10 anos, construíram-na em 3 anos, e, depois, lançaram as duas primeiras extamente sobre o Japão, em agosto de 1945. Não satisfeitos com isso, no final de novembro de 1945, portanto, tendo a guerra terminado havia muito tempo, os americanos que ocuparam o país destruíram os quatro aceleradores japoneses, incluindo os dois de Riken. Certamente, isso foi um grave erro somente em parte justificado pela certeza de que, se os japoneses tivessem conseguido a bomba atômica, não teriam hesitado em lançá-la contra os Estados Unidos.

Foi calculado que, enquanto os Estados Unidos gastaram com o projeto nuclear cerca de 2 milhões de dólares, os japoneses gastaram US$ 500.000, isto é, quatro vezes menos.

Sobre o programa japonês, ainda hoje circulam lendas difíceis de esquecer. De acordo com uma delas, os japoneses explodiram uma bomba atômica em Konan, Coreia, para onde tinham transferido todos os equipamentos nucleares, em 12 de agosto de 1945 (lembremos que, em 9 de agosto de 1945, foi lançada, pelos americanos, a bomba de Nagasaki). Essa afirmação foi feita pelo jornalista David Snell, que tinha relatado as confissões de um oficial japonês.

A segunda lenda diz respeito ao submarino alemão U-Boot 234, do qual já falamos. De acordo com essa lenda, o submarino teria transportado 560 kg de U-235. Como prova disso, é alegado que o nome da carga transportada, U-235, fora escrito sobre a carga, pelos dois oficiais japoneses que acompanhavam a expedição[104].

Observe-se que a Alemanha jamais conseguiu, durante a guerra, separar uma consistente quantidade de U-235, e que mesmo os Estados Unidos, em agosto de 1945, não dispunham de mais de 100 kg de U-235 (a bomba atômica de Hiroshima era constituída por um núcleo de 60 kg de U-235). Finalmente, para separar 560 kg do isótopo U-235 do urânio natural, seriam gastos, pelo menos, alguns milhares de toneladas.

---

[104] Em fevereiro de 2005, essa tese ingênua foi também sustentada por Giovanni Minoli, em uma transmissão da segunda rede da televisão italiana, dedicada precisamente ao submarino U-234.

Anexo 6

BREVES BIOGRAFIAS[105] DOS MAIORES CIENTISTAS DA FÍSICA NUCLEAR DO SÉCULO 20

ABELSON, PHILIP H.

Philip H. Abelson nasceu em 27 de abril de 1913. Depois de formado em Física, começou sua carreira colaborando com Luis Alvarez, na Universidade da Califórnia. Durante a II Guerra, foi o codescobridor do elemento 93, que foi chamado de netúnio. Contribuiu de modo relevante para o Projeto Manhattan, inventando o processo de difusão térmica líquida, que foi um caminho importante para a separação isotópica do U-235. Depois da guerra, trabalhou com propulsão naval com energia nuclear. De 1951 a 1971, foi diretor da Carnegie Institution de Washington. A seguir, foi editor de várias revistas científicas, em particular de Física. P. H. Abelson morreu em 1º de agosto de 2004.

---

[105] Esta lista não é, nem pretende ser, completa, uma vez que compreende, principalmente, cientistas que desenvolveram pesquisas em física atômica ou nuclear e políticos envolvidos em projetos nucleares, ou que foram citados neste volume, ou que desempenharam algum papel na história da física nuclear. Assim, também são citados cientistas de pequena projeção, embora tenham sido excluídos alguns famosos cientistas, por não terem trabalhado no campo da física atômica e nuclear.

ALLISON, SAMUEL

Samuel K. Allison nasceu em 13 de novembro de 1900, em Chicago. Em 1917, entrou para a universidade, tendo se formado em 1921. Obteve seu Ph. D. em Química em 1923. Nos anos seguintes, foi *fellow* em Harvard, e, depois, na Carnegie Inst. de Washington, e, finalmente, em Berkeley, onde foi professor-associado. Durante esses anos, trabalhou com raios X. Em 1935, foi convidado a morar em Chicago, por A. Compton, com que escreveu o famoso *X-rays in theory and experiments*. Entrou para o programa nuclear americano e, em 1942, tornou-se diretor do Departamento Químico do Metallurgical Lab. Ali, participou da construção do primeiro reator nuclear. De 1944 a 1946, ficou em Los Alamos, e, em 1946, tornou-se o primeiro diretor do Institute of Nuclear Studies de Chicago. A partir da metade dos anos 1930, dedicou-se à Física nuclear (reações nucleares e interação de partículas carregadas e radiações com a matéria). Em 1956, escreveu o clássico *Passage of heavy particles through matter*. Morreu repentinamente, vítima de aneurisma, em 1965, em Oxford.

ALPHER, RALPH

Ralph Asher Alpher nasceu em uma família judia, em 1921. A família teve dificuldades econômicas em razão da grande depressão, e, por isso, Ralph teve que trabalhar durante o dia e estudar à noite. Estudou na G. Washington University e, graças a G. Gamow, dedicou-se à pesquisar a origem do Universo, em 1948. Esse trabalho foi depois publicado, por insistência de Gamow, também com créditos para H. Bethe. Trata-se de um trabalho sobre o Big Bang, cuja importância só será reconhecida muitos anos depois. Em 1955, Alpher trabalhou na General Electric, de Schenectady. Em 1964, sua teoria foi retomada e resultou, em 1965, no Prêmio Nobel para Penzias e Wilson. Faleceu em 12 de agosto de 2007, após um longo período de doença.

ALVAREZ, LUIS W.

Luiz W. Alvarez nasceu em São Francisco, em junho de 1911. Estudou na Universidade de Chicago, onde obteve o M. Sc. em 1934, e o Ph. D. em 1936. A partir de 1936, trabalhou no Radiation Laboratory da Universidade da Califórnia, e foi um dos primeiros cientistas a identificar traços dos produtos da fissão. Durante a guerra, participou do Projeto Manhattan, primeiro no MIT, de 1940 a 1943, e depois no Metallurgical Laboratory de Chicago, em 1943-1944, e, finalmente, em Los Alamos, de 1944 a 1945. Em 1937, descobriu a "captura K", e, antes da guerra, a radioatividade do H3 (trício). Durante a guerra, trabalhou especialmente com a bomba de plutônio. Depois da guerra, trabalhou com os aceleradores, tendo desenvolvido o acelerador linear de Berkeley e o Tandem Van de Graaf. Em 1968, lhe foi conferido o Prêmio Nobel de Física. Luis Alvarez morreu em 1988.

AMALDI, EDOARDO

Edoardo Amaldi nasceu em Carpineto (Piacenza), em 5 de setembro de 1908, filho do matemático Ugo. Laureou-se em Física em Roma, tendo sido um dos primeiros alunos de Fermi, em Roma. Fez parte do lendário grupo de Via Panisperna, que descobriu a radioatividade induzida por nêutrons e sua desaceleração nos materiais hidrogenados. Em 1938, foi indicado para a cátedra de Física experimental em Roma, cargo que ocupou ininterruptamente, por 41 anos. Fermi para os Estados Unidos, Amaldi resolveu continuar suas pesquisas em Roma, de onde se afastou só por um curto período, quando serviu como militar na África. Depois da guerra, deu uma contribuição fundamental para a reconstrução da Física na Itália. Foi o primeiro presidente do INFN e um dos criadores do Cern. Morreu em Roma, em 1989.

ANDERSON, CARL D.

Carl D. Anderson, filho de pais suecos, nasceu em New York, em 3 de setembro de 1905. Estudou no California Institute of Technology, onde se formou em 1927, e obteve seu Ph. D. em 1930. De 1930 a 1933, foi *research fellow*; a partir de 1933, assistant professor of Physics; e professor, a partir de 1939. As suas primeiras pesquisas foram sobre raios X. A partir de 1932, estudou os raios cósmicos com Millikan, descobrindo a existência do pósitron; e, em 1933, juntamente com Neddermeyer, obteve a prova de que os raios gama de alta energia geram pósitrons quando passam através da matéria. Em 1936, ganhou o Prêmio Nobel de Física. Anderson morreu em 11 de janeiro de 1991.

ANDERSON, HERBERT L.

Herbert L. Anderson nasceu em New York City, em 24 de maio de 1914. Estudou na Columbia University, onde obteve seu B.Sc. em Engenharia Eletrônica, em 1936. A seguir, desenvolveu pesquisas e deu notáveis contribuições tecnológicas para a construção do cíclotron da Columbia University. Em 25 de janeiro de 1939, Anderson, junto com Dunning e por sugestão de Fermi, foi o primeiro a visualizar, nos Estados Unidos, o processo de fissão. Em 1940, obteve também seu doutorado em Física. Colaborou com Fermi, em Chicago, na construção do primeiro reator atômico e dirigiu a construção do reator CP-2 de Argonne. Em 1944, foi para Los Alamos, para participar do Projeto Manhattan. A partir de 1960, fez parte da National Academy of Science, e, em 1982, recebeu o Prêmio Fermi. Por vários anos, sofreu de beriliose, em consequência da exposição às fontes de Ra-Be. Morreu em 16 de julho de 1988.

ARDENNE, MANFRED VON

Manfred von Ardenne, que tinha o título de barão, nasceu em 20 de janeiro de 1907. Em 1925-1926, estudou física, química e matemática

na Universidade de Berlim. Depois de 2 anos, abandonou os estudos, porque não concordava com o sistema universitário. Assim, em 1928, criou um laboratório próprio de pesquisas, em Berlin-Lichterfelde. Ali, desenvolveu pesquisas sobre os tubos eletrônicos e obteve a primeira imagem televisiva. Além disso, tirou as patentes nas técnicas de rádio-TV, radar e microscopia eletrônica. Durante a guerra, desenvolveu pesquisas sobre a separação isotópica, junto com Houtermans, que havia retornado da prisão na Rússia. Em maio de 1945, aceitou a oferta para transferir-se para a URSS, solicitando, em troca, segurança para sua família e para sua propriedade. Transferiu seu laboratório para Sukhumi, no mar Negro, onde colaborou para o desenvolvimento da energia nuclear, em particular para a separação dos isótopos. Em 1954, transferiu-se para Dresden, na Alemanha Oriental, onde remontou seu laboratório particular. Von Ardenne morreu em 26 de maio de 1997, em Dresden.

ASTON, FRANCIS W.

Francis W. Aston nasceu em 1º de setembro de 1877. Estudou Química e Física em Birmingham. Depois de sua formatura, trabalhou como químico em uma fábrica de cerveja. Em 1903, com o auxílio de uma bolsa de estudos, trabalhou com os tubos de Crookes. A partir de 1909, foi para o Cavendish Laboratory, em Cambridge, onde trabalhou com J. J. Thomson. Durante a I Guerra, trabalhou para a Air Force, e, ao mesmo tempo, desenvolveu a ideia do espectrômetro de massa. Retornou ao Cavendish em 1919, quando começou a trabalhar com separação isotópica. Construiu o espectrômetro de massa, com o qual separou cerca de 250 isótopos naturais. Em 1922, recebeu o Prêmio Nobel de Física. Morreu em 1945.

AUGER, PIERRE

Pierre Victor Auger nasceu em Paris, em 14 de maio de 1899. Entrou para a École Normale Supérieure com interesse em biologia e física atô-

mica. No período entre 1922 e 1942, dedicou-se totalmente à física experimental, trabalhando com física atômica (efeito fotoelétrico, efeito Auger), física nuclear (nêutrons lentos) e raios cósmicos. Em 1941, deixou a França, entrou para as "forças livres francesas" e dirigiu um grupo de pesquisadores franco-anglo-canadenses sobre pesquisas em física atômica. Em 1944, uniu-se a um grupo operativo em Londres. Em 1945, participou da criação do CEA francês. Entre os anos de 1948 e 1959, foi diretor do Departamento de Ciências da Unesco e contribuiu para a fundação do Cern. De 1959 a 1964, dedicou-se à astrofísica, e, de 1964 a 1967, a programas de satélites. De 1967 a 1970, dedicou-se à datação. Morreu em Paris, em 25 de dezembro de 1993.

BAGGE, ERICH

Erich Bagge nasceu em 1912, em Sonneburg. De 1931 a 1935, estudou física em Munique e no Politécnico de Berlim. Fez seu doutorado com Heisenberg em Leipzig, terminando-o em 1938. Ficou como seu assistente de 1939 a 1941. Colaborou com o clube do urânio. Em 1945, foi levado para Farm Hall. Em 1946, depois de um período de detenção em Farm Hall, foi assistente de física no M. Planck Institut, em Göttingen. De 1948 a 1949, foi professor de física na Universidade de Hamburgo, onde trabalhou com raios cósmicos. Em 1957, foi convidado para dirigir o Instituto de Física Nuclear de Kiel. Ali trabalhou com C-14 e com raios cósmicos. Morreu em 5 de junho de 1996.

BARSCHALL, HENRY HERMAN (HEINRICH HERRMANN)

Heinrich Herrmann Barschall nasceu em Berlim, em 29 de abril de 1915, em uma culta família de origem judia. Em 1933, conquistou a licença para lecionar, sendo o único na Alemanha a merecer a menção "com mérito". Iniciou seus estudos de física em Berlim, mas a tomada

do poder por Hitler obrigou-o a continuar seus estudos na Sorbonne, em 1933. Retornou a Berlim em 1934, onde estudou com Hertz e Becker. Depois, passou algum tempo em Marburg, mas, em seguida, viu-se obrigado a deixar a Alemanha. Com uma recomendação de Meyerhof, chegou em Princeton na primavera de 1937, onde continuou seus estudos, com Ladenburg. Sua tese diz respeito à produção de nêutrons com deutônios acelerados. No início de 1939, Niels Bohr chegou em Princeton com as notícias sobre a fissão. Em poucos dias, Barschall obteve as provas da fissão com nêutrons de 2,5 MeV e demonstrou que, enquanto os nêutrons velozes provocam fissões no U-238, os lentos as provocam no U-235. Depois de formado, Barschall passou um ano em Princeton, como instrutor de física, e depois foi para a Universidade do Kansas. Quando os Estados Unidos entraram na guerra, foi naturalizado americano (mudou seu nome para Henry Herman), sendo "convocado" a pesquisar em Los Alamos. Depois da guerra, foi para a Universidade de Wisconsin, continuando a trabalhar com as propriedades dos núcleos. Faleceu em 4 de fevereiro de 1997.

BECK, GUIDO

Guido Beck nasceu em Liberec, cidade checa que, naquela época, pertencia ao império austro-húngaro, em 29 de agosto de 1903. A partir de 1921, estudou física na Universidade de Viena. Ali se formou em 1925, com uma tese sobre campo gravitacional. Durante alguns anos, Beck trabalhou em Berna, onde conheceu Einstein, em Copenhague e em Praga. Neste último local, desenvolveu a teoria da desintegração beta. No começo dos anos 1930, foi assistente de Heisenberg em Leipzig. Em 1933, por causa das leis raciais, partiu para os Estados Unidos, onde trabalhou com a divisão dos nêutrons por colisão. Em 1935, permaneceu por um longo período na URSS. Em 1938, trabalhou na França com problemas de física nuclear. Durante a II Guerra Mundial, ficou por um ano

em Lisboa; de 1943 a 1951, na Argentina; e de 1951 a 1963, no Brasil. Entre 1963 e 1975, viveu na Argentina, retornando ao Brasil em 1975. Morreu no Rio de Janeiro, em 1988, em um acidente de carro.

BECQUEREL, HENRI

Antoine Henry Becquerel nasceu em Paris, em 15 de dezembro de 1852, em uma família de físicos renomados. Entrou no Politécnico de Paris em 1872, e, em 1877, tornou-se engenheiro. Em 1888, tornou-se doutor em ciências. Em 1892, foi professor de física aplicada e, em 1895, tornou-se professor de física no Politécnico de Paris. Em 1889, foi eleito para a Academia Francesa de Ciências. Em 1896, descobriu a radioatividade natural (radiação emitida pelo urânio). Em 1903, recebeu o Prêmio Nobel de Física. Morreu em Le Croisic, em 25 de agosto de 1908.

BETHE, HANS

Hans Albrecht Bethe nasceu em Estrasburgo, em 2 de julho de 1906, de mãe judia. Formou-se em Munique, em 1928, com A. Sommerfeld. De 1929 a 1932, permaneceu na Universidade de Munique, exceto por um o período em Cambridge e outro em Roma. No início de 1933, tornou-se assistente de Hans Geiger, na Universidade de Tübingen. Na primavera de 1933, Geiger o dispensou, e Bethe transferiu-se para Manchester, em outubro de 1933. Nesse local, dividiu o alojamento com Peierls. Terminada sua tarefa, foi para Compenhague, para trabalhar com Bohr. Em 1935, aceitou um cargo, em tempo integral, na Cornell University, Ithaca, N. Y., USA. Em 1939, intuiu imediatamente as consequências da fissão, mas só em 1942 começou a participar do Projeto Manhattan, como diretor da Divisão Teórica, passando muito tempo em Los Alamos, onde deu grandes contribuições aos aspectos teóricos da construção da bomba. Foi genro de Paul Ewald, tendo se casado com a filha dele,

Rose. Em 1967, recebeu o Prêmio Nobel de Física, em razão de suas pesquisas sobre a teoria das reações nucleares. Morreu em 2002.

BHABHA, JEHANGIR HOMI

Jehangir Homi Bhabha nasceu em 1909, em Bombaim. Depois de ter estudado nessa cidade, transferiu-se para Cambridge, onde completou seus estudos de engenharia. Depois, passou para a física teórica e, durante o período de 1930 a 1939, trabalhou no Cavendish Laboratory, onde estudou a interação da radiação cósmica com a matéria, e contribuiu para identificar o méson μ na mesma radiação. Em 1940, foi nomeado membro da Royal Society. Durante esses anos, visitou Bohr em Copenhague, Pauli em Zurique e Fermi em Roma. Em 1939, retornou à Índia e trabalhou em Bangalore com Raman, primeiro Prêmio Nobel indiano e diretor do Departamento de Física. De 1944 a 1966, fundou e dirigiu o Institute of Fundamental Research. Bhabha morreu em 1966.

BLAU, MARIETTA

Marietta Blau nasceu em 29 de abril de 1894, em Viena, em uma família judia. No período de 1914 a 1918, estudou matemática e física na Universidade de Viena, estando entre as primeiras mulheres a frequentá-la. De 1923 a 1938, trabalhou no Instituto do Rádio e no Instituto de Física de Viena, dirigido pelo nazista Georg Stetter. Durante esses anos, desenvolveu o método fotográfico para a revelação de partículas carregadas, obtendo importantes resultados. Em 1938, M. Blau foi obrigada a emigrar e, com a ajuda de Einstein, obteve uma colocação na Universidade da Cidade do México, e, depois, nos Estados Unidos. Em 1960, retornou a Viena, onde recomeçou a trabalhar no Instituto do Rádio. Morreu em 27 de janeiro de 1970.

BLACKETT, PATRICK MAYNARD STUART

Patrick Maynard Stuart Blackett nasceu em 18 de novembro de 1897. Em 1914, iniciou sua carreira como cadete naval, participando da I Guerra Mundial. No fim da guerra, após seu desligamento do Exército, começou a estudar física em Cambridge, com E. Rutherford. Ali formou-se em 1924. De 1924 a 1925, trabalhou em Göttingen, com James Franck. A partir de 1932, trabalhou na área de raios cósmicos, junto com Occhialini. Em 1933, eles demonstraram a existência de "enxames" de raios cósmicos e, depois, descobriram a "produção de duplas". Em 1933, foi professor no Birckback College de Londres e, a partir de 1937, sucedeu a L. Bragg, em Manchester, continuando a trabalhar com raios cósmicos. Em 1948, Blackett recebeu o Prêmio Nobel de Física. Morreu em 13 de julho de 1974.

BLOCH, FELIX

Felix Bloch nasceu em Zurique, em 23 de outubro de 1905, em uma família judia. Depois de um ano de estudo na ETH de Zurique, transferiu-se para a física, sempre na Universidade de Zurique, e, a seguir, completou seus estudos com Heisenberg, na Universidade de Leipzig. Ali formou-se em 1928. Nos anos seguintes, com a ajuda de várias bolsas de estudo, teve a oportunidade de trabalhar com Pauli, Kramers, Heisenberg, Bohr e Fermi. Na primavera de 1933, deixou a Alemanha, após o advento do nazismo. Em 1934, foi para Stanford. Em 1954, foi o primeiro diretor-geral do Cern. Em 1952, recebeu o Prêmio Nobel de Física, em razão de suas medidas de precisão dos momentos magnéticos nucleares. Felix Bloch morreu em 1983.

BOHR, NIELS

Niels Bohr nasceu em Copenhague, em 7 de outubro de 1885, em uma família de cientistas. Formou-se em 1911, tendo desenvolvido

um trabalho sobre a teoria dos elétrons nos metais. Logo depois, foi para Manchester, onde trabalhou com Rutherford. Ali e após seu retorno a Copenhague, em 1912, desenvolveu sua teoria sobre a estrutura do átomo, que publicou em 1913, na *Philosophical Magazine*. Em 1913, tornou-se docente na Universidade de Copenhague e, de 1914 a 1916, foi novamente para Manchester, com Rutherford. No seu retorno, construiu o Instituto de Física Teórica, em Copenhague. Em 1922, recebeu o Prêmio Nobel de Física. Em 1924, publicou, com Kramers e Slater, o trabalho *A teoria quântica da radiação*. De 1936 a 1943, trabalhou com física nuclear, elaborando o modelo do núcleo em forma de gota, e explicando, teoricamente, a fissão nuclear como devida principalmente ao U-235. Em 1943, fugiu da Dinamarca, então ocupada pelos nazistas, e, depois de uma rápida permanência na Inglaterra, dirigiu-se aos USA, onde participou ativamente do Projeto Manhattan. Dedicou-se também, mas com pouco sucesso, à política nuclear, quando sugeriu, a Roosevelt e a Churchill, que os conhecimentos nucleares fossem repassados para os soviéticos. Porém, encontrou a mais cerrada oposição de Churchill, que propôs até mesmo sua detenção. Em 1945, retornou a Copenhague, onde morreu, em 18 de novembro de 1962. Foi um dos maiores físicos do século 20.

BOHR, AAGE

Aage Bohr, filho de Niels Bohr, nasceu em Copenhague, em 1922. Ali obteve seu doutorado em 1954. Durante a II Guerra Mundial, foi assistente de seu pai, Niels. A partir de 1946, fez parte do Niels Bohr Institute of Theoretical Physics de Copenhague. Em 1975, juntamente com Ben Mottelson, recebeu o Prêmio Nobel de Física, por seu trabalho na determinação da assimetria de alguns núcleos atômicos.

BORN, MAX

Max Born nasceu em 1874, em Breslau, em uma família judia. Estudou em Breslau, Heidelberg, Zurique e Göttingen, onde se formou em 1907,

com Minkowski. De 1915 a 1919, foi professor-associado em Berlim. Tornou-se professor-titular de física teórica em Frankfurt, em 1919, e, a partir de 1921, foi professor dessa mesma matéria em Göttingen, onde criou uma importante escola de física teórica, pela qual passaram os maiores físicos teóricos da época (basta lembrar os nomes de Heisenberg, Pauli, Jordan, Fermi, Oppenheimer, Peierls, entre outros). Em 1933, foi obrigado a deixar a Alemanha em razão das leis raciais, e emigrou para a Inglaterra, primeiro para Cambridge, e, depois, com um intervalo de aproximadamente 6 meses, entre o outono de 1935 e a primavera de 1936, quando estava em Bangalore como hóspede de Raman, para Edimburgo, onde permaneceu por 13 anos. Em 1954, recebeu o Prêmio Nobel de Física. Depois da guerra, já aposentado, em 1954, retornou à Alemanha, para Bad Ryrmont, onde morreu em 1970.

BOTHE, WALTHER

Walther Bothe nasceu em 8 de janeiro de 1891, em Oranienburg, perto de Berlim. Estudou em Berlim, onde se formou em 1914, sob a orientação de M. Planck. A partir de 1913, foi assistente de Planck. De 1913 a 1930, trabalhou no Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR). Durante a guerra, foi feito prisioneiro dos russos e passou um ano na Sibéria. No PTR, colaborou com H. Geiger e desenvolveu o método das coincidências. A partir de 1929, foi professor-associado em Berlim e, a partir de 1930, professor e diretor do Instituto de Física em Giessen. Em 1932, sucedeu a Lenard, como diretor do Instituto de Física de Heidelberg. Em 1934, foi para o Instituto de Pesquisas Médicas, na mesma cidade. Em 1930, Walther Bothe e Herbert Becker descobriram que, quando o berílio era irradiado com partículas alfa, era emitida uma radiação mais penetrante do que as conhecidas, que identificaram, erroneamente, como gama de alta energia. Em Heidelberg, Bothe iniciou a construção de um cíclotron, com Gentner, que foi completada depois da guerra. Durante a

II Guerra Mundial, Bothe e Gentner propuseram a Joliot trabalharem no cíclotron de Paris. Bothe era antinazista, mas participou do Uranverein e fez medidas de absorção de nêutrons na grafite. Em 1946, voltou a ser professor-titular em Heidelberg. Em 1954, recebeu o Prêmio Nobel de Física. Morreu em 1957.

BRAGG, WILLIAM HENRY

William Henry Bragg nasceu em Westward, em Cumberland, em 2 de julho de 1862. Estudou matemática e depois, em 1885, física, no Trinity College de Cambridge. No final de 1885, foi professor de matemática e física na Universidade de Adelaide, Austrália. Depois, de 1909 a 1915, foi professor de física em Leeds, e, de 1915 a 1925, professor de física no University College de Londres. Durante os anos de 1913 e 1914, juntamente com seu filho Lawrence, fundou uma nova especialidade da física: o estudo da estrutura dos cristais através da difração dos raios X. Em 1915, foi concedido o Prêmio Nobel de Física ao pai e ao filho. Em 1935, foi eleito presidente da Royal Society. W. H. Bragg morreu em 10 de março de 1942.

BRIGGS, LYMAN J.

Lyman J. Briggs nasceu em 1874. Em 1897, começou sua carreira no Bureau of Soils, trabalhando especialmente com a umidade do solo. Em 1905, entrou para o Bureau of Plant Industry e, em 1920, foi para o National Bureau of Standards, onde se tornou diretor em 1933. Em 1939, foi nomeado chefe do comitê designado por Roosevelt para o desenvolvimento de pesquisas sobre a fissão. Porém, nessa posição, demonstrou ser excessivamente prudente e inconclusivo e, em 1942, o comitê foi dissolvido para dar lugar ao Projeto Manhattan, dirigido pelo enérgico general Groves. Briggs morreu em 1963.

BROGLIE, LOUIS DE

Louis-Victor de Broglie nasceu em Dieppe, em 15 de agosto de 1892. Em 1910, formou-se em história. Depois, dedicou-se à ciência, formando-se em 1913. No fim da I Guerra Mundial, dediou-se à física, especializando-se em Física teórica. Em 1924, completou a sua tese na Faculdade de Ciências da Universidade de Paris, com o título: *Recherches sur la théorie des quanta,* na qual desenvolveu a revolucionária ideia da natureza ondulatória do elétron, que, depois, em 1927, foi demonstrada por Davisson e Germer. Em 1929, ganhou o Prêmio Nobel de Física. Nos anos seguintes, dedicou-se muito à Didática, tanto na Sorbonne quanto no Instituto H. Poincaré. A partir de 1933, foi membro da Academia Francesa de Ciências. O príncipe Louis de Broglie morreu em 19 de março de 1987.

BUSH, VANNEVAR

Vannevar Bush (não existe nenhuma relação de parentesco com os presidentes dos USA de mesmo sobrenome) nasceu em 11 de março de 1890. Estudou no Tufts College, onde obteve o BS e o MS. De 1916 a 1917, formou-se em engenharia tanto em Harvard quanto no MIT. Em 1919, tornou-se professor-associado de condução elétrica no MIT e, em 1923, passou para professor-titular. Naqueles anos, deu importantes contribuições à engenharia elétrica. Em 1938, foi nomeado presidente da Carnegie Institution em Washington. Em 1940, foi nomeado Chairman of the President's National Defense Research Committee e, em 1941, Director of the Office of Scientific Research and Development. Nesses dois cargos, V. Bush foi uma figura central para o desenvolvimento da fissão nuclear e para o Projeto Manhattan. Em 1947, foi diretor da AT&T e, em 1948, diretor da Merck. V. Bush morreu em 1974.

CHADWICK, JAMES

James Chadwick nasceu em Cheshire, Inglaterra, em outubro de 1891. Entrou para a Universidade de Manchester em 1908, onde completou seus estudos de física em 1911. Passou os dois anos seguintes com Rutherford e obteve seu M. Sc. em 1913. Durante a I Guerra, ficou preso na Alemanha por 4 anos. No seu retorno, em 1919, retomou sua colaboração com Rutherford, no Cavendish Laboratory de Cambridge. Ali trabalhou com a transmutação de elementos leves depois de bombardeamento com partículas alfa, e tornou-se o braço direito de Rutherford. Em 1932, Chadwick fez uma descoberta fundamental: descobriu a existência do nêutron, dando prosseguimento aos experimentos de Bothe e Becker e do casal Joliot-Curie. Permaneceu em Cambridge até 1935, quando recebeu o Prêmio Nobel de Física. Então, transferiu-se para a Universidade de Liverpool. Durante a II Guerra, de 1943 a 1946, foi chefe da Missão Britânica nos USA para o Projeto Manhattan. Retornou à Inglaterra e, em 1948, retirou-se das atividades com a física, ocupando cargos administrativos. J. Chadwick morreu em 1974.

CHAMBERLAIN, OWEN

Owen Chamberlain nasceu em São Francisco, em 10 de julho de 1920. Entrou na Universidade da Califórnia, mas teve de interromper seus estudos por causa da II Guerra Mundial. Durante o Projeto Manhattan, trabalhou em Los Alamos, sob a orientação de E. Segré. Em 1946, transferiu-se para a Universidade de Chicago, onde obteve seu Ph. D. com Fermi, em 1949, com um estudo sobre a difração dos nêutrons lentos nos líquidos. Em 1948, retornou a Berkeley para trabalhar com Segré e com Wiegand sobre *scattering* próton-próton. Em 1955, contibuiu para a descoberta do antipróton, com Wiegand, Segré e Ypsilantis. Em 1959, recebeu o Prêmio Nobel de Física, juntamente com E. Segré. Morreu em 28 de fevereiro de 2006, em Berkeley.

CHANDRASEKHAR, SUBRAHMANYAN

Subrahmanyan Chandrasekhar, sobrinho do Prêmio Nobel Raman, nasceu em 19 de outubro de 1910. . Estudou no Presidency College de Madras, onde se formou em 1930. No mesmo ano, ganhou uma bolsa de estudos para o Trinity College de Cambridge. Partiu, então, para a Inglaterra, onde trabalhou com R. H. Fowler, com questões de gravitação e de astrofísica. No final de 1936, foi para Chicago, onde permaneceu até sua morte. Nos primeiros 27 anos, trabalhou no Observatório Yerkes e, depois, na Universidade de Chicago. Continuou a trabalhar com estruturas estelares, física do plasma e buracos negros, dando uma grande contribuição ao desenvolvimento das pesquisas nessa área. Morreu em 21 de agosto de 1995.

CHERENKOV, PAVEL

Pavel Alekseyevich Cherenkov nasceu na região de Voronej, em 28 de julho de 1904. Formou-se em matemática e física na Universidade de Voronej, em 1928. Em 1930, foi para o Lebedev Institute of Physics primeiro como *scientific officer*, e depois como *section leader*. Em 1940, obteve seu Ph. D. em física-matemática. A partir de 1953, tornou-se professor de física experimental. Em 1934, Cherenkov observou, pela primeira vez, a luz azul emitida pela água irradiada (efeito Cherenkov). Em 1958, recebeu o Prêmio Nobel de Física. P. A. Cherenkov morreu em 6 de janeiro de 1990.

CLUSIUS, KLAUS

Klaus Clusius nasceu em 1903. De 1922 a 1926, estudou físico-química no Politécnico de Breslau e, em 1926, obteve seu doutorado. Em 1931, obteve a habilitação em físico-química em Göttingen. Depois, tornou-se

professor-associado em Würzburg e, então, a partir de 1936, professor-titular em Munique, onde trabalhou, especialmente com água pesada e com separação isotópica. A partir de 1939, participou do clube do urânio, no âmbito do qual se ocupou da separação dos isótopos de urânio. A partir de 1947, foi professor de físico-química na Universidade de Zurique. Clusius morreu em 1963.

COCKROFT, JOHN DOUGLAS

John Douglas Cockroft nasceu em Todmorden, em 27 de maio de 1897. Em 1914, entrou na Victoria University, em Manchester, mas, quando começou a guerra, alistou-se como voluntário. No seu retorno, inscreveu-se na engenharia elétrica. Teve aulas de física com Rutherford, ficando impressionado. Dedicou-se à física atômica e, juntamente com E. T. S. Walton, projetou um acelerador de partículas com o qual estudou a transmutação nuclear. Obteve o Prêmio Nobel de Física em 1951, junto com Walton. Morreu em setembro de 1967.

COMPTON, ARTHUR H.

Arthur H. Compton nasceu em Wooster, Ohio, em 10 de setembro de 1892. Estudou ciências e obteve seu M. A. em 1913, e o Ph. D. em 1916, em Princeton. Depois de alguns anos em várias universidades, em 1920, tornou-se professor de física na Washington University, St. Louis. Em 1923, transferiu-se como professor para a Universidade de Chicago. Retornou a St. Louis em 1945, onde permaneceu até sua aposentadoria, em 1961. Desde os tempos de Princeton, passou a interessar-se por raios X. Deu uma contribuição fundamental com o estudo da refração dos raios X, que recebeu o nome de "efeito Compton", isto é, a difusão não elástica dos fótons por parte dos elétrons. Em 1927, recebeu o Prêmio Nobel de Física, explicitamente em razão do efeito que tem o seu nome.

No período de 1938 a 1940, trabalhou com raios cósmicos. Durante a II Guerra Mundial, participou ativamente do Projeto Manhattan, dirigindo o célebre Metallurgical Laboratory de Chicago, onde foi construído o primeiro reator nuclear. Compton morreu em março de 1962, em Berkeley.

CORBINO, ORSO MARIO

Orso Mario Corbino nasceu em Augusta, Sicília, em 1876, em uma família modesta. Apenas com 20 anos formou-se em física pela Universidade de Palermo. Ali, tornou-se assistente de E. Macaluso e descobriu a polarização da luz em um campo magnético (efeito Macaluso-Corbino). Em 1904, foi convidado a trabalhar em Messina, como professor-titular. Por sorte, escapou dos efeitos do terremoto de 1908. Em 1908, transferiu-se para Roma e, em 1918, sucedeu Blaserna na direção de Instituto de Física. Foi nomeado senador em 1920, ministro da Educação em 1921 e ministro da Economia em 1922, por incumbência de Mussolini, embora não fosse fascista. Nesses anos, descobriu o efeito Corbino, uma variante do efeito Hall. Em 1922, foi-lhe apresentado Enrico Fermi, jovem recém-formado, e, graças a esse conhecimento, Corbino pôde realizar sua obra-prima: ajudar a projetar seu pupilo. Ao intuir a genialidade de Fermi, encorajou-o, de todos os modos, conseguindo-lhe uma bolsa de estudos em Göttingen, e depois em Leiden, onde passou a lecionar na Universidade de Roma. Em 1926, conseguiu que Fermi fosse submetido a um concurso para professor-titular de física teórica, do qual Fermi se saiu muito bem. Morreu repentinamente em 1934, em razão de uma pneumonia.

CURIE, MARIA SKLODOWSKA

Maria Sklodowska (que passaria a ser conhecida como Mme. Curie) nasceu em Varsóvia, em 7 de novembro de 1867, em uma família de

professores. Em 1891, foi para Paris para completar seus estudos na Sorbonne, onde obteve a licenciatura em matemática e física. Em 1895, casou-se com Pierre Curie, com quem iniciou uma firme parceria científica nos estudos sobre a radioatividade natural. Descobriu novos elementos radioativos, como o polônio e o rádio. Em 1903, tornou-se doutora em ciências e, no mesmo ano, ganhou, junto com Pierre, o Prêmio Nobel de Física. Continuou as pesquisas mesmo depois da trágica morte do marido e, em 1911, recebeu seu segundo Prêmio Nobel, desta vez em química. Morreu de leucemia, em 4 de julho de 1934, provavelmente em decorrência das radiações absorvidas durante as suas pesquisas.

CURIE, PIERRE

Pierre Curie nasceu em Paris, em 15 de maio de 1859. Entrou na Faculdade de Ciências da Sorbonne, onde obteve sua licenciatura em 1878. Ali permaneceu como demonstrador no Laboratório de Física. Em 1895, tornou-se doutor em ciências e, no mesmo ano, casou-se com Maria Sklodowska. Em 1900, tornou-se professor na Faculdade de Ciências, onde veio a ser titular em 1904. Refinado experimental, dedicou-se inicialmente ao estudo dos cristais piezoelétricos e, depois, passou a trabalhar com sua mulher, em radioatividade natural. Em 1903, Pierre e Marie Curie, juntamente com Henry Becquerel, ganharam o Prêmio Nobel de Física. Pierre Curie morreu tragicamente em Paris, atropelado por uma carruagem, enquanto atravessava a rua, em 19 de abril de 1906.

DAVISSON, CLINTON JOSEPH

Clinton Joseph Davisson nasceu em Bloomington, Illinois, em 22 de outubro de 1881. Em setembro de 1902, entrou para a Universidade de Chicago, onde conheceu Millikan. Por motivos econômicos, deixou algumas vezes a universidade. Conseguiu, finalmente, seu Ph. D. em

física, em 1911, com uma tese *On the thermal emission of positive ions from alcaline earth salts*, com Richardson. Durante o período de 1911 a 1917, ensinou física em Pittsburgh e, depois, passou a trabalhar no Bell Telephone Laboratories. Em 1927, descobriu a difração dos elétrons, resultado de pesquisas que começaram em 1919, e, a partir de 1924, continuaram, com a colaboração de L. H. Germer. De 1930 a 1937, trabalhou com óptica eletrônica. Em 1937, recebeu o Prêmio Nobel de Física. Em 1946, aposentou-se do Bell. Morreu em 1º. de fevereiro de 1958.

DEBYE, PETER

Peter Debye nasceu em 1884, na Holanda. Estudou eletrotécnica em Aachen, e, depois, formou-se em Munique, com Sommerfeld, em 1905. Foi assistente de física teórica em Munique e professor-associado em Zurique. De 1912 a 1914, foi professor-ordinário em Utrecht e, a partir de 1914, em Göttingen. A partir de 1920, foi professor na Universidade de Zurique. A partir de 1935, foi diretor do KWIP em Berlin-Dahlem. Em 1936, recebeu o Prêmio Nobel de Química. Em 1940, transferiu-se para a Universidade de Cornell, USA. Morreu em 1966.

DELBRÜCK, MAX

Max Delbrück nasceu em 4 de setembro de 1906, em Berlim. Fez seu doutorado em física com M. Born, em 1930, em Göttingen. Depois de uma estada em Copenhague, com N. Bohr, trabalhou em Berlim, com Hahn e L. Meitner, de 1932 a 1937, para, depois, voltar sua atenção à aplicação da mecânica quântica ao estudo dos processos biológicos. Em 1937, foi para o California Institute of Technology, onde, em 1947, assumiu a cátedra de biologia. Em 1969, recebeu o Prêmio Nobel de Medicina, juntamente com S. Luria e A. D. Hershey. Max Delbrück morreu em 9 de março de 1981.

DIEBNER, KURT

Kurt Diebner nasceu em 1905, nas proximidades de Naumburg. Em 1925, começou a estudar física em Halle e Innsbruck. Formou-se com G. Hoffmann em Halle, de quem, a partir de 1931, tornou-se assistente. Trabalhou com física nuclear, principalmente com a desintegração radioativa. Em 1934, começou a trabalhar, em tempo parcial, na Physikalisch-technische Reichsanstalt. No mesmo ano, aderiu ao Partido Nacional-Socialista. Em 1939, foi diretor da Seção de Física Atômica do Centro de Pesquisa do HWA de Kummersdorf, sob a direção militar do general C. Becker. Participou do Uranverein, como representante do Exército e diretor-administrativo. Até 1945, foi diretor do Centro de HWA, em Kummersdorf-Gottow, onde montou vários protótipos de reator nuclear "em rede". Em 1943, realizou pesquisas sobre um reator com 240 dados de urânio (564 kg) e água pesada, que levou a um fator multiplicativo líquido de 106%. Essa seria a melhor tentativa de reator realizada na Alemanha. Depois, transferiu seu laboratório para Stadtilm e, em seguida, a pedido de Heisenberg, para Haigerloch. Em 1945, ficou detido em Farm Hall. A partir do final da guerra, criou várias pequenas indústrias. Junto com E. Bagge, solicitou várias patentes na área da energia nuclear. Foi editor das revistas *Atomkernenergie* e *Kerntechnik*. Morreu em 1964.

DIRAC, PAUL ADRIEN

Paul Adrien M. Dirac nasceu em Bristol, em 8 de agosto de 1902. Ali fez seu B. Sc. em engenharia, em 1921. A seguir, estudou matemática e conseguiu seu Ph. D. em física em Cambridge, em 1926. Naqueles anos, deu decisivas contribuições à mecânica quântica e à teoria do elétron, revolucionando a física moderna. Em 1933, recebeu o Prêmio Nobel de Física. Dirac morreu em 20 de outubro de 1984.

DÖPEL, GEORG ROBERT

Georg Robert Döpel nasceu em 3 de dezembro de 1895. De 1919 a 1924, estudou, sucessivamente, em Leipzig, Jena e Munique, onde se formou, com W. Wien. A seguir, foi assistente de Pohl, em Göttingen, e trabalhou com von Ardenne. De 1929 a 1939, foi assistente em Würzburg e, em 1933, trabalhou com reações nucleares. De 1939 a 1945, foi professor-associado em Leipzig, onde estudou, juntamente com sua mulher, Klara (que morreu durante um bombardeio), o possível uso da água pesada como moderadora em um reator nuclear e, de modo geral, a construção de uma "máquina de urânio", precursora de um reator nuclear. Participou do Uranverein. De 1942 a 1945, colaborou com Wirtz, em Berlim. De 1945 a 1958, trabalhou na URSS e, depois, foi professor de engenharia eletrônica em Ilmenau. Morreu em 1982.

DROSTE, GOTTFRIED von

Gottfried von Droste nasceu em 1908. Estudou químico-física nas universidades de Heidelberg, Munique e Berlim. Em 1933, formou-se em Berlim, com L. Meitner. De 1933 a 1942, foi assistente no KWIC. A partir de 1933, tornou-se membro das SA e, a partir de 1937, foi membro do Partido Nacional-Socialista. Em 1939, estava entre os primeiros a medir os traços da fissão do urânio. De 1946 a 1951, trabalhou no Departamento de Física da Universidade de Heidelberg e, a partir de 1951, na Physikalisch-technische Bundesanstalt, em Braunschweig. Morreu em 1992.

DUNNING, JOHN R.

John R. Dunning nasceu em Shelby, Nebraska, em 24 de setembro de 1907. Em 1929, formou-se na Universidade de Nebraska e, em 1934,

obteve seu Ph. D. em física, na Columbia University de New York. Ali participou, ativamente, dos diversos estudos que sucederam a descoberta da fissão, medindo, por exemplo, a enorme divisão por colisão da fissão do U-235, tendo proposto seu enriquecimento através da difusão gasosa. Morreu em 25 de agosto de 1975, em Kay Biscayne, Flórida.

EHRENFEST, PAUL

Paul Ehrenfest nasceu em Viena, em 18 de janeiro de 1880, em uma pobre família judia. Depois de notáveis peripécias nos estudos e na vida, em 1899, entrou na Technische Hochschule de Viena, onde aproveitou muito das aulas de Boltzmann. Em 1901, foi para Göttingen, onde estudou com Klein, Hilbert, Stark e Nernst. Finalmente, formou-se em Viena, com Boltzmann, em 1904. A partir desse momento, começam suas peregrinações por várias universidades, sem conseguir encontrar trabalho. Ficou muito abalado com o suicídio de Boltzmann. A partir de 1907, passou 5 anos em São Petersburgo (sua mulher era russa), sempre em precárias ocupações, mas continuando a trabalhar intensamente em física teórica. De repente, em 1912, foi convidado, pela Universidade de Leiden, a suceder Lorentz. Ali criou uma notável escola da física teórica, pela qual passaram alguns dos mais importantes físicos, como Fermi. Era muito amigo de Einstein e dos maiores físicos da época. Em 25 de setembro de 1933, suicidou-se, em Leiden, depois de ter matado seu filho deficiente, portador da síndrome de Down.

EINSTEIN, ALBERT

Albert Einstein nasceu em Ulm, em 1879, em uma família judia. A partir de 1896, estudou no Politécnico de Zurique, onde se diplomou em 1900. De 1902 a 1909, foi empregado do Escritório de Patentes de Berna. Em 1905, ano de ouro para Einstein, publicou três trabalhos

fundamentais: sobre a relatividade limitada, sobre o efeito fotoelétrico e sobre o movimento browniano. Em 1908, fez sua habilitação na Universidade de Berna e foi professor-associado na Universidade de Zurique. De 1911 a 1912, foi professor-titular na Universidade de Praga, e, a partir de 1912, no Politécnico de Zurique (ETH). De 1917 a 1933, foi diretor do KWIP, em Berlin-Dahlem. Em 1933, encontrando-se no exterior, em Anversa, decidiu aceitar um convite para trabalhar no Institute for Advanced Study, em Princeton, EUA. Em agosto de 1939, escreveu, em parceria com Szilàrd, e assinou a famosa carta enviada ao presidente Roosevelt, advertindo-o sobre o perigo da fabricação de uma bomba nuclear pela Alemanha. Morreu em 1955.

ESAU, ABRAHAM

Abraham Esau nasceu em 1884. De 1902 a 1907, estudou em Berlim e Danzig. De 1906 a 1909, foi assistente de Wien, no Politécnico de Danzig. De 1910 a 1912, foi assistente na Universidade de Halle. De 1915 a 1918, participou da I Guerra Mundial. De 1912 a 1925, foi diretor da *Gesellschaft für ratlose Telegraphie,* em Berlim, e pioneiro das altas frequências. De 1921 a 1922, ficou na Argentina e no Brasil. De 1927 a 1939, foi professor de física teórica na Universidade de Jena, e também reitor por alguns anos. De 1939 a 1945, foi professor de técnicas de transmissões militares no Politécnico de Berlim. Em 29 de abril de 1939, organizou, em Berlim, a primeira reunião do Uranverein. Em dezembro de 1942, Göring nomeou-o plenipotenciário para a física nuclear, embora não fosse um especialista nessa matéria. Em dezembro de 1943, foi substituído por Walther Gerlach. Foi feito prisioneiro pelos americanos e passou um período na prisão da Holanda. A partir de 1953, assumiu o cargo de diretor do Instituto de Pesquisas Aeronáuticas de Mülheim. Morreu em 1955.

EWALD, PAUL

Paul Ewald nasceu em 1888. Estudou física, matemática e química em Cambridge, Göttingen e Munique. Formou-se em Munique, em 1912, com Sommerfeld. A partir de 1912, foi assistente de física teórica em Munique. A partir de 1921, foi professor-associado no Politécnico de Stuttgart; a partir de 1922, professor-titular e, em 1933, reitor, sempre na mesma cidade. A ele se deve a primeira teoria sobre a difração dos raios X. Em 20 de abril de 1933, demitiu-se como reitor, em protesto contra as leis nacional-socialistas sobre os empregos estaduais. Em 1937, emigrou para a Inglaterra e, em 1949, para os Estados Unidos, para o Brooklyn Polytechnic. Era sogro de Hans Bethe. Morreu em 1985.

FERMI, ENRICO

Enrico Fermi nasceu em Roma, em 29 de setembro de 1901. Demonstrou, precocemente, um grande interesse pela física e pela matemática. Em 1918, venceu o concurso para a Escola Normal Superior de Pisa, onde se formou em física, com Puccianti, em 1922. Em 1923, ganhou uma bolsa de estudos e passou vários meses com M. Born, em Göttingen, e com P. Ehrenfest, em Leiden. De 1924 a 1926, foi docente na Universidade de Florença. Naquele período, elaborou a estatística que leva o seu nome. Em 1927, venceu o concurso para a cátedra de física teórica, na Universidade de Roma. Ali, em 1933, desenvolveu a teoria do decaimento beta e, em 1934, descobriu a radioatividade artificial induzida por nêutrons e a desaceleração dos nêutrons. Em 1938, foi agraciado com o Prêmio Nobel de Física. Aproveitou-se de uma viagem a Estocolmo para sair da Itália, em razão das leis raciais (sua mulher era judia). Foi para os USA, onde se tornou professor na Columbia University, de 1939 a 1942. Participou, como líder, do Projeto Manhattan, e construiu, em Chicago, o primeiro reator nuclear (2 de dezembro de 1942). Em 1944, tornou-se cidadão americano. Estava em Los Alamos na fase final da construção

da bomba atômica. A partir de 1946, foi professor na Universidade de Chicago. Morreu vitimado por câncer no estômago, em 29 de novembro de 1954.

FINKELNBURG, WOLFGANG

Wolfgang Finkelnburg nasceu em 1905. Entre 1924 e 1928, estudou em Tübingen e em Bonn. Em 1928, formou-se em Bonn, com Konen, de quem se tornou assistente. Em 1933 e 1934, trabalhou com Millikan, nos USA. A partir de 1936, foi professor-associado no Politécnico de Darmstadt e, de 1942 a 1945, professor-associado e diretor do Departamento de Física em Estrasburgo. A partir de 1941, foi vice-presidente da Sociedade Alemã de Física (DPG) e membro influente do NSDDB (Nazionalsozialistischer Deutscher Dozentenbund). A partir de 1946, tornou-se professor da Catholic University of America. Morreu em 1967.

FLAMMERSFELD, ARNOLD

Arnold Flammersfeld nasceu em 1913. Estudou física na Universidade de Berlim e formou-se em 1938, com L. Meitner. A partir de 1937, foi assistente de L. Meitner, no KWIC, em Berlin-Dahlem. Permaneceu fiel a L. Meitner mesmo quando ela teve que fugir da Alemanha. De 1939 a 1941, ficou em Heidelberg, no KWI, em pesquisa médica, com W. Bothe. A partir de 1941, retornou ao KWIC. De 1949 a 1954, foi docente de física na Universidade de Mainz. A partir de 1954, foi professor-titular na Universidade de Göttingen.

FLEISCHMANN, RUDOLF

Rudolf Fleischmann nasceu em 1903. De 1922 a 1926, estudou física em Erlangen e Munique. De 1932 a 1934, foi assistente de Bothe na

Universidade de Heidelberg e, depois, passou para o KWI, para a pesquisa médica. A partir de 1939, trabalhou com os métodos de separação isotópica de Clusius-Dickel. De 1941 a 1944, foi professor-associado na Universidade de Estrasburgo. Ali, no final de novembro de 1944, foi feito prisioneiro dos americanos e interrogado. Os arquivos da Universidade de Estrasburgo, onde também trabalhava von Weizsäcker, mostraram aos cientistas da Missão Alsos que os alemães estavam distantes da construção de uma bomba. Durante a Missão Alsos, em Estrasburgo, Goudsmit julgou-o um "nazista extremista". De 1947 a 1953, foi professor-titular na Universidade de Hamburgo e, a partir de 1953, na Universidade de Erlangen. Morreu em Erlangen, em 3 de fevereiro de 2002.

FLÜGGE, SIEGFRIED

Siegfried Flügge nasceu em 1912. De 1929 a 1933, estudou física em Dresden e Göttingen. De 1933 a 1935, foi assistente em Frankfurt, e, entre 1936 e 1937, foi assistente de Heisenberg, em Leipzig. De 1937 a 1942, foi assistente de O. Hahn no KWIC, em Berlin-Dahlem, sucedendo Max Delbrück, que havia emigrado. Em 1938, fez sua habilitação em Munique. Em 1939, escreveu dois artigos importantes sobre energia nuclear. Particularmente no primeiro artigo, datado de junho de 1939, mostrou explicitamente a possibilidade de construção de uma máquina a urânio, com a produção de uma enorme quantidade de energia. A partir de 1941, tornou-se docente em Berlim. De 1945 a 1947, foi para a Universidade de Göttingen e, a partir de 1947, para a Marburg. Entre 1949 e 1950, foi para Madison, Wisconsin, e, em 1953, para o Carnegie Institute of Technology, de Pittsburg. A seguir, foi para a Universidade de Freiburg. Flügge morreu em 1997.

FRANCK, JAMES

James Franck nasceu em Hamburgo, em 26 de agosto de 1882, em uma família judia. Estudou em Berlim e formou-se com Warburg, em 1906.

Depois de um breve período em Frankfurt, morou em Berlim até 1918. Em 1911, iniciou seus estudos experimentais sobre colisões dos elétrons. A partir de 1918, foi diretor do KWIPC. De 1920 a 1934, tornou-se professor-titular na Universidade de Göttingen e diretor do Instituto de Física. Em 1925, recebeu o Prêmio Nobel de Física, em razão dos estudos (conduzidos com G. Hertz) sobre a interação dos elétrons com os átomos. Em 1933, pediu demissão, em virtude das leis raciais. Para o período de 1934 e 1935, foi nomeado diretor da Divisão de Física do Kaiser Wilhelm Institut de Berlin-Dahlem. Quando o regime nazista chegou ao poder, Franck, com toda a sua família, partiu para os Estados Unidos (Baltimore). Em 1935, estava na J. Hopkins University, e, a partir de 1938, foi professor na Universidade de Chicago. Participou do Projeto Manhattan. Em 1945, assinou, juntamente com Szilàrd, o *Relatório Franck*, no qual se pedia que a bomba atômica não fosse usada. Morreu em 1964.

FRISCH, ROBERT OTTO

Robert Otto Frisch, sobrinho de Lise Meitner, nasceu em Viena, em 1904, em uma família judia. Estudou matemática e física na Universidade de Viena, onde se formou em 1926. No período de 1927 a 1930, foi pesquisador no PTR de Berlim. De 1930 a 1933, foi assistente de Stern em Hamburgo, onde aprendeu a trabalhar com feixes atômicos em campos magnéticos. Em 1933, foi obrigado a emigrar em razão das leis raciais. Entre 1933 e 1934 foi assistente de Blackett em Londres, e, de 1934 a 1939, colaborou com Bohr, em Copenhague. No final de 1938 e início de 1939, foi visitar sua tia Lise Meitner, exilada na Suécia, e, juntos, fizeram a interpretação correta do experimento de fissão de Hahn e Strassmann. Duas semanas depois, em Copenhague, "viu" pela primeira vez os produtos da fissão do urânio. Entre 1939 e 1940, foi para Birmingham, com Oliphant, e, entre 1940 e 1943, viveu em Liverpool, onde calculou, com Peierls, a massa crítica do U-235 para a bomba atô-

mica. De 1943 a 1946, ficou em Los Alamos, participando do Projeto Manhattan, e levando a termo, em especial, o experimento Dragon, no qual demonstrou a viabilidade de um reator crítico com nêutrons rápidos. Ali, fez-se chamar de Otto, em vez de Robert, em virtude do grande número de pessoas com esse nome. Depois, foi professor de física no Trinity College de Cambridge. Morreu em 1979.

FUCHS, KLAUS

Klaus Fuchs nasceu em Rüsselsheim (Alemanha), em 1911, filho de um pastor luterano. Quando jovem, inscreveu-se no Partido Comunista Alemão. Era particularmente dotado para a matemática e iniciou seus estudos de física na Universidade de Kiel, mas, quando os nazistas tomaram o poder, em 1933, foi obrigado a fugir da Alemanha e refugiou-se na Inglaterra. Formou-se em física em Bristol, em 1937, com N. Mott, e continuou seus estudos em Edimburgo, com Max Born. Com a explosão da guerra, por motivo de segurança, todos os alemães residentes na Inglaterra foram detidos. Fuchs foi para o Canadá, onde foi preso, mas, graças à intervenção de Max Born, seu professor em Edimburgo, foi solto. Em 1943, foi transferido para os Estados Unidos, onde participou do Projeto Manhattan, em Los Alamos. Foi considerado um excelente cientista. Em 1948, começou a ser suspeito de espionagem e, em 1950, foi acusado de ter transmitido à Rússia informações fundamentais sobre a construção da bomba atômica, motivo por que foi condenado a 14 anos de prisão. Foi solto em 1959 e refugiou-se na Alemanha Oriental. Morreu em 1988.

GAMOW, GEORGE

George Gamow nasceu em Odessa, Rússia, em 1904. De 1922 a 1928, estudou física na Universidade de São Petersburgo e, em 1928, obte-

ve seu Ph. D. De 1929 a 1931, foi bolsista em Göttingen, depois em Cambridge, com Rutherford, e, finalmente, em Copenhague. Elaborou a teoria de emissão a e o modelo da gota de água do núcleo. Entre 1931 e 1933, foi professor na Universidade de Leningrado, enquanto, em 1933 e 1934 foi professor-visitante na Sorbonne, e depois na Universidade de Michigan, Ann Arbor. De 1934 até 1956, foi professor na Universidade de Washington. Morreu em 1968.

GANS, RICHARD

Richard Gans nasceu em 1880. Estudou física em Hannover e Estrasburgo. Fez sua habilitação em Tübingen, em 1903, e ali permaneceu até 1911. A partir de 1912, foi professor e diretor do Departamento de Física de La Plata, Argentina. Entre 1925 e 1935, foi professor-titular na Universidade de Königsberg. No período entre 1936 e 1939, foi consultor do AEG em Berlim. Entre 1943 e 1945, compunha o staff do RFR. Finalmente, retornou a La Plata, e, a partir de 1951, foi professor em Buenos Aires. Morreu em 1954.

GEHRCKE, ERNST

Ernst Gehrcke nasceu em Berlim, em 1878. Estudou física em Berlim, com Warburg. Em 1903, desenvolveu um interferômetro de precisão. De 1901 a 1946, trabalhou no Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. Criticou a teoria da relatividade. Depois da guerra, trabalhou na Zeiss de Jena. Em 1949, fugiu para Berlim Ocidental. Trabalhou num escritório de pesos e medidas. Gehrcke morreu em 1960.

GEIGER, HANS

Hans Geiger nasceu em 1882, em Neustradt, no Rheinpfalz. Estudou física em Erlangen, Munique e Manchester. Formou-se em Erlangen em

1906. De 1907 a 1912, foi assistente de Rutherford, em Manchester. De 1912 a 1925, trabalhou no Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. No período de 1925 a 1929, foi professor-titular de física em Kiel. Ali desenvolveu (junto com Walter Müller) o célebre "contador Geiger". Entre 1929 e 1936, foi professor de física em Tübingen e, no período de 1936 a 1945, foi professor no Politécnico de Berlin-Charlottenburg. Simpatizante do Partido Nacional-Socialismo, participou do Projeto Uranverein. Morreu em 1945.

GENTNER, WOLFGANG

Wolfgang Gentner nasceu em 1906. Depois de ter começado a estudar medicina e biologia, no período de 1925 a 1930, estudou física em Erlangen e Frankfurt, onde se formou, em 1930. Em 1932, estava em Paris, como o primeiro bolsista alemão de Joliot. Ali, trabalhou com as medidas de divisão por colisão e com o efeito fotonuclear. De 1936 a 1945, foi assistente de Bothe, em Heidelberg, no KWI para pesquisa médica. Construiu um acelerador Van de Graaf. Entre 1938 e 1939, partiu para Berkeley, onde colaborou com Lawrence, para depois construir um acelerador em Heidelberg. Durante a guerra, foi várias vezes a Paris, também com Bothe, onde já tinha colaborado com Joliot. Tinha sentimentos antinazistas e, no fim da guerra, colaborou com a Missão Alsos. A partir de 1946, foi professor-titular na Universidade de Freiburg. Em 1955, foi para o Cern. A seguir, foi diretor do M. Planck Institut, em Heidelberg. Morreu em Heidelberg, em 1980.

GERLACH, WALTHER

Walther Gerlach nasceu em 1889, em Biebrich am Mein. No período de 1908 a 1912, estudou em Tübingen, onde se formou com Paschen. Durante os anos 1919 e 1920, foi chefe do laboratório de física da Bayer

Werke. A partir de 1920, tornou-se assistente em Frankfurt, no Instituto de Física Experimental, anexo ao Instituto de Física Teórica, dirigido por Max Born, e onde também trabalhava O. Stern. Ali descobriu, junto com Stern, a quantificação em um campo magnético (efeito Stern-Gerlach). A partir de 1925, sucedeu Paschen como professor-titular em Tübingen. Em 1927, foi professor-visitante na Universidade de Zurique. De 1929 a 1945, sucedeu Wilhelm Wien na Universidade de Munique, onde se tornou, também, diretor do Instituto de Física. A partir de abril de 1935, presidiu o comitê para a sucessão de Sommerfeld em Munique. Em 1º/1/1944 foi nomeado, por Göring, "plenipotenciário" para a física nuclear do RFR, no lugar de A. Esau. Foi um simpatizante com o nazismo, embora não tenha se inscrito no Partido Nacional-Socialista. Procurou dar um grande impulso ao Projeto Uranverein, mesmo não sendo ele um especialista em física nuclear. Na primavera de 1945, foi capturado em Hamburgo, e, de maio de 1945 a fevereiro de 1946, foi detido na França, na Bélgica e na Inglaterra (Farm Hall).

De 1948 a 1957, foi professor ordinário na Universidade de Munique, e, de 1948 a 1951, reitor dessa universidade. De 1949 a 1961, foi vice-presidente da DPG e coassinante, em 1957, do manifesto de Göttingen contra o rearmamento nuclear da Alemanha. Morreu em 1979.

GLASER, LUDWIG

Ludwig Glaser nasceu em 1889. Estudou em Berlim e no Imperial College, em Londres. Fez seu doutorado em engenharia e entrou para a Krupp. Foi um protegido de Lenard e Stark e um convicto antirrelativista, antiquântico e antijudeu. Em fevereiro de 1932, entrou para o Partido Nacional-Socialista e foi um ativo defensor da física ariana. Depois de 1939, tornou-se assistente de W. Muller, em Munique.

GOLDHABER, MAURICE

Maurice Goldhaber nasceu em Lemberg, Áustria, em 1911. Em 1936, obteve seu Ph. D. na Universidade de Cambridge. Em 1934, juntamente com Chadwick, mediu a massa do nêutron e, depois, a desintegração de elementos leves bombardeados com nêutrons lentos. Em 1938, emigrou para os Estados Unidos, onde se tornou professor-associado de Física na Universidade de Illinois, assim permanecendo até 1950. Depois, tornou-se diretor do Departamento de Física e, por fim, diretor da universidade, de 1961 a 1973. Na década de 1950, efetuou brilhantes medidas sobre a helicidade do neutrino.

GOUDSMIT, SAMUEL

Samuel Goudsmit nasceu em Haia, em 1902, em uma família judia. Estudou física em Leiden, no período de 1919 a 1926 e, em 1927, doutorou-se ali, com Ehrenfest. Desenvolveu pesquisas sobre o efeito Zeeman e, em 1925, determinou o spin do elétron (com Uhlenbeck). A partir de 1927, foi para a Universidade de Michigan (Ann Arbor), primeiro como pesquisador, depois como professor-associado, e, finalmente, de 1932 a 1936, como professor-titular. De 1941 a 1946, foi membro do Radiation Laboratory do MIT. Em 1943, seus pais, judeus, morreram em um campo de concentração. Em 1944 e 1945, foi o responsável científico pela Missão Alsos. Foi a primeira pessoa a declarar que Heisenberg não tinha conhecimentos suficientes para construir a bomba atômica, embora alegasse estar simplesmente desinteressado em construí-la. De 1946 a 1948, foi professor com dedicação exclusiva na Northwestern University. Em 1948, tornou-se senior scientist e, em 1952, chairman do Departamento de Física do Brookhaven Nat. Lab. Morreu em 1978.

GOEPPERT-MAYER, MARIA

Maria Goeppert-Mayer nasceu em Kattowice, Alemanha (atualmente território polonês), em 28 de junho de 1906. Em 1910, a família transferiu-se para Göttingen, onde seu pai era professor de pediatria e onde Maria iniciou seus estudos, em 1924. Em 1930, obteve seu doutorado sob a orientação de Max Born, estudando um problema de mecânica quântica. Pouco antes, conhecera um físico americano, Edward Mayer, que utilizava de uma bolsa de estudos para trabalhar com James Franck. Já casada com Mayer, transferiram-se para a J. Hopkins University, em Baltimore. Em 1939, transferiu-se para a Columbia University, N.Y., onde trabalhou com Urey na separação dos isótopos de urânio. Em 1946, foi para Chicago, onde trabalhou sob a orientação de Teller e Fermi. Nesse período, começou a trabalhar com os "números mágicos" dos núcleos. Em 1963, ganhou o Prêmio Nobel de Física, dividindo-o com J. Jensen, por suas descobertas relativas à estrutura nuclear. Maria Goeppert-Mayer morreu em 1972, em San Diego.

GROSSE, ARISTID von

Aristid von Grosse nasceu em Riga, em 1905. Estudou química em Berlim e formou-se com O. Hahn, com quem trabalhou na década de 1930, e, com ele, manteve uma grande polêmica sobre a prioridade de uma pesquisa sobre o protoactínio. O isótopo Pa-234m desse elemento tinha sido identificado, em 1913, por K. Fajans e O. Göhring, tendo sido chamado de brevium. Em 1918, Hahn e Meitner, e independentemente, Soddy, identificaram o radioisótopo Pa-231. Em 1927, von Grosse isolou 2 mg de Pa-205 e, em 1934, de 0,2 g de Pa_2O_5, isolou o elemento. Grosse emigrou para os Estados Unidos e, depois de uma breve permanência em Chicago, foi para a Columbia University de New York, onde participou de várias pesquisas sobre isótopos de urânio, juntamente com Fermi. Morreu em 1985.

GROVES, LESLIE

Leslie Groves nasceu em Albany, em 17 de agosto de 1896. Frequentou a Universidade de Washington e o MIT, e formou-se em West Point, em 1918. Fez toda a sua carreira no Exército, até atingir a graduação de coronel. Em 1942, foi promovido a brigadeiro-general e colocado no comando do Projeto Manhatan (para a construção da bomba atômica), que levou à construção das duas bombas que destruíram Hiroshima e Nagasaki. Groves morreu em 13 de julho de 1970.

HAHN, OTTO

Otto Hahn nasceu em 1879. Estudou química em Munique e Marburg, onde fez seu doutorado, em 1901. Trabalhou com Rutherford na McGill University, no Canadá. A partir de 1910, foi professor-associado na Universidade de Berlim. Em 1912, foi diretor do KWIPC, em Berlin-Dahlem. Trabalhou por cerca de 25 anos com Lise Meitner. Em 1934, entregou seu pedido de demissão à universidade, em resposta à demissão imposta a Fritz Haber. No final de 1938, descobriu, com Strassmann, a fissão do urânio, cuja interpretação correta, todavia, foi dada pela sua ex-colaboradora, Lise Meitner. Ganhou o Prêmio Nobel de Química em 1944. Em 1945, foi detido em Farm Hall. De 1946 a 1959, foi presidente da KWG, em sucessão a Max Planck Gesellschaft. Morreu em Göttingen, em 1968.

HALBAN, HANS von

Hans von Halban nasceu na Áustria, em 1877. Depois de ter trabalhado em outros campos da pesquisa física, em 1939, von Halban e O. Frisch descobriram, em Copenhague, que a água pesada absorvia bem menos nêutrons do que a água normal. Depois da descoberta da

fissão por Hahn e Strassmann, em abril de 1939, F. Joliot, H. von Halban e L. Kowarski mediram os nêutrons secundários emitidos em uma fissão. Em outubro desse mesmo ano, os três escreveram um trabalho, que só seria "descoberto" em 1949, sobre a possibilidade de produzir reações em cadeia utilizando-se urânio e água pesada. Participou do projeto inglês para a construção da bomba atômica e, em 1942, von Halban juntou-se aos aliados anglo-canadenses para realizar um projeto nuclear em Montreal, Canadá. Depois da guerra, foi professor na Universidade de Zurique. Von Halban morreu em Schaffhausen, em 11 de outubro de 1947.

HANLE, WILHELM

Wilhelm Hanle nasceu em 1901. Estudou nas universidades de Heidelberg e de Göttingen, tendo se formado nesta última sob a orientação de J. Franck. A partir de 1924, foi assistente em Göttingen, Tübingen e Halle. Em 1929, foi professor-associado na Universidade de Jena. De 1937 a 1941, foi para a Universidade de Göttingen, com G. Joos. Determinou a impureza de B e Cd na grafite do Uranverein. A partir de 1941, foi professor-titular de física experimental na Universidade de Giessen. Morreu em 1993.

HARTECK, PAUL

Paul Harteck nasceu em Viena, em 1902. Estudou química na Universidade de Viena e de Berlim, de 1921 a 1926. De 1926 a 1928, trabalhou no Politécnico de Breslau. De 1928 a 1933, foi para o KWIPC. Entre 1933 e 1934, trabalhou em Cambridge, com Rutherford e Oliphant, em especial sobre a produção de nêutrons na colisão deutério-deutério. De 1934 a 1945, foi professor-titular e diretor do Departamento de Física-Química na Universidade de Hamburgo. Em abril de 1939, entrou para

o Uranverein. Trabalhou na separação isotópica do urânio, junto com J. Jensen, W. Groth e F. Knauer. A partir de 1939, junto com H. Suess, focalizou sua atenção sobre a água pesada (Norsk Hydro). No final de 1943, chegou a produzir 7,5 g de urânio enriquecido a 5%, com dupla ultracentrifugação, e sugeriu um novo tipo de centrífuga que, porém, não deu os resultados previstos. Em 1945, foi detido em Farm Hall. De 1946 a 1950, retornou à Universidade de Hamburgo. A partir de 1951, tornou-se professor no Rensselaer Polytechnical Inst., em Troy, NY, EUA. Morreu em 22 de janeiro de 1985.

HARTREE, D. R.

D. R. Hartree nasceu em Cambridge, em 27 de março de 1897. Iniciou seus estudos universitários em 1916, em Cambridge. De 1916 a 1919, foi recrutado. De 1919 a 1926, retomou os estudos de física e obteve seu Ph. D. com R. H. Fowler, em 1926. Entre 1928 e 1929, trabalhou na Universidade de Copenhague, e, de 1929 a 1946, foi professor na Universidade de Manchester. Hartree foi, basicamente, um físico teórico e desenvolveu métodos de cálculo numérico e, depois da II Guerra Mundial, anteviu e preparou o advento dos computadores eletrônicos. Morreu em Cambridge, em 12 de fevereiro de 1958.

HAXEL, OTTO

Otto Haxel nasceu em 2 de abril de 1909, em Neu Ulm. De 1927 a 1933, estudou no Politécnico de Munique e na Universidade de Tübingen, onde se doutorou com H. Geiger e fez sua habilitação em 1936. A partir de 1936, foi assistente no Politécnico de Berlim, e, a partir de 1939, docente de física. A partir de 1943, trabalhou na Seção de Pesquisas da Marinha, com divisões de colisão de absorção de nêutrons e seus problemas relacionados com a construção de um reator e de um acelerador. Entre

1946 e 1950, foi assistente de Heisenberg, em Göttingen. Casou-se com a segunda esposa de Houtermans, quando este se divorciou dela para casar-se novamente com a primeira mulher, Charlotte Riefenstahl. A partir de 1951, foi professor-titular na Universidade de Heidelberg, onde morreu, em 1998.

HEISENBERG, WERNER

Werner Heisenberg nasceu em Würzburg, na alta Baviera, em 5 de dezembro de 1901. Nove anos depois, a família de Werner transferiu-se para Munique, onde o pai fora convidado a ensinar grego na universidade. Entrou na universidade em 1920, onde conheceu Arnold Sommerfeld, renomado professor de física teórica, então com 52 anos e no ápice da fama. Em 1923, Heisenberg completou seus estudos em Munique. Nesse ínterim, tinha passado 6 meses em Göttingen, com Born. Depois de formado, Heisenberg retornou a Göttingen. Em setembro de 1924, dirigiu-se a Copenhague, para trabalhar com Bohr, e ali escreveu seu famoso artigo *Uma reinterpretação quântica das relações cinemáticas e mecânicas*, que assinalou a passagem da mecânica clássica para a mecânica quântica, e, em março de 1927, formulou o fundamental "princípio da indeterminação". Logo depois, com apenas 26 anos, tornou-se professor de física teórica na Universidade de Leipzig. Num período de poucos anos, Heisenberg criou em Leipzig uma importante escola de física. Essa fantástica fase de trabalho de Heisenberg encerrou-se em 1932, com a concessão a Werner Heisenberg, com apenas 31 anos, do Prêmio Nobel, em razão da criação da mecânica quântica. Em 1939, foi o mais importante participante, e, depois, o diretor científico do Uranverein. No verão de 1945, foi capturado pelos ingleses e detido em Farm Hall. Libertado, tornou-se diretor do M. Planck Institut, em Göttingen. Em 1956, retornou a Munique, como professor. Morreu em Munique, em 1974.

HEITLER, WALTER

Walter Heitler nasceu em Karlsruhe, em 1904, em uma família judia. De 1922 a 1926, estudou na Technische Hochschule de Karlsruhe, na Universidade de Berlim e na Universidade de Munique, tendo obtido seu Ph. D. nesta última, em 1926, sob a orientação de K. F. Herzfeld. Em 1927, foi para a Universidade de Zurique, onde publicou, com F. London, um importante trabalho de mecânica quântica. De 1927 a 1933, estava na Universidade de Göttingen e, de 1933 a 1941, na Universidade de Bristol. Morreu em 1981.

HERTZ, GUSTAV

Gustav Hertz, sobrinho do famoso Heinrich Hertz, nasceu em 1887, em Hamburgo. Entre 1906 e 1911, estudou em Göttingen, Munique e Berlim. Em 1917, estava na Universidade de Berlim e, a partir de 1920, na Philips de Eindhoven. Em 1925, recebeu o Prêmio Nobel de Física, junto com J. Franck, pelas medidas de colisões de elétrons, realizadas entre 1911 e 1913. Em 1925, foi para a Universidade de Halle e, a partir de 1928, foi professor de física experimental no Politécnico de Berlim. Em 1934, deixou temporariamente o Politécnico porque era "judeu de 2º grau", mas para lá retornou depois de uma permanência na Siemens, em 1935, tendo ficado por lá até 1945. Entre 1945 e 1955, desenvolveu pesquisas no USSR. A partir de 1955, tornou-se professor-titular na Universidade de Leipzig e, de 1955 a 1967, foi presidente da Sociedade de Física da DDR. Morreu em 1975.

HERZBERG, GERHARD

Gerhard Herzberg nasceu em Hamburgo, em 25 de dezembro de 1904. Depois de ter estudado física em Göttingen e de ter lá permanecido por

um ano, em 1928, transferiu-se para Bristol, onde também permaneceu por um ano. Retornou como *privatdozent* na Technische Hochschule de Darmstadt. Durante esses anos, trabalhou com espectroscopia molecular. Em 1935, aceitou um cargo na Universidade de Saskatchewan, para fugir do nazismo, em razão de sua esposa ser judia. Em 1945, mudou-se para a Universidade de Chicago. Depois de 3 anos nessa universidade, transferiu-se para o Laboratório de Espectroscopia do National Research Council do Canadá, onde se dedicou à espectroscopia eletrônica de moléculas poliatômicas. Em 1971, Herzberg recebeu o Prêmio Nobel de Química. Faleceu em 3 de março de 1999.

HERZFELD, KARL FERDINAND

Karl Ferdinand Herzfeld nasceu em 24 de fevereiro de 1892, em Viena. De 1910 a 1914, estudou nas universidades de Viena, Zurique e Göttingen, e formou-se em Viena, em 1914. De 1914 a 1918, serviu o Exército. De 1920 a 1926, frequentou a Universidade de Munique. De 1926 a 1936, estava na John Hopkins University de Baltimore e, em 1936, transferiu-se para a Catholic University of America. Morreu em 3 de junho de 1978.

HEVESY, GEORGE DE

George de Hevesy nasceu em 1º de agosto de 1885, em Budapeste, em uma família judia. De 1903 a 1905, estudou na Universidade de Budapeste e, de 1905 a 1908, na Technische Hochschule de Berlim e na Universidade de Freiburg, onde obteve seu Ph. D. com G. Meyer. De 1910 a 1911, estava na Technische Hochschule de Karlsruhe, como assistente de F. Haber; de 1911 a 1913, ficou em Manchester, com Rutherford, e, em 1913 e 1914, na Universidade de Budapeste. Depois, foi convocado pelo Exército, tendo, em seguida, retornado à Universidade de

Budapeste. De 1920 a 1926, ficou na Universidade de Copenhague e, de 1926 a 1934, foi professor em Freiburg. De 1934 a 1943, retornou à Universidade de Copenhague. Deu uma grande contribuição à química nuclear, em especial quanto ao uso de marcadores radioativos. Recebeu o Prêmio Nobel de Química em 1943. Morreu em 5 de julho de 1966.

HOFFMANN, GERHARD

Gerhard Hoffmann nasceu em 1880. Estudou em Göttingen, Leipzig e Bonn, e fez seu doutorado em Bonn, com W. Kaufmann, de quem tornou-se assistente, na Universidade de Königsberg. Em 1917, tornou-se professor-associado e dedicou-se a medidas de precisão da radioatividade e de raios cósmicos. Foi mestre de Diebner. De 1928 a 1937, sucedeu G. Hertz como professor na Universidade de Halle. De 1937 a 1945, foi professor de física experimental na Universidade de Leipzig. Morreu em 1945.

HOUTERMANS, FRIEDRICH GEORG (FRITZ)

Friedrich Georg Houtermans nasceu em 22 de janeiro de 1903, nas proximidades de Danzig, atual Gdansk. Filho de um rico banqueiro, passou sua juventude em Viena, com a mãe. Estudou na Universidade de Göttingen de 1922 a 1927, formando-se com J. Franck, em 1927. Ali conheceu Heisenberg, Pauli, Weisskopf, Fermi, Oppenheimer, entre outros. De 1928 a 1933, foi assistente de G. Hertz na Technische Hochschule de Berlim, onde conheceu Szilàrd. Em 1931, casou-se com Charlotte Riefenstahl e começou a receber em sua casa, uma vez por semana, para "eine kleine Nachphysik". Membro do Partido Comunista, em 1933, emigrou para a Inglaterra, onde trabalhou "sob as ordens do chefe". Insatisfeito, foi para a União Soviética, onde, de 1935 a 1937, trabalhou no Instituto de Física Ucraniano de Charkov; depois, passou

2 anos em uma prisão moscovita, vítima do terror stalinista. Em abril de 1940, retornou à Alemanha, então entregue à Gestapo, onde foi acusado de ser espião soviético, mas, depois, foi libertado. A partir de 1º de novembro de 1940, trabalhou no laboratório particular de Manfred von Ardenne, em Berlim-Lichterfeld; antes do final do ano, chegou à conclusão de que, irradiando o urânio com nêutrons, podia-se produzir um novo elemento, com número atômico 94, físsil. Von Weizsäcker já havia chegado a essa mesma conclusão. Provavelmente deve ter sido o autor de um telegrama, datado de 1942 e endereçado a E. Wigner, no qual adverte os EUA da iminente construção de uma bomba atômica alemã. Em 1945, foi para o MPIP de Göttingen. Em 1950, escreveu um livro sobre o terror stalinista e os métodos utilizados para a extração de confissões. A partir de 1952, tornou-se professor na Universidade de Berna, onde trabalhou com geoquímica, termoluminescência e meteoritos. Morreu em 1966.

HUND, FRIEDRICH

Friedrich Hund nasceu em 4 de fevereiro de 1896, em Karlsruhe. Estudou nas universidades de Marburg e de Göttingen, tendo se formado nesta última, sob a orientação de M. Born. Em 1927, foi professor-associado e, em 1928, professor-titular na Universidade de Rostock. Entre 1929 e 1946, foi professor de física-matemática na Universidade de Leipzig (foi colega de Heisenberg). No período de 1946 a 1951, estava na Universidade de Jena. De 1951 a 1956, foi professor de física teórica na Universidade de Frankfurt e, a partir de 1956, na Universidade de Göttingen. Morreu em Göttingen, em março de 1997.

JENSEN, HANS

Hans Jensen nasceu em 1907. Estudou em Freiburg (Breisgau) e Hamburgo. Em 1932, formou-se com W. Lenz. A partir de 1933, foi

membro do NSDDB (Nazionalsozialistischer Deutscher Dozentenbund = Associação dos Docentes Alemães) e, a partir de 1937, do Partido Nacional-Socialista. Em 1937, colaborou com P. Harteck, em Hamburgo, e, em 1940, foi para Heidelberg, onde trabalhou com Bothe, Flammersfeld e Gentner. Em 1941, em um relatório para o Uranverein de Bothe e Jensen, demonstrou que a grafite não funcionava como moderadora. Em 1943, desenvolveu, com Harteck, para o Uranverein, a centrífuga dupla. A partir de 1946, foi professor-titular do Politécnico de Hannover. Em 1949, foi professor em Heidelberg. Entre os anos de 1950 e 1953, foi professor-visitante na Universidade de Wisconsin, no IAS de Princeton, na Universidade de Indiana e no Caltech. Em 1963, recebeu o Prêmio Nobel de Física, que dividiu com E. Wigner e M. Goeppert-Mayer. Morreu em 1973.

JENSEN, PETER

Peter Jensen nasceu em 1913. Estudou em Freiburg e Göttingen onde, em 1938, formou-se sob a orientação de G. Joos. Trabalhou como voluntário para o KWI de pesquisa médica, em Heidelberg, e, de 1939 a 1946, ali serviu como assistente de W. Bothe. De 1946 a 1953, foi assistente de Gentner. Em 1951, tornou-se professor supranumerário em Freiburg. A partir de 1954, foi diretor da Seção de Alta-Tensão do Max Planck Inst. de Química, em Mainz. Morreu em 1955.

JENTSCHKE, WILLIBALD

Willibald Jentschkle nasceu em 6 de dezembro de 1911. De 1930 a 1936, estudou na Universidade de Viena e formou-se sob a orientação de G. Stetter, de quem tornou-se assistente entre 1937 e 1942. Em 1939, mediu a distribuição de energia dos fragmentos da fissão. De 1942 a 1945, foi *lecturer* na Universidade de Viena. Em 1947, transferiu-se para

Urbana, USA. A partir de 1955, foi professor-titular na Universidade de Hamburgo e um dos fundadores do Projeto Desy. Morreu em 2002.

JOLIOT, FRÉDÉRIC

Frédéric Joliot nasceu em Paris, em 19 de março de 1900. Estudou na École de Physique e Chimie de Paris e, em 1925, tornou-se assistente de Marie Curie no Instituto do Rádio. Em 1926, casou-se com Irène, a filha mais velha de Mme. Curie. Em 1930, obteve seu Ph. D. em Ciências. Foi um refinado experimental e cientista de grande intuição. Trabalhou principalmente com radioelementos e suas propriedades e, em 1934, descobriu, juntamente com sua mulher, Irène, a radioatividade artificial induzida por partículas alfa. Em 1935, o casal Curie dividiu o Prêmio Nobel de Química. Em 1937, foi nomeado professor no Collège de France e construiu o primeiro cíclotron europeu. Depois da descoberta da fissão, no início de 1939, duas semanas depois de Frisch, "viu" os produtos da fissão do urânio e, pouco depois, descobriu (com Halban e Kowarski) a emissão simultânea de mais dois nêutrons. Durante a guerra, participou ativamente da Resistência Francesa e inscreveu-se no Partido Comunista. Depois da guerra, convenceu De Gaulle a criar a CEA e, em 1948, dirigiu a construção do primeiro reator nuclear francês. Nos últimos anos de sua vida, dedicou-se ao pacifismo e ao desenvolvimento do Centro de Orsay. Morreu em Paris, em 1958, e lhe foi dado um funeral com honras de Estado.

JOLIOT-CURIE, IRÈNE

Irène Joliot-Curie nasceu em Paris, em 12 de setembro de 1897, filha de Pierre e Marie Curie. Estudou na Faculdade de Ciências de Paris, onde se formou em 1925, com uma tese sobre os raios alfa do polônio. Em 1926, casou-se com Frédéric Joliot, assistente de sua mãe. Foi uma

pesquisadora constante e confiável, enquanto seu marido primava pela genialidade. Trabalhou com radioatividade e com os problemas relacionados a ela. Em 1934, junto com o marido, descobriu a radioatividade induzida por partículas alfa. Em 1935, o casal dividiu o Prêmio Nobel de Química. Em 1936, foi nomeada subsecretária do Ministério de Pesquisa Científica. Morreu em Paris, em 1956.

JOOS, GEORG

Georg Joos nasceu em 1894. Estudou no Politécnico de Stutgard e na Universidade de Tübingen, onde se formou em 1920. Em 1923, entrou para o NSDAP (Partido Nacional-Socialista dos Trabalhadores Alemães), onde permaneceu como membro inativo. Em 1924, tornou-se professor-associado e, em 1928, professor-titular de física teórica, em Jena. Em 1935, foi tranferido para a Universidade de Göttingen, para substituir J. Franck. Quando a interferência nazista no ensino tornou-se insuportável, deixou a universidade e trabalhou para a Zeiss, em Jena, durante os anos de 1941 a 1945. Entrou para o Uranverein e participou da pesquisa sobre as aplicações da *uranium machine*. A partir de 1946, foi professor-titular na Universidade de Munique. Morreu em 1959.

JORDAN, PASCUAL

Pascual Jordan nasceu em 1902. No período de 1921 a 1924, estudou em Hannover e Göttingen, onde se formou, com M. Born. Contribuiu para o nascimento da mecânica quântica, junto com Born e Heisenberg. Segundo muitos estudiosos, Jordan foi o maior "arquiteto" do famoso trabalho a seis mãos, em 1925, que assinalou o início da mecânica quântica. Descobriu a estatística de Fermi-Dirac, mas sua publicação, anterior às de Fermi e de Dirac, foi esquecida por Born, editor da *Zeitschrift für Physik*, para quem tinha sido confiada (conforme afirmou

Max Born). Portanto, não teve sorte e foi injustamente esquecido. A partir de maio de 1933, tornou-se membro do NSDAP e membro de uma unidade SA (Sturmabteilung). Entre 1935 e 1944, foi professor-titular de física teórica na Universidade de Rostock. Em 1943, trabalhou em Peenemünde. A partir de 1947, foi professor em Hamburgo, primeiro como professor-visitante e, depois, como professor-titular. Entre 1957 e 1961, foi parlamentar da CDU. Morreu em 1980.

KAPITSA, PYOTR

Pyotr Leonidovich Kapitsa nasceu em Kronstadt, em 8 de julho de 1894. Formou-se em matemática e física no Politécnico de São Petersburgo. Em 1921, emigrou para a Inglaterra, onde trabalhou com mecânica quântica, sob a orientação de Chadwick e Rutherford. Em 1934, retornou à União Soviética e, em 1936, passou a dirigir o Instituto de Problemas Físicos da Academia de Ciências. Recusou-se a participar do programa nuclear soviético e, por isso, foi condenado à prisão domiciliar, na sua pequena casa de campo em Moscou, de 1946 a 1954. Em 1978, recebeu o Prêmio Nobel. Morreu em Moscou, em 1984.

KASTLER, ALFRED

Alfred Kastler nasceu na Alsácia, em 3 de maio de 1902. Em 1921, entrou na École Normale Supérieure, de onde saiu em 1926, para ensinar nos liceus, o que fez por 5 anos consecutivos. De 1931 a 1936, desempenhou as seguintes funções: assistente em Bordeaux, onde iniciou suas pesquisas sobre espectroscopia atômica, professor em Clermont-Ferrand (de 1936 a 1938) e professor em Bordeaux (de 1938 a 1941). Em 1941, foi convidado a colaborar com a física na École Normale Supérieure. No final dos anos 1940, desenvolveu o método da *optical pumping*.

Em 1964, foi nomeado membro da Academia Francesa de Ciências. Obteve o Prêmio Nobel de Física em 1966, em razão de suas múltiplas contribuições à espectroscopia atômica. Kastler morreu em 7 de janeiro de 1984.

KENNEDY, JOSEPH W.

Joseph W. Kennedy nasceu em 30 de maio de 1916. Formou-se em química e fez parte do grupo dos radioquímicos, com McMillan e Seaborg, que, durante a II Guerra Mundial, estudaram na Universidade da Califórnia, em Berkeley, os novos elementos transurânicos, em especial os de interesse para a construção de uma bomba atômica. Em 14 de dezembro de 1940, Seaborg, Wahl e Kennedy isolaram uma primeira e pequena quantidade de plutônio, bombardeando o U-238 com dêuterons. A seguir, Kennedy, Seaborg e Segré demonstraram que o plutônio sofria fissão tanto com nêutrons lentos quanto com velozes. De 1950 a 1957, foi professor de química na Washington University, St. Louis. Morreu em 1957, de câncer no estômago.

KERST, DONALD WILLIAM

Donald W. Kerst nasceu em Illinois, em 1911. Estudou na Universidade de Wisconsin e ali se formou em 1934, obtendo seu Ph. D. em 1937. Depois, foi para a Universidade de Illinois, onde permaneceu de 1938 até 1957, como professor. Em 1940, construiu o bétatron, cuja ideia original foi de Wideroe e Szilàrd. Em 1962, foi para a Universidade de Wisconsin, onde permaneceu até 1980. Trabalhou também para a GE (de 1937 a 1940), em Los Alamos, no Projeto Manhattan (de 1943 a 1945), e, outra vez, na GE, em La Jolla (de 1957 a 1962). Morreu em 19 de agosto de 1993.

KISTIAKOWSKI, GEORGE B.

George B. Kistiakowski nasceu na Rússia, em 18 de novembro de 1900. Participou da revolução russa, no grupo dos "brancos", e, quando os bolchevistas tomaram o poder, fugiu para a Alemanha. Estudou química em Berlim, onde se formou em 1925. Depois, emigrou para os Estados Unidos, onde obteve um cargo na Universidade de Harvard. Em janeiro de 1944, foi convidado a participar do Projeto Manhattan, como especialista em explosivos, em substituição a Seth Neddermeyer. Trabalhou com as "lentes para explosivos", necessárias para comprimir o plutônio até à massa crítica. Depois da guerra, retornou a Harvard e dedicou-se, em parte, ao ensino, e, em parte, a tarefas como conselheiro em vários comitês. Morreu em 7 de dezembro de 1982.

KLEIN, OSKAR

Oskar Klein nasceu em Mörby, Suécia, em 1894, último filho do rabino-chefe da Suécia. A partir dos 15 anos, trabalhou no Instituto Nobel, a convite de Arrhenius, com a solubilidade de sais marcados com indicadores radioativos. Depois de ter obtido seu Ph. D. na Universidade de Estocolmo, foi para Copenhague, com Bohr, e ali começou a trabalhar com mecânica quântica. De 1923 a 1925, foi para Ann Arbor, Michigan, e, depois, foi docente em Lund. Em 1929, desenvolveu a equação que depois foi chamada de Klein-Nishina. De 1930 a 1962, foi professor de física-matemática em Estocolmo. Morreu em Estocolmo, em 1977.

KONEN, HEINRICH

Heinrich Konen nasceu em 1874. Estudou em Bonn, de 1893 a 1898, e ali se formou. Entre 1905 e 1912, foi professor-associado de física teóri-

ca e, a partir de 1920, foi professor-titular na Universidade de Münster. Foi obrigado a demitir-se em 1933. Entre 1933 e 1945, foi consultor de muitas grandes indústrias. Depois de 1945, foi reitor da Universidade de Bonn. Morreu em 1948.

KONOPINSKI, EMIL

Emil John Konopinski nasceu em Michigan City, Indiana, em 1911. Fez todos os seus estudos na Universidade de Michigan, onde obteve seu Ph. D. em 1936. No período de 1936 a 1938, foi para a Cornell University como bolsista, e depois foi para o Departamento de Física da Indiana University, onde se tornou professor em 1938. Em 1943, foi convidado a participar do Projeto Manhattan, em Los Alamos. Trabalhou particularmente com a bomba de hidrogênio e as consequências de uma explosão na atmosfera. Depois da guerra, retornou para a Universidade de Indiana. Morreu em 1990.

KOPFERMANN, HANS

Hans Kopfermann nasceu em 1895. Formou-se em física em 1925, com J. Franck, em Göttingen. A seguir, foi assistente de G. Hertz no Politécnico de Berlim. Do verão de 1932 ao outono de 1933, ficou em Copenhague, como hóspede de N. Bohr. Durante esse período, começou a emigração dos físicos judeus e dos antinazistas. Em 1937, tornou-se professor-titular na Universidade de Kiel. Escreveu um importante texto sobre Kernmomente (momentos nucleares). A partir de 1942, foi professor-titular de física na Universidade de Göttingen, sucedendo G. Joos. Nessa época, trabalhava com separação isotópica. A partir de 1953, foi professor de física em Heidelberg, sucedendo Bothe. Morreu em 1963.

KORSCHING, HORST

Horst Korsching nasceu em 1912. A partir de 1932, estudou física na Universidade de Berlim. Em 1935, participava do staff do KWIP. Foi envolvido no Uranverein, para o qual fez medidas de determinação de momentos nucleares. Na segunda metade de 1945, foi detido na Inglaterra, em Farm Hall, embora sua contribuição para o Uranverein tivesse sido bastante secundária. Os seus "carcereiros" ingleses tiveram dele a seguinte impressão: "A complete enigma. On the announcement of the use of the atomic bomb he passed remarks on the lack of courage among his collegues which nearly drove Gerlach to suicide". Em 1946, foi para o Max Planck Institut, em Göttingen, e, depois, para Munique.

KOWARSKI, LEV

Lev Kowarski nasceu em São Petersburgo, em 1907. Estudou na Bélgica e em Lyon. Em 1939, começou a trabalhar com F. Joliot, com a emissão de nêutrons por parte do urânio fissionado. Durante a guerra, participou dos programas nucleares anglo-americanos, primeiro na Inglaterra, e depois no Canadá. Depois da guerra, trabalhou no CEA, em Paris, e no Cern, em Genebra. Kowarski participou da construção do primeiro reator nuclear na França e no Canadá. Morreu em 1979.

KRAMERS, HENDRIK ANTHONY

Hendrik Anthony Kramers nasceu em 17 de dezembro de 1894, em Rotterdam. A partir de 1912, começou a estudar física teórica em Leiden, com Ehrenfest. Ali completou seus estudos em 1916. Foi para Copenhague, com N. Bohr, e tornou-se um de seus mais próximos colaboradores. Em 1920, tornou-se o primeiro assistente de Bohr. Em 1924, foi para Göttingen como *privatdozent*. Publicou, com Bohr e Slater, um importante artigo:

The Quantum Theory of Radiation. Em 1926, tornou-se professor de física teórica na Universidade de Utrecht, e, em 1934, sucedeu Ehrenfest na Universidade de Leiden. Morreu em 24 de abril de 1952.

KURCHATOV, IGOR V.

Igor V. Kurchatov nasceu em 8 de janeiro de 1903, em Simskii Zaved, nos Urais. Estudou na Universidade da Crimeia, onde se formou em 1923. Em 1925 foi convidado por Ioffe, para Leningrado. Ali, em 1932, decidiu dedicar-se à física nuclear e tornou-se diretor da Seção de Física Nuclear do Instituto de Física Técnica, dirigido por Ioffe. Excelente organizador, durante a guerra trabalhou por um breve período no desarmamento de minas porém, em janeiro de 1943, foi chamado para dirigir o programa nuclear soviético que levou, primeiro, à construção da bomba atômica (de plutônio), em agosto de 1949 e, depois, à construção da bomba H. Foi considerado o pai da bomba atômica soviética. Morreu em 1960 de aneurisma cerebral. O Centro Nuclear recebeu o seu nome Kurchatov.

KUSCH, POLYCARP

Polycarp Kusch nasceu em Blankenburg, Alemanha, em 26 de janeiro de 1911, filho de um pastor protestante. Em 1912, a família transferiu-se para os USA. Estudou física no Case Institute of Technology, tendo, em 1931, obtido seu B. Sc. Continuou seus estudos na Universidade de Illinois, onde fez seu Ph. D., em 1936. Em 1937, foi para a Columbia University de New York, onde trabalhou por alguns anos. Sua permanência só foi interrompida pelo advento da guerra. Ali, a partir de 1949, foi professor-titular de física. Colaborou com I. Rabi nos problemas de física atômica e nuclear. Mediu, com Lamb, o momento magnético (anômalo) do elétron. Em 1955, dividiu, com Lamb, o Prêmio Nobel de Física. Kusch morreu em 1993.

LADENBURG, RUDOLF

Rudolf Ladenburg nasceu em 1882, em uma família judia. Estudou em Heidelberg, Breslau e Munique, onde se formou, com Röntgen. A partir de 1921, foi professor-associado em Breslau, e, depois, em Berlim. Em 1932, fugiu para os USA, tendo se estabelecido em Princeton. A partir de 1933, tornou-se o principal coordenador na tarefa de achar abrigo para os físicos fugidos da Europa. Em Princeton, onde foi amigo de Einstein, criou um importante laboratório de pesquisa, no qual, depois da chegada de Bohr, foi vista a fissão por Barschall, outro imigrante alemão. Aposentou-se em 1950. Ladenburg morreu em 1952.

LAMB, WILLIS E.

Willis E. Lamb nasceu em Los Angeles, em 12 de julho de 1913. Entrou na Universidade da Califórnia em 1930, obteve seu B. Sc. em química, em 1934, e seu Ph. D. em física, em 1938, com uma tese sobre as propriedades eletromagnéticas dos núcleos, com R. Oppenheimer. Foi para a Columbia University, onde se tornou professor-associado em 1945, e professor-titular em 1948. Em 1951, foi para Stanford, na Califórnia. Entre 1956 e 1962, foi professor de física em Oxford, Inglaterra, e, a partir de 1962, foi professor na Universidade de Yale. Em 1955, recebeu o Prêmio Nobel de Física pelos seus trabalhos sobre a determinação do momento magnético do elétron, o "Lamb shift".

LANDAU, LEV

Lev Davidovic Landau nasceu em Baku, Azerbaijão, em 22 de janeiro de 1908, em uma família judia. Formou-se em física na Universidade de Leningrado, com a idade de 19 anos, e ali começou a sua carreira, no Instituto de Física Técnica. Entre os anos de 1929 e 1931, viajou para

a Europa, mantido por uma bolsa de estudos da Rockfeller, e dirigiu-se à Alemanha, à Suíça, à Inglaterra e especialmente a Copenhague. No período de 1932 a 1937, foi diretor do Departamento de Física Teórica em Kharkov, Ucrânia, e ministrou aulas na Universidade de Moscou. Em 1946, afiliou-se à Academia de Ciências da URSS. Na década de 1950, participou do programa nuclear soviético. Trabalhou com física teórica, particularmente com mecânica dos fluidos (em especial, com hélio superfluido). Em 1962, recebeu o Prêmio Nobel de Física. No mesmo ano, sofreu um terrível acidente de automóvel, do qual jamais se recuperou completamente. Morreu em 1º de abril de 1968.

LANDÉ, ALFRED

Alfred Landé nasceu na Renânia, em 13 de dezembro de 1888. Estudou física em Marburg, Munique e Göttingen. Depois de formado, dedicou-se ao estudo dos raios catódicos, mas as dificuldades experimentais o irritaram ao mesmo tempo que o convenceram a transferir-se para a física teórica. Foi para Munique, onde ficou fascinado com a genialidade de Sommerfeld. Em Munique se doutorou em 1914. Em 1913, foi enviado por Sommerfeld como assistente especial de Hilbert, em Göttingen. A partir de 1919, dedicou-se à espectroscopia atômica, particularmente ao efeito Zeeman anômalo, a cujos estudos deu importantes contribuições. Em 1929, dirigiu-se à Ohio State University, em Columbus, onde permaneceu, motivado principalmente pelo advento do nazismo na Alemanha. Morreu em 1976, em Columbus, Ohio.

LATTES, CÉSAR

César Lattes nasceu em Curitiba, Brasil, em 11 de julho de 1924, em uma família de judeus italianos. Depois de terminados seus estudos no Colégio Dante Alighieri, em São Paulo, entrou na Universidade de São

Paulo, onde estudou física com G. Wataghin, a partir de 1940. Formou-se em física e matemática em 1943. Foi professor de física na Universidade do Rio de Janeiro. Desenvolveu pesquisas sobre os raios cósmicos, em particular com emulsões fotográficas. Publicou importantes trabalhos em colaboração com Powel (que, por esses trabalhos, ganhou o Prêmio Nobel de Física, em 1950), e, com Occhialini, sobre a descoberta do píon. Morreu em 8 de março de 2005.

LAUE, MAX von

Max von Laue nasceu em 1879. Estudou em Estrasburgo, Göttingen e Munique. Formou-se em Berlim, com M. Planck. A partir de 1905, foi assistente de Planck, e, entre 1909 e 1912, viveu em Munique. Em 1914, ganhou o Prêmio Nobel pela demonstração da natureza ondulatória dos raios X. De 1912 a 1914, esteve na Universidade de Zurique. De 1914 a 1919, foi professor de física teórica na Universidade de Frankfurt, e, de 1919 a 1943, foi professor-titular de física teórica em Berlim. Entre 1931 e 1933, foi presidente da DPG. Foi um forte e persistente opositor do nacional-socialismo, e foi considerado, por Einstein, como o único físico alemão realmente respeitável. Na metade de 1945, foi capturado e enviado para Farm Hall. Esta é a opinião sobre ele emitida por supervisores ingleses: "A shy, self-mannered man. He cannot understand the reason for his detection. He is extremely friendly and is very well disposed to England and America". No início de 1946, foi liberado e retornou a Göttingen. Entre 1951 e 1959, foi diretor do KWIPC. Morreu em 1960.

LAWRENCE, ERNEST ORLANDO

Ernest Orlando Lawrence nasceu em 8 de agosto de 1901, em Canton, South Dakota, filho de pais imigrantes noruegueses. Em 1919, começou seus estudos de química na Universidade de South Dakota, e fez

seu B.A. em química, em 1922. Depois, estudou física em Chicago e fez seu Ph. D. na Universidade de Yale, em 1925. Permaneceu nessa universidade por 3 anos, e depois foi para a Universidade da Califórnia, em Berkeley, primeiro na condição de professor-associado, e, depois, a partir de 1930, como professor-titular. Em 1929, Lawrence inventou o cíclotron, que foi melhorando continuamente, ao longo do tempo. Durante a II Guerra Mundial, deu uma fundamental contribuição ao Projeto Manhattan. Lawrence morreu em 1958, em Palo Alto.

LENARD, PHILIPP

Philipp Lenard nasceu em Pozsony, então Império Austro-Húngaro, em 7 de junho de 1872. Estudou física em Viena e Berlim, e em Heidelberg com Bunsen, Helmholz e Quincke, formando-se em Heidelberg em 1886. Em 1892, começou a trabalhar como assistente de H. Hertz em Bonn; depois, em 1895, como professor contratado em Breslau, e depois em Aachen e Heidelberg; como professor-titular em Kiel, em 1898; e em Heidelberg, a partir de 1903. Durante esses anos, dedicou-se ao estudo dos raios catódicos, dando contribuições fundamentais, que abriram caminho para a descoberta dos raios X. Em 1905, ganhou o Prêmio Nobel de Física. Depois da I Guerra Mundial, desiludido com a "nova física", dedicou-se também à política, aderindo rapidamente ao nacional-socialismo. Em 1936, publicou os volumes da *Deutsche Physic*. Morreu em 20 de maio de 1947.

LINDEMANN, FRIEDRICK,
Visconde CHERWELL OF OXFORD

Friedrick Lindemann nasceu em 1886, em Baden-Baden, Alemanha, mas filho de pais ingleses. A família, de classe alta, mantinha relações importantes com autoridades. Lindemann estudou no Gymnasium de

Darmstadt e, depois, na Technische Hochschule da mesma cidade, onde foi muito considerado por Warter Nernst, Prêmio Nobel de Química em 1920. Durante a I Guerra Mundial, foi recusado pelo Exército inglês em razão da sua educação e de seu nome. Em 1921, como professor de física em Oxford, conheceu Churchill, de quem se tornou muito amigo e conselheiro científico. Durante a II Guerra Mundial, ajudou muitos físicos fugitivos a encontrar trabalho na Inglaterra (Szilàrd, Simon, Peierls, Frisch, entre outros) e foi um dos mais convictos sustentadores da hipótese de que, com a fissão, poder-se-ia chegar à bomba atômica. Organizou o grupo inglês para Los Alamos e conseguiu que Bohr fosse recebido por Churchill. Recebeu o título de nobreza de Churchill – barão Cherwell em 1941 e visconde em 1956. Depois da guerra, fez parte do gabinete secreto de Churchill. Morreu em 1957.

LONDON, FRITZ

Fritz London nasceu em março de 1900, em Breslau, em uma família judia. Estudou nas universidades de Bonn, Frankfurt, Göttingen, Munique e Paris. A seguir, foi bolsista da Rockefeller em Zurique e em Roma, e *lecturer* na Universidade de Berlim. De 1933 a 1936, foi pesquisador na Universidade de Oxford e, depois, na Universidade de Paris. Em 1939, emigrou para os Estados Unidos, onde se tornou professor de química teórica, na Duke University. Em 1945, tornou-se cidadão americano. Morreu em março de 1954.

MADELUNG, ERWIN

Erwin Madelung nasceu em 18 de maio de 1881, em Bonn. Estudou física em Zurique e Estrasburgo e formou-se em Göttingen. Trabalhou com magnetismo. Nesse período, viajou muitas vezes para os EUA e para o Japão. Em 1908, foi assistente em Göttingen. Durante a guerra, trabalhou com Ladenburg para a artilharia alemã. A seguir, trabalhou

com estrutura atômica e cristais. Em 1919, foi para Kiel, como professor de física teórica. Pouco depois, foi convidado a suceder Max Born, em Frankfurt. Ali, começou a trabalhar com O. Stern, dedicando-se à física atômica e quântica. Durante a guerra manteve-se longe da política e deixou a atividade de pesquisa. Aposentou-se em 1953. Morreu em agosto de 1972.

MAJORANA, ETTORE

Ettore Majorana nasceu na Catânia, em 5 de agosto de 1906, em uma família ilustre. Terminou o liceu em 1923 e começou a frequentar a Faculdade de Engenharia da Universidade de Roma, que cursou até o 5º ano. Em 1928, transferiu-se para a física, pretendendo estudar com Fermi, e formou-se no mesmo ano, com uma tese sobre *A teoria quântica dos núcleos radioativos.* Precoce e genial, mudou-se para Leipzig, onde continuou a trabalhar com física nuclear, na companhia de Heisenberg, tendo elaborado uma nova teoria sobre as forças nucleares. Em 1937, participou de um concurso para professor-titular de física teórica, e a comissão designada para a avaliação, presidida por Fermi, indicou seu nome como vencedor, por méritos excepcionais. Assim, foi para a Universidade de Nápoles. Desapareceu em 26 de março de 1938, na balsa Palermo-Nápoles. Conjectura-se que tenha cometido suicídio.

MARSHAK, ROBERT

Robert Marshak nasceu em 1916, no Bronx, New York, em uma família judia, que havia emigrado da Rússia. Estudou no City College e formou-se na Columbia University, em 1936. Depois, foi para Cornell, onde estudou com H. Bethe. Obteve seu Ph. D. em 1939. Durante a guerra, trabalhou com radar, e depois foi para Los Alamos, onde dirigiu um grupo de físicos teóricos. Depois da guerra, na década de 1950, foi para Rochester como professor de física e, depois, diretor do Departamento

de Física. Trabalhou com méson e propôs a teoria das interações fracas. Em 1956, visitou a URSS. Morreu de infarto em 23 de dezembro de 1992, nas águas de Cancum.

MATTAUCH, JOSEPH

Joseh Mattauch nasceu em 1895. A partir de 1937, foi professor-associado na Universidade de Viena. Em 1939, sucedeu Lise Meitner no KWIC de Berlin-Dahlem. Fez parte do Uranverein. A partir de 1947, foi pesquisador do Max Planck Inst. de Química, em Mainz. Em 1948, tornou-se professor-titular na Universidade de Viena. Morreu em 1976.

McMILLAN, EDWIN

Edwin Mattison McMillan nasceu em 18 de setembro de 1907, em Redondo Beach, Califórnia. Frequentou o California Institute of Technology, onde se formou em 1929. Em seguida, transferiu-se para Princeton, onde obteve seu Ph. D. em 1932, com uma tese sobre feixes moleculares. Depois, retornou para a Universidade da Califórnia, Berkeley, onde trabalhou com momento magnético do próton. Em 1934 passou a trabalhar no Radiation Laboratory, com Lawrence. Ali teve a ideia da "estabilidade de fase". Durante a guerra, estava no Radiation Laboratory do MIT. Depois da guerra, retornou à Universidade da Califórnia, onde, em 1958, se tornou diretor do Radiation Laboratory. Em 1951 recebeu o Prêmio Nobel de Química. Morreu em 7 de setembro de 1991.

MEITNER, LISE

Lise Meitner nasceu em 17 de novembro de 1878 (embora ela mesma tenha indicado o dia 7 de novembro como a data de seu nascimento), em

Viena, em uma família judia. Entrou na Universidade de Viena em 1901 (foi uma das primeiras mulheres a estudar na Universidade de Viena). Formou-se em física em 1906. Em 1907, foi para Berlim para continuar seus estudos com Max Planck, e, nas próximas três décadas, trabalhou em Berlim, no Kaiser Wilhelm Institut für Chemie de Berlin-Dahlem, com Otto Hahn, aluno de Rutherford e grande químico nuclear. Em 1917, descobriram o protoactínio. Na década de 1930, Hahn e Meitner dedicaram-se ao estudo dos elementos pesados irradiados com nêutrons, dando decisivas contribuições. Quando os nazistas tomaram o poder, Lise Meitner, sendo judia, encontrou crescentes dificuldades, razão por que, em 1938, foi obrigada a deixar a Alemanha, refugiando-se na Suécia. Ali, juntamente com seu sobrinho Otto Frisch, forneceu a correta interpretação do célebre experimento de "fissão" feito por Hahn e por Strassmann. Durante o período de duração da II Guerra Mundial, continuou a trabalhar com radioisótopos, encontrando, porém, dificuldades para fazê-lo no Instituto de Manne Siegbahn. Nos primeiros meses de 1939, estando em Copenhague, demonstrou que o tório apresenta um processo análogo de fissão. De outra vez, segura de ter produzido o elemento transurânico 93, transferiu-se para Copenhague, para verificar isso no cíclotron local, mas, infelizmente, a Dinamarca foi, nessa época, ocupada pelos nazistas. Assim, ficou em Estocolmo até 1960, quando, com 82 anos, foi para Cambridge, para trabalhar ao lado de Otto Robert, que ali era professor de física. Segundo a maior parte dos especialistas, o Prêmio Nobel que ela recebeu deveria ter sido dividido com Otto Hahn. Morreu em Cambridge, em 27 de outubro de 1968. O sobrinho escreveu sobre seu túmulo: *Lise Meitner: uma física que jamais perdeu sua humanidade*.

MENTZEL, RUDOLF

Rudolf Mentzel nasceu em 1900. Estudou química na Universidade de Göttingen, onde se formou em 1925, e fez sua habilitação em 1933,

com uma tese sobre química de guerra. Membro do NSDAP (Partido dos Trabalhadores Nacional-Socialistas) desde 1922. A partir de 1934, foi conselheiro para a ciência do REM (Reichsministerium für Wissenschaft = Ministério da Pesquisa), e, em 1939, subsecretário do Escritório Científico do REM. Em 1936, substituiu Stark como presidente da DFG (Sociedade Alemã de Física). Foi alto funcionário do Ministério da Educação e, entre 1940 e 1944, participou do Comitê de Consultoria da Kaiser Wilhelm Gesellschaft (KWG). Foi criticado por Göring por ter substituído Debey por Heisenberg para levar avante "a confusão da máquina de urânio". Depois da guerra, ficou preso por 3 anos. Morreu em 1987.

MENZEL, WILLI

Willi Menzel nasceu em 1919. Era nacional-socialista e protegido de Lenard e Stark. É de sua autoria o artigo *Deutsche Physik und Jüdische Physik*, publicado no *Volkischer Beobachter*, no dia 29 de janeiro de 1936, no qual faz um duro ataque à "física judia" e a seus adeptos. Todavia, Menzel jamais se inscreveu no Partido Nacional-Socialista, e, na discussão contra Gustav Hertz, que era meio judeu, estranhamente se colocou do lado dele, junto com Stark. Morreu em 1972.

MILLIKAN, ROBERT

Robert Andrews Millikan nasceu em 22 de março de 1868, em Morrison (IL), filho de um sacerdote. Estudou na Columbia University, onde obteve seu Ph. D. em 1895, com uma tese sobre a polarização da luz. De 1895 a 1896, morou na Alemanha, nas cidades de Berlim e Göttingen. Ainda em 1896, mudou-se para Chicago, onde se tornaria professor, em 1910. Millikan foi um notável didata e escreveu muitos textos universitários. Em 1911, efetuou a famosa medida da carga do elétron por meio

de um estudo dos tempos de queda de gotas de óleo eletrizadas em um campo elétrico. A seguir, efetuou uma medida precisa da constante de Planck e verificou, experimentalmente, a equação de Einstein sobre o efeito fotoelétrico. A partir de 1921, foi diretor do California Institute of Technology, em Pasadena. Em 1923, recebeu o Prêmio Nobel de Física. Robert Millikan morreu em 19 de dezembro de 1953, em San Marino, Califórnia.

MØLLER, CHRISTIAN

Christian Møller**,** físico dinamarquês, nasceu em 1904. Entrou para o Instituto de Niels Bohr, em Copenhague, em 1929, e ali permaneceu até 1975. Foi membro do Conselho Científico do Cern, de 1959 a 1972, e diretor da Seção Teórica, de 1954 a 1957. Morreu em 1980.

MORRISON, PHILIP

Philip Morrison nasceu em 1915, em New Jersey. Estudou física na Universidade Carnegie-Mellon, onde obteve seu Ph. D. em física teórica, em 1940. Durante a guerra, participou do Projeto Manhattan e trabalhou com Fermi e com O. Frisch nos primeiros testes da bomba atômica. A seguir, foi professor na Universidade de Illinois, Cornell, e no MIT, onde permaneceu até sua aposentadoria. Morreu em 22 de abril de 2005.

MÜLLER, WILHELM

Wilhelm Müller nasceu em 1880. Em 1921, foi *lecturer* no Politécnico de Hamburgo, e, em 1928, professor-associado no Politécnico de Hannover. De 1934 a 1939, foi professor-titular na Universidade de Aachen. Era especialista em aerodinâmica. Ardente nazista, em 1939

foi indicado, depois de uma longa batalha (ver Heisenberg), a assumir a cátedra de física teórica de Sommerfeld, em Munique. Ali permaneceu até 1954, produzindo sérios danos à física alemã. Morreu em 1968.

NEDDERMEYER, SETH

Seth Neddermeyer nasceu em 1907. Em 1936, sob a orientação de Anderson, descobridor do pósitron, contribuiu para a descoberta dos mésons μ, acomodando uma câmara de neblina sobre o cume do Pikes Peak, a 4.300 m. Depois, foi aluno de Oppenheimer. no California Institute of Technology, em 1937. Durante a guerra. foi convidado por Oppenheimer a fazer parte do Projeto Manhattan. e desenvolveu a ideia da implosão. Em 1982, recebeu o Prêmio Fermi. Morreu em 1988.

NERNST, WALTHER

Walther Nernst nasceu na Prússia, em 25 de junho de 1864. Estudou em Zurique, Berlim e Würzburg, onde se formou. Então, foi para Leipzig, com Ostwald. Em 1894, foi convidado a assumir a cátedra de químico-física em Göttingen e, em 1905, foi para Berlim, onde se tornou diretor do Instituto de Químico-Física. Ficou ali até 1933, quando se aposentou. Em 1906, tinha elaborado o terceiro princípio da termodinâmica. Recebeu o Prêmio Nobel de Química em 1920. Morreu em Berlim, em 1941.

NEUMANN, JOHN von

John von Neumann nasceu em Budapeste, em 28 de dezembro de 1903, em uma família judia. Foi registrado com o nome de Janos Neumann, mas, tendo seu pai comprado um título de nobreza, passou a usar o nome de John von Neumann. Em 1911, entrou no Ginásio Luterano de

Budapeste. Em 1921, entrou na Universidade de Berlim, para estudar química. Continuou ali até 1923, quando foi para Zurique, onde se formou na TH, em 1926. Ali, porém, começou a interessar-se por matemática, tendo feito, enfim, seu doutorado em matemática na Universidade de Budapeste, ainda em 1926. De 1926 a 1929, ensinou na Universidade de Berlim e, entre 1929 e 1930, em Hamburgo. De 1930 a 1933, lecionou em Princeton. Continuou, porém, a voltar à Europa, no verão, até o advento do nazismo. Tornou-se coeditor de *Annali of Mathematics* e de *Compositio Matematica*. Nesse período, deu contribuição fundamental à matemática e ao desenvolvimento dos computadores. Durante a guerra, participou do Projeto Manhattan, como consultor, fornecendo sugestões importantes. Em 1956, recebeu o Prêmio Fermi. Morreu em Washington, vítima de câncer, em 8 de fevereiro de 1957.

NIER, OTTO ALFRED

Alfred Otto Nier nasceu em St. Paul, Minnesota, em 28 de maio de 1911. Os pais eram emigrantes da Alemanha e administravam uma lavanderia. Entrou como estudante na Universidade de Minnesota e, rapidamente, mostrou uma grande facilidade nas matérias científicas. Estudou física e completou seus estudos com pesquisas sobre espectrometria de massa. Nesse setor, desenvolveu um instrumento que lhe permitiu determinar a abundância isotópica de Ar, K (descobriu o isótopo K-40), Zn, Rb e Cd. Entre os anos 1936 e 1938, estabeleceu-se em Harvard, onde, em especial, determinou a composição isotópica do urânio (U-235/U-238). Em 1938, retornou à Universidade de Minnesota, onde sua história se entrelaça com os estudos pós-fissão. A sua contribuição fundamental durante esse período foi a primeira separação de uma quantidade mínima de U-235, atendendo a um pedido explícito de Fermi. Essa primeira amostra forneceu material para os estudos na Columbia. No período de 1942 a 1945, participou ativamente dos esforços bélicos, em parti-

cular contribuindo para os equipamentos de separação de Oak Ridge. De 1945 a 1994, permaneceu na Universidade de Minnesota, onde deu contribuições importantes à geocronologia, à geoquímica, à determinação das massas dos nuclídeos e, finalmente, à física espacial. Nier morreu em 16 de maio de 1994.

NISHINA, YOSHIO

Yoshio Nishina nasceu em 1890. Estudou física no Japão, foi, depois, para Copenhague, onde trabalhou com Niels Bohr e, em seguida, para Cambridge, onde trabalhou no Cavendish Laboratory, com Lord Rutherford e Chadwick. Ali conheceu as bases da mecânica quântica e da física nuclear. Em 1929, contribuiu para a famosa fórmula de Klein-Nishina. Retornando ao Japão, tornou-se professor de física na Universidade de Tóquio e criou uma influente escola de física moderna, na qual estudaram os dois Prêmios Nobel japoneses, H. Yukawa e S. Tomonaga. Desenvolveu também a física nuclear, tendo construído um cíclotron. Durante a II Guerra Mundial, foi chefe do programa japonês para a construção de uma bomba atômica. Nishina morreu em 1951.

NODDACK (nascida TACKE), IDA

Ida Noddach nasceu em 25 de fevereiro de 1896, na atual Wesel, Alemanha. Foi uma das primeiras mulheres a estudar no Politécnico de Charlottenburg. Ali, estudou e formou-se em química, tendo vencido o primeiro prêmio do Instituto de Química e Metalurgia da TU. De 1921 a 1925, trabalhou na AEG e, a seguir, até 1935, foi professora-visitante no PTR. Em 1925, descobriu, junto com o marido, Walter Noddack, o elemento rênio. Também pensavam ter isolado o elemento 43, que chamaram de masúrio, mas que, depois, foi renomeado para tecnécio, por E. Segrè, seu "segundo descobridor". Em 1934, publicou um artigo,

pouco considerado, especialmente por Hahn, que não gostava dela, no qual levanta a hipótese de que os famosos transurânicos descobertos por Fermi poderiam ser, na realidade, produtos de fissão. De 1935 a 1939, foi pesquisadora no Departamento de Físico-Química da Universidade de Freiburg, mas, a seguir, teve que deixar seu trabalho em razão de uma norma segundo a qual apenas a uma pessoa por família era permitido trabalhar. Em 1939, acusou O. Hahn de nunca tê-la citado nos seus trabalhos. Foi pró-nazista, sem ter se inscrito no Partido Nacional-Socialista. Várias vezes, ela e o marido foram indicados ao Prêmio Nobel. A partir de 1956, foi pesquisadora no Instituto de Pesquisa em Geoquímica, de Bamberg. Morreu em 1978.

NODDACK, WALTER

Walter Noddack nasceu em 1893, na região dos lagos Masúrios. De 1912 a 1920, estudou física na Universidade de Berlim. Foi diretor do Laboratório de Química e Fotoquímica do PTR. Em 1925, descobriu, junto com sua mulher, Ida, o elemento rênio e levantou a hipótese da descoberta do masúrio. Depois, essa hipótese não foi confirmada. A partir de 1935, foi professor-titular de física e química em Freiburg. Foi um ardente nazista, embora jamais tivesse se inscrito no Partido Nacional-Socialista. No período de 1941 a 1945, tranferiu-se para Estrasburgo. Foi processado, mas, em seguida, absolvido. Logo depois da guerra, passou alguns anos na Turquia. De 1946 a 1956, foi professor e diretor do Instituto de Química da Universidade de Bamberg. Morreu em 1960.

OCCHIALINI, GIUSEPPE

Giuseppe Occhialini nasceu em Fossombrone, em 1907. Formou-se em física em Florença, em 1929. Em 1931, foi para o Cavendish Laboratory, de Cambridge, onde trabalhou com raios cósmicos. Em 1933, em co-

laboração com Blackett, identificou o pósitron nos raios cósmicos. Em 1937, atendendo a convite de Gleb Wataghin, foi para o Instituto de Física da Universidade de São Paulo, onde permaneceu até 1944. Então, foi para a Inglaterra, para trabalhar no Wills Laboratory de Bristol, onde, com Powel e Lattes, desenvolveu uma técnica de revelação através de emulsões fotográficas, descobrindo, em 1947, o píon, e contribuindo para esclarecer o experimento de Conversi-Pancini-Piccioni. A partir de 1950, foi professor de física na Universidade de Gênova e, em 1952, foi para a Universidade de Milão. Morreu em Paris, em 1993.

OHNESORGE, WILHELM

Wilhelm Ohnesorge nasceu em 8 de junho de 1872. Estudou matemática e física em Kiel, com P. Lenard, e, mais tarde, com Warburg, em Berlim. A partir de 1900, foi funcionário no escritório de pesquisa da Sociedade dos Telégrafos em Berlim, e, depois, no quartel-general da mesma sociedade. Ali, como especialista em comunicação, fez as primeiras ligações telegráficas. Em 1920, entrou para o Partido Nacional-Socialista. Em 1933, foi secretário de Estado do Reichspostministerium (Ministério dos Correios – RPM). De 1937 a 1945 foi ministro dos Correios. Nesse cargo, criou, também, um ativo centro de pesquisas nucleares e assumiu notável importância como financiador de projetos de pesquisa; em especial, financiou o Laboratório de von Ardenne, onde também trabalhou Houtermans, com projetos relacionados à energia nuclear. Fez a palestra introdutória na comemoração dos 80 anos de Lenard. Em 1942, foi nomeado pioneiro nesse trabalho. Morreu em 1º. de fevereiro de 1962.

OLIPHANT, MARK

Mark Oliphant nasceu em Adelaide, Austrália, em 1901. Depois de ter estudado ciências na Universidade de Adelaide, ganhou uma bolsa de

estudos para a Universidade de Cambridge. Ali trabalhou por 10 anos em física nuclear, com Lord Rutherford, até o falecimento dele, em 1937. Nesse período, produziu importantes trabalhos. Durante a II Guerra Mundial, trabalhou para o governo inglês, ocasião em que inventou o magnetron para melhorar as estruturas das comunicações. A partir de 1943, retomou a física nuclear, participando do Projeto Manhattan. Depois da guerra, retornou à Austrália e contribuiu para fundar a Australian National University, em Canberra. Em 1959, foi nomeado Sir. Em 1971, tornou-se governador da Austrália. Morreu em 17 de julho de 2000.

OPPENHEIMER, ROBERT

Robert Oppenheimer nasceu em 22 de abril de 1904, em New York, em uma família judia, de origem alemã. Com 17 anos, foi para Harvard, com a intenção de estudar química, mas, rapidamente, decidiu-se pela física. Completou seus estudos em 1925. Depois, foi para o Cavendish Laboratory de Cambridge, na Inglaterra, e, em seguida, para Göttingen, na Alemanha, com Max Born, onde conheceu os mais famosos físicos da época. Ali fez seu doutorado, em 1927. Depois do seu retorno aos USA, em 1929, tornou-se professor de física na Universidade da Califórnia, em Berkeley. Em junho de 1942, entrou para o projeto da bomba atômica, escolhido pelo general Groves, como diretor-científico do Projeto Manhattan. No final da guerra, foi nomeado presidente do Comitê de Consultoria da Atomic Energy Commission. Ficou nesse cargo de 1947 a 1952. Durante o macartismo, foi acusado de ter sido espião soviético e, dessa acusação, foi apenas parcialmente absolvido. De 1947 a 1966, foi diretor do Institute for Advanced Study de Princeton. Morreu em fevereiro de 1967.

PAUL, WOLFGANG

Wolfgang Paul nasceu em Lorenzkirch, na Saxônia, em 10 de agosto de 1913. Em 1932, iniciou seus estudos na Technische Hochschule de

Munique. Depois, foi para a Technische Hochschule de Berlim, onde teve como professor H. Kopfermann e R. Becker. Em 1937, formou-se e transferiu-se, com Kopfermann, para Kiel, onde este último era professor. Em 1939, obteve seu Ph. D. em Berlim, com uma tese sobre a medida do momento nuclear do Be. Depois, seguiu os passos de Kopfermann, transferindo-se para a Universidade de Göttingen. Nesse período, dedicou-se aos aceleradores de partículas. Em 1952, tornou-se professor na Universidade de Bonn. Ali trabalhou com física dos feixes moleculares e com espectrometria de massa. Participou da construção do Desy. Em 1989, recebeu o Prêmio Nobel de Física. Morreu em 1993.

PAULI, WOLFGANG

Wolfgang Pauli nasceu em 1900, filho de um bioquímico e médico, em uma família judia. Em 1918, começou seus estudos na Universidade de Munique, onde fez sólida amizade com Heisenberg, e onde se formou, sob a orientação de A. Sommerfeld. Entre 1921 e 1924, foi para Göttingen, Copenhague (com Bohr), e, de novo, para Göttingen (com Born). Em 1924, fez sua habilitação para a Universidade de Hamburgo. Logo revelou-se um genial físico teórico-nuclear. Em 1925, formulou o famoso "princípio da exclusão". A partir de 1928, foi professor-titular no Politécnico de Zurique, onde teve importantes visitantes e alunos. Em 1930, postulou a existência do neutrino. Durante o período de 1935 a 1936, de 1939 a 1946 e de 1949 a 1950, foi professor-visitante no Institute for Advanced Study, em Princeton. Em 1945, recebeu o Prêmio Nobel de Física. Morreu em 1958.

PEGRAM, GEORG

Georg Pegram nasceu em 1876. Obteve seu Ph. D. em 1903, na Columbia University, e ali fez toda a sua carreira, de assistente de física, em

1900, a diretor do departamento, durante a II Guerra Mundial. No período de 1927 a 1937, foi tesoureiro da American Physical Society e, a partir de 1949, vice-presidente da Columbia. Em um período anterior à II Guerra Mundial, desenvolveu uma tarefa importante, ao recrutar, para os USA, importantes cientistas europeus (recrutou Fermi e von Grosse, e tentou recrutar Heisenberg). Em 1939, foi nomeado diretor do Advisory Committee sobre o urânio, logo depois da carta de Einstein para Roosevelt. Morreu em 1958.

PEIERLS, RUDOLF

Rudolf Peierls nasceu em Berlim, em 5 de junho de 1907, em uma família judia. Estudou em várias universidades alemãs e suíças, mas completou seus estudos com Heisenberg, em Leipzig. A partir de 1933, transferiu-se para a Inglaterra, onde foi professor em Birmingham, de 1937 a 1963, e, em Oxford, de 1963 a 1974. Em 1940, junto com Otto Frisch, Peierls calculou a energia liberada em uma reação nuclear em cadeia. Em 1943, depois da decisão inglesa de não continuar as pesquisas sobre energia nuclear, Peierls foi para os Estados Unidos, para participar do Projeto Manhattan, primeiro em New York, e, a seguir, em Los Alamos. Morreu em Oxford em 1995.

PERRIN, JEAN BAPTISTE

Jean Baptiste Perrin nasceu em Lille, em 30 de setembro de 1870. Ali estudou na École Normale Supérieure, onde se formou em 1897, com uma tese sobre raios X. Anteriormente, tinha determinado a natureza corpuscular dos raios catódicos. Depois, assumiu um cargo de físico-química na Sorbonne, onde se tornou professor em 1910, aí permanecendo até 1940, quando Paris foi invadida pelos nazistas. Continuou, todavia, a dedicar-se aos raios catódicos, à radioatividade do rádio e ao

movimento browniano. Determinou, por meio desse fenômeno, o número de Avogrado. Depois, estudou a sedimentação. Em 1926, recebeu o Prêmio Nobel de Física. Durante a ocupação nazista, fugiu para os Estados Unidos, onde morreu, em 7 de abril de 1942. Foi sepultado no Pantheon.

PERRIN, FRANCIS

Francis Perrin nasceu em Paris, em 1901, filho do cientista Jean Perrin, Prêmio Nobel de Física em 1926. Depois de ter feito os primeiros estudos na cooperativa de Mme. Curie, estudou física na Sorbonne. Trabalhou com física teórica e, em 1939, calculou a "massa crítica" (foi o primeiro a usar esse termo) para uma bomba de urânio. Naquele período, participou das pesquisas do grupo de Joliot, com quem colaborava. A partir de 1946, foi diretor da CEA francesa. Participou do programa nuclear francês para a construção da bomba atômica e, a seguir, colaborou com Israel para o desenvolvimento nuclear israelense e a consequente construção da bomba atômica. Faleceu em 1992.

PLACZEK, GEORG

Georg Placzek nasceu em 1905, em Brno, em uma família de origem tcheca. Estudou em Praga e Viena, formando-se, nesta última, em física, em 1928. Até 1931, esteve em Utrecht, mas, no mesmo ano, mudou-se para Leipzig, com Heisenberg, e no período compreendido entre 1931 e 1932 estabeleceu-se em Roma, onde trabalhou com Amaldi nos espectros Raman da amônia. Ali fez amizade tanto com Amaldi quanto com Majorana, que depois reencontrou em Copenhague, em 1933. Ainda em 1933, foi para Charkov e, depois, para Jerusalém. De 1937 a 1939, voltou a Copenhague. Em 1939, fugiu para os USA, via Paris, e permaneceu, temporariamente, em Princeton, onde estava naquela "crucial"

primavera de 1939. Com a ajuda de Bethe, ficou até 1942 na Cornell University. No final de 1943, fez parte da delegação inglesa para Los Alamos e, depois, participou do projeto militar anglo-canadense. Em 1945, foi, finalmente, para os laboratórios de Los Alamos. A partir de 1948, foi professor em Princeton. Placzek era uma pessoa erudita, sendo fluente em muitas línguas, e costumava ser muito agradável. Mas também era conhecido por sua língua ferina. Placzek morreu em 1955.

PLANCK, MAX

Max Planck nasceu em 23 de abril de 1858, em Kiel, em uma família de acadêmicos. Em 1874, entrou na Universidade de Munique e, depois, estudou em Berlim, com Helmholtz e Kirchhoff. Voltou para Munique, onde se formou em 1879, com uma tese sobre o segundo princípio da termodinâmica. Ficou em Munique até 1885 e, depois, foi, como professor, para Kiel, e, após a morte de Kirchhoff, sucedeu-o na cátedra de física teórica na Universidade de Berlim, em 1887. Ali permaneceu até sua aposentadoria, em 1927. Em 1900, Planck desenvolveu uma nova fórmula da radiação emitida por um corpo negro, que veio a incluir a famosa constante de Planck, a qual, por sua vez, revolucionou a física. Em 1918, Planck recebeu o Prêmio Nobel de Física. Foi presidente da Kaiser Wilhelm Gesellschaft, de 1930 a 1937, cargo que ocupou também depois da guerra. Morreu em Göttingen, em 1947.

PONTECORVO, BRUNO

Bruno Pontecorvo nasceu em Pisa, em 1913, em uma família judia. Estudou física em Roma, com Fermi, e formou-se em 1934. Colaborou com a última parte das pesquisas de Fermi sobre a desaceleração dos nêutrons. Entre 1936 e 1940, transferiu-se para Paris, onde trabalhou com o casal Joliot-Curie, com as colisões nêutrons-prótons. Depois, foi

para o Canadá, onde trabalhou com P. Auger, de 1943 a 1944, com nêutrons lentos na água. De 1943 a 1948, participou da colocação em funcionamento de um reator de urânio natural e água pesada. Em 1946, começou a interessar-se pelos neutrinos, sugerindo o método Cl-Ar. Suspeito de ser espião dos soviéticos, em 1950, fugiu para a União Soviética (levado também por motivos ideológicos, uma vez que era um comunista convicto), onde trabalhou no Centro de Dubna. Foi, com muita probabilidade, um espião soviético. Morreu em 1993.

POSE, HEINZ

Heinz Pose nasceu em Königsberg, em 4 de maio de 1905. Estudou nas universidades de Göttingen e de Halle, tendo se formado nesta última, em 1928. Ali permaneceu como professor-associado e, depois, como professor supranumerário, a partir de 1939. Em 1940, foi para o KWIP, em Berlin-Dahlem, e, a partir de 1942, para o Physikalisch-techische Reichsanstalt (PTR, equivalente ao National Bureau of Standards), em Berlim. Durante a guerra, foi assistente de Diebner, no Heereswaffenamt. A partir de 1945, fez pesquisas na URSS. A partir de 1957, foi professor no Politécnico de Dresden. Morreu em Dresden, em 13 de novembro de 1975.

POWELL, CECIL FRANCK

Cecil Franck Powell nasceu em 5 de dezembro de 1903, em Tonbridge, Kent, Inglaterra. Ganhou uma bolsa de estudos para o Sidney Sussex College de Cambridge, onde se formou em 1925. A seguir, trabalhou com C. T. R. Wilson e E. Rutherford, até 1927, quando obteve seu Ph. D. Assim, foi para a Universidade de Bristol, onde, em 1948, tornou-se professor. Trabalhou na área dos aceleradores e, depois, dos raios cósmicos, usando emulsões fotográficas. Em 1947, descobriu, com esse mé-

todo, o méson "pesado". Em 1950, recebeu o Prêmio Nobel de Física. C. F. Powell morreu em 9 de agosto de 1969.

PRANDTL, LUDWIG

Ludwig Prandtl nasceu em 1875. De 1894 a 1898, estudou engenharia mecânica no Politécnico de Munique, onde fez seu doutorado em 1900. De 1901 a 1904, foi professor no Politécnico de Hannover; de 1904 a 1907, foi professor-associado e, de 1907 até 1946, foi professor-titular na Universidade de Göttingen. Foi um assumido crítico do nazismo. Durante a guerra, foi envolvido na petição de C. Ramsauer ao ministro da Educação Rust. Prandtl morreu em Göttingen, em 15 de agosto de 1953.

RAMSAUER, CARL

Carl Ramsauer nasceu em 1879. Estudou em Munique, Tübingen, Berlim, Kiel, Londres e Breslau. De 1907 a 1909, foi assistente de Lenard, na Universidade de Heidelberg. De 1909 a 1921, foi pesquisador no Instituto de Radiologia de Heidelberg. A partir de 1921, foi professor-titular no Politécnico de Dansig. De 1928 a 1945, foi diretor da Divisão de Pesquisa da AEG. De 1940 a 1945, foi presidente da DPG. A partir de 1945, foi professor e diretor do Departamento de Física do Politécnico de Berlim. Morreu em 1955.

RABI, ISIDOR ISAAC

Isidor Isaac Rabi nasceu em Raymanov, Áustria, em julho de 1898, em uma família judia. Em 1899, a família transferiu-se para os Estados Unidos. Estudou química na Cornell University, e física na Columbia

University. Em 1927, recebeu seu Ph. D. com uma tese sobre as propriedades magnéticas dos cristais. Nos dois anos seguintes, foi para a Europa, onde estudou com Sommerfeld, Bohr, Pauli, Stern e Heisenberg. Foi muito influenciado por Stern e pelas suas técnicas de medida de feixes atômicos em campos magnéticos. Quando voltou para os EUA, em 1929, tornou-se *lecturer* de física teórica na Columbia University, onde se tornou professor em 1937. Durante a guerra, entrou para o Projeto Manhattan e trabalhou no MIT (Radiation Laboratory). Em 1945, retornou à Columbia University. Em 1944, recebeu o Prêmio Nobel pelos seus estudos sobre as propriedades magnéticas dos núcleos. Rabi morreu em 1988.

RAMAN, CHANDRASEKHAR VENKATA

Chandrasekhar Venkata Raman nasceu em Trichinopoly, no sul da Índia, em 7 de novembro de 1888. Estudou física em Madras, onde se formou em 1907. Em 1917, foi-lhe oferecida a cátedra de física na Universidade de Calcutá. Depois de 15 anos, tornou-se professor no Indian Institute of Science de Bangalore e, a partir de 1948, foi diretor do Instituto de Pesquisa Raman de Bangalore, que ele mesmo fundou. A partir de 1922, dedicou-se à pesquisa sobre a difração da luz que, afinal, o levou a descobrir, em 1928, o chamado efeito Raman. Em 1930, ganhou o Prêmio Nobel de Física. Morreu em 1970.

RASETTI, FRANCO

Franco Rasetti nasceu em Castiglion del Lago (PG), em 10 de agosto de 1901. Em 1922, inscreveu-se na física na Universidade de Pisa, onde conheceu E. Fermi. Entre 1931 e 1932, mudou-se para Berlim, acompanhando Lise Meitner. Ali aprendeu várias técnicas experimentais, como a construção de tubos Geiger e câmaras de neblina, e a preparação de

fontes neutrônicas. Quando voltou a Roma, começou uma grande fase de descobertas, que levou, durante o período de 1934 a 1938, à descoberta da radioatividade induzida por nêutrons e da desaceleração dos nêutrons por materiais hidrogenados. Tornou-se professor-titular, mas, no início da II Guerra Mundial, recusou-se a colaborar com a construção da bomba americana e transferiu-se para a Universidade de Laval, no Canadá, para completar suas pesquisas sobre raios cósmicos. Desiludido com a física, abandonou-a pela paleontologia e pela botânica, para cuja ciência deu contribuições importantes, em especial para o estudo dos trilobites. Morreu em 2002, na Bélgica.

REICHE, FRITZ

Fritz Reiche nasceu em 1883, em uma família judia. Obteve seu Ph. D. em 1907, na Universidade de Berlim. A partir de 1907, foi assistente de M. Planck, em Berlim. Em 1913, foi *privatdozent* na Universidade de Berlim. De 1921 a 1933, foi professor de física teórica na Universidade de Breslau. Em 1921, escreveu um importante livro sobre a mecânica quântica, *Die Quantentheorie*. A partir de 1935, sendo judeu, foi impedido de ministrar aulas, passando, então, a sobreviver graças a uma pequena aposentadoria. Em março de 1941, emigrou para os Estados Unidos, via Lisboa, tendo deixado uma mensagem oral de F. Houtermans: "[...] nós, aqui, incluindo Heisenberg, estamos procurando de todos os modos opor-nos à ideia da construção de uma bomba [...]" Em Princeton, confiou essa mensagem a Ladenburg, Wigner, Pauli, von Neumann e outros. Parece que falou também com Szilàrd, em New York, no fim de 1941, mas perderam-se os sinais dessa mensagem. Em 1942, tornou-se professor-associado de física no City College. Em 1946, tornou-se professor-adjunto na New York University, onde permaneceu até sua aposentadoria, em 1958. Trabalhou com termodinâmica, mecânica ondulatória e física teórica. Morreu em 1969.

RIEHL, NIKOLAUS

Nikolaus Riehl nasceu em São Petersburgo, em 1901, filho de pais alemães. De 1920 a 1927, estudou na St. Petersburg Polytechnic e na Universidade de Berlim, onde se formou, em 1927, com O. Hahn e L. Meitner, com uma tese sobre contadores Geiger. A partir de 1927, foi pesquisador no Departamento de Radiologia e, de 1939 a 1945, diretor da Seção Científica da *Auer Gesellschaft,* que teve contatos, em 1939, com o Uranverein, em especial com O. Hahn, para a produção de urânio puro. Em 1945, foi transferido à força para a Rússia pelas forças de ocupação soviéticas em Berlim. De 1945 a 1955 participou do programa nuclear soviético, dirigindo a seção de purificação do urânio. Em 1955 foi-lhe permitido retornar para Berlim Oriental, de onde fugiu com a família na RFG. A partir de 1955 dirigiu, junto com Meier-Leibnitz a construção do primeiro reator alemão em Garsching. De 1957 a 1969 foi professor-titular no Politécnico de Munique. Morreu em 1990.

ROSBAUD, PAUL

Paul Rosbaud nasceu em Viena, em 1896. Estudou no Politécnico de Darmstadt e formou-se em engenharia no Politécnico de Berlim. Foi pesquisador do KWI em Berlim, desenvolvendo pesquisas sobre silicatos. Foi um dos poucos cientistas alemães a opor-se abertamente ao regime nazista. A mulher, judia, e a filha fugiram para a Inglaterra. De 1930 a 1945, foi supervisor de publicações científicas para J. Springer. Foi editor de muitas revistas científicas importantes, entre as quais *Die Naturwissenschaften*. A partir de 1945, transferiu-se para a Inglaterra e traballhou para a Buttherworth-Springer em Londres e para a Pergamon Press. De 1956 a 1963, ocupou posições de destaque pela Interscience Publ. Durante a II Guerra Mundial, foi, com muita probabilidade, um espião dos ingleses na Alemanha. Morreu em 1963.

ROSENFELD, LEON

Leon Rosenfeld nasceu em Liège, Bélgica, em 1904. Estudou física na Universidade de Liège, onde se formou, em 1926. Estudou, ainda, em Paris, com L. de Broglie, L. Brillouin e P. Langevin. De 1927 a 1929, ficou com Max Born, em Göttingen, e, de 1929 a 1930, com Pauli, em Zurique. De 1930 a 1941, ensinou física teórica na Universidade de Liège; de 1940 a 1947, na Universidade de Utrecht; e de 1947 a 1958, e na Universidade de Manchester. De 1958 a 1974, estava no Centro Nordita, de Copenhague. De 1930 a 1962, foi um colaborador muito próximo de Niels Bohr. Leon Rosenfeld morreu em 1974.

ROSSI, BRUNO

Benedetto Bruno Rossi nasceu em Veneza, em 13 de abril de 1905, de mãe judia. Estudou física em Pádua e formou-se em Bolonha, em 1927. Em 1932, tornou-se professor de física na Universidade de Pádua. Nesses anos, dedicou-se ao estudo dos raios cósmicos, área para a qual deu importantes contribuições. Casou-se com Nora Lombroso, sobrinha do famoso antropólogo. As leis raciais de 1939 o obrigaram a fugir da Itália, primeiro para Copenhague, com Bohr, depois para a Inglaterra, e, finalmente, para os Estados Unidos. Durante a guerra, Fermi chamou-o para colaborar no Projeto Manhattan. Aceitou, depois de muita hesitação. Depois da guerra, ministrou aulas em Chicago, em Cornell e, enfim, no MIT. Morreu em 21 de novembro de 1993.

ROTBLAT, JOSEPH

Joseph Rotblat nasceu em Varsóvia, em 4 de novembro de 1908. Estudou na Universidade Livre e na Universidade de Varsóvia. Em 1938, formou-se em física, e em 1950, obteve seu Ph. D. na Universidade de

Liverpool. De 1933 a 1939, foi pesquisador no Laboratório de Radiologia de Varsóvia. Na primavera de 1939, identificou os nêutrons secundários emitidos na fissão do urânio, e rapidamente intuiu as consequências da fissão. Pouco depois, foi para a Universidade de Liverpool, onde trabalhou com Chadwick. Até 1944, pesquisou especificamente com a bomba atômica, em Liverpool, com Chadwick, Peierls e Frisch, e, depois, foi para Los Alamos. De 1945 a 1949, foi diretor de Pesquisa em Física Nuclear, em Liverpool. De 1950 a 1976, foi professor de física na Universidade de Londres. Trabalhou sistematicamente pelo banimento das armas atômicas e pela paz. De 1957 a 1973, foi secretário-geral das Conferências Pugwash. Em 1995, dividiu, com as Pugwash Conferences, o Prêmio Nobel da Paz. Morreu em 31 de agosto de 2005, em Londres.

RUST, BERNHARD

Bernhard Rust nasceu em 1883. Estudou literatura, filosofia e filologia clássica nas universidades de Munique, Berlim, Göttingen e Halle. Foi *oberstudienrat* no Realgymnasium de Hannover. Em 1930, foi eleito para o Parlamento, pelo Partido Nacional-Socialista. De 1933 a 1934, foi ministro da Ciência e Cultura da Prússia e, de 1934 a 1945, foi ministro do Reich no REM. Desempenhou um importante papel no âmbito da pesquisa alemã durante o nazismo. Suicidou-se em maio de 1945.

RUTHERFORD, ERNEST

Ernest Rutherford nasceu em 30 de agosto de 1871, em Nelson, Nova Zelândia. Em 1894, ganhou uma bolsa de estudos para o Trinity College, Cambridge, como estudante de J. J. Thomson. Em 1898, foi, como professor, para a McGill University, no Canadá. Retornou para a Inglaterra

em 1907, como professor de física na Universidade de Manchester, e, em 1919, sucedeu Thomson como professor de física em Cambridge. Ali morreu, em 19 de outubro de 1937. Em 1908, ganhou o Prêmio Nobel de Química. Rutherford pode ser considerado o maior físico nuclear experimental, por ter dado fundamentais contribuições à física nuclear, a partir de sua estada na McGill University (emissão de radiação alfa e emanação do tório), em Manchester (contador Geiger, scattering de raios alfa) e até no Cavendish Laboratory de Cambridge (desintegração dos núcleos). Rutherford foi, também, um grande "mestre", e com ele trabalharam eminentes cientistas, como Bohr, Hahn, Geiger, Chadwick, Blackett, Cockroft, Walton, Soddy, etc.

SAKHAROV, ANDREI

Andrei Sakharov nasceu em Moscou, em 21 de maio de 1921, em uma família de alto nível cultural. Estudou física na Universidade de Moscou e formou-se, brilhantemente, em 1942. Depois, foi enviado para a fábrica de cartuchos de Uljanovsk. Entre os anos de 1943 e 1944, completou algumas publicações e as enviou a I. Tamm, no Instituto de Física Lebedew. No início de 1945, foi convidado a fazer parte desse instituto. Em 1947, elaborou sua tese de doutorado e, em 1948, começou a fazer parte de um grupo de trabalho sobre armas termonucleares. De 1950 a 1951, trabalhou com Tamm sobre a reação termonuclear controlada. Entre 1953 e 1962, envolveu-se intensamente no programa nuclear soviético e, em especial, com a construção da bomba de hidrogênio. Já a partir da metade dos anos 1950, começou a protestar contra os experimentos termonucleares. A seguir, começou a trabalhar com questões relativas a assuntos biológicos, danos por radiação e, de modo geral, com a questão da paz no mundo. Entrou em colisão com os dirigentes soviéticos, motivo por que foi exilado em Gorki. Em 1975, lhe foi dado o Prêmio Nobel da Paz. Morreu em 14 de dezembro de 1989.

SCHERRER, PAUL

Paul Scherrer nasceu em Herisau, St. Gallen, Suíça, em 3 de fevereiro de 1890. Em 1908, estudou botânica, e, depois, matemática e física, no ETH de Zurique. Em 1912, estudou na Universidade de Göttingen, onde se formou com P. Debye, em 1916, com uma tese sobre *O efeito Faraday sobre as moléculas de água*. Nesse ínterim, tinha desenvolvido, com Debye, um sistema para medir a estrutura dos cristais com raios X. Em 1918, fez a livre-docência em Götingen e acompanhou Debye em sua transferência para o ETH de Zurique. Em 1927, tornou-se professor-titular de física experimental no ETH de Zurique, para onde, em 1928, foi também convidado Pauli, de quem se tornou grande amigo. Permaneceu em Zurique até sua aposentadoria. Conheceu todos os grandes físicos europeus. A partir de 1935, dedicou-se à física nuclear. Em 1938, empenhou-se em encontrar uma colocação para Lise Meitner. Em 1940, participou da construção do cíclotron. Favorável à causa aliada, forneceu informações, nem sempre corretas, aos anglo-americanos, sobre os físicos europeus, e, em 1944, foi, indiretamente, protagonista da tentativa de assassinato de Heisenberg pelos americanos, em Zurique. Foi também conhecido como *tombeur des femmes* ("conquistador"). Em 1960, aposentou-se. Faleceu em 25 de setembro de 1969, em Zurique.

SCHRÖDINGER, ERWIN

Erwin Schrödinger nasceu nas proximidades de Viena, em 1887, de ascendência austríaca e inglesa. Schrödinger formou-se em física, em Viena, em 1906, e, depois da formatura, trabalhou com física teórica sob a orientação de Fritz Hasenöhrl. Em 1920, foi para Jena, como assistente. Em menos de 2 anos, foi para Stuttgart e, um pouco depois, para Breslau. Ainda em 1921, tornou-se professor de física teórica em Zurique, onde trabalhou com estrutura atômica e mecânica estatística. Em 1926, publicou os seus revolucionários trabalhos sobre mecânica ondulatória. Em 1931, tornou-se professor de física teórica em Berlim

e, embora não fosse judeu, decidiu que não poderia continuar a viver em um país onde os judeus fossem perseguidos. Inicialmente, dirigiu-se para Princeton, depois foi para Oxford, depois para Edimburgo e, a seguir, para Gent. Enfim, no outono de 1939, foi para Dublin. Em 1933, recebeu o Prêmio Nobel de Física, por suas descobertas sobre mecânica ondulatória. Em 1961, morreu em Viena.

SCHUMANN, ERICH

Erich Schumann, neto do compositor Robert Schumann, nasceu em 1898. Em 1922, era físico no RWM. A partir de 1929, foi chefe do Escritório Central para a Ciência. Fez sua habilitação em acústica. A partir de 1931, foi professor de física e, a partir de 1933, professor-titular de física aplicada em Berlim. Em 1933, tornou-se membro do NSDAP (Partido Nacional-Socialista dos Trabalhadores Alemães). De 1933 a 1945, foi docente de física militar e diretor do II Departamento de Física da Universidade de Berlim. De 1934 a 1945, foi chefe do Departamento de Pesquisas do Heereswaffenamt e conselheiro-científico do marechal-de-campo W. Keitel e, a partir de 1938, do OKW (foi também general). A partir de 1938, foi professor de balística e tecnologias militares no Politécnico de Berlim. Organizou também as reuniões do Uranverein, cuja organização, depois, delegou a Diebner: a primeira ocorreu em 16 de dezembro de 1941; a segunda, em 26 de fevereiro de 1942; e a terceira, na qual dada a palavra final, em 4 de junho de 1942. A partir de 1951, foi diretor do Instituto Helmholtz de Psicologia do Som e de Acústica Médica em Berlim. Morreu em 1985.

SEABORG, GLENN THEODORE

Glenn Theodore Seaborg nasceu em Ishpeming, Michigan, em 19 de abril de 1912. Entrou na Universidade da Califórnia, Berkeley, em 1929,

formando-se em química, em 1937. Ali fez toda a sua carreira, até tornar-se professor de química, em 1945. A partir de 1946, dirigiu o Laboratório de Química do Lawrence Radiation Laboratory; depois, foi membro, e, em 1961, presidente da Atomic Energy Commission. Durante a guerra, Seaborg trabalhou no Metallurgical Laboratory de Chicago, onde dirigiu a atividade sobre o plutônio, elemento do qual foi codescobridor. Em 1951, recebeu o Prêmio Nobel de Química. A atividade principal de Glenn Seaborg foi sobre os elementos transurânicos. Glenn Seaborg morreu em 26 de fevereiro de 1999.

SEGRÉ, EMILIO

Emilio Segré nasceu em Tívoli, em 1º. de fevereiro de 1905, em uma família judia. Em 1922, entrou na Universidade de Roma, Faculdade de Engenharia. Cursando o quinto ano, transferiu-se para a física, para trabalhar com E. Fermi. Em 1928, formou-se com Fermi. Fez parte do grupo de Fermi e, em 1934, participou de todas as pesquisas sobre a radioatividade induzida por nêutrons e sobre a desaceleração dos nêutrons. Em 1936, passou em um concurso para a cátedra de física e transferiu-se para Palermo. Ali, junto com Perrier, descobriu o elemento tecnécio. Em 1938, foi para Berkeley, e ali permaneceu em razão das leis raciais italianas de 1938, primeiro como professor-associado e, depois, como *lecturer*. Durante a guerra, participou do Projeto Manhattan, e, em Los Alamos, foi chefe do Laboratório de Radioatividade. Estudou, junto com Kennedy e Seaborg, os elementos transurânicos, tendo descoberto a fissão espontânea do plutônio. Em 1946, retornou a Berkeley, como professor de física. Com O. Chamberlain, descobriu o antipróton, e, em 1959, recebeu o Prêmio Nobel de Física, exatamente por essa descoberta. Escreveu notáveis biografias de físicos. Morreu em 22 de abril de 1989.

SERBER, ROBERT

Robert Serber nasceu em 14 de março de 1905, na Philadelphia. Obteve seu Ph. D. em física na Universidade de Wisconsin, em 1934. Encantado com uma conferência proferida por Oppenheimer, em Ann Arbor, seguiu-o até a Universidade da Califórnia, Berkeley. Participou do Projeto Manhattan e, em particular, no verão de 1942, trabalhou com a teoria da bomba a fissão. Em 1945, foi o primeiro americano a entrar em Hiroshima e Nagasaki, para "medir" os danos provocados pelas bombas. Em 1951, foi para a Columbia University, onde se tornou diretor da física, em 1975. Aposentou-se em 1978. Morreu em 1997.

SIEGBAHN, KAI M.

Kai M. Siegbahn nasceu em Lund, Suécia, em 20 de abril de 1918, filho de Manne, Prêmio Nobel de Física. Estudou na Universidade de Uppsala, de 1936 até 1942. Formou-se em física em 1944. De 1942 a 1951, foi pesquisador no Instituto Nobel. A partir de 1954, foi professor de física na Universidade de Uppsala. Siegbahn desenvolveu pesquisas na área da física atômica, molecular e nuclear. Em 1981, recebeu o Prêmio Nobel de Física.

SIEGBAHN, MANNE

Karl Manne Georg Siegbahn nasceu em 3 de dezembro de 1886, em Orebro, Suécia. Em 1906, entrou na Universidade de Lund, onde se formou em 1911, com a tese *Magnetiche Feldmessungen.* Em seguida, tornou-se assistente de Rydberg, em Lund, e, depois de ter subido todos os degraus da carreira acadêmica, em 1920, com a morte de Rydberg, tornou-se professor de física. Em 1923, foi para a Universidade de Uppsala. Em 1938, recebeu, no seu instituto, Lise Meitner, que fugira da

Alemanha, mas não facilitou em nada a vida dela. De 1912 a 1937, a atividade científica de Manne Siegbahn desenvolveu-se na área dos raios X. Desenvolveu tubos de raios X inovadores e técnicas espectroscópicas, com as quais mediu detalhadamente as transições. Em 1924, recebeu o Prêmio Nobel de Física. Siegbahn morreu em 1978.

SOMMERFELD, ARNOLD

Arnold Sommerfeld nasceu em 5 de dezembro de 1868, em Königsberg. Ali estudou e formou-se em matemática, em 1891. Em 1893, foi para Göttingen, onde fez sua habilitação com F. Klein, em 1896. Em 1900, Sommerfeld era professor-titular de mecânica técnica na Technische Hochschule de Aachen. Em 1906, foi convidado, também em virtude de uma forte pressão de Röntgen, para a cátedra de física teórica em Munique, onde criou uma formidável escola de mecânica quântica. Com a sua aposentadoria, no final de 1935, surgiu um grande problema, porque seu natural sucessor, Heisenberg, detestava o nazismo. Seu livro *Atombau und Spektrallinien* ficou famoso em todo o mundo. Teve alunos célebres, entre os quais: P. Debye, P. Ewald, P. Ehrenfest, W. Lens, W. Pauli e W. Heisenberg. Morreu em 1951.

STARK, JOHANNES

Johannes Stark nasceu em 1874. Estudou física, química e mineralogia na Universidade de Munique, onde se formou em 1897. De 1900 a 1906, ficou na Universidade de Göttingen; de 1906 a 1909, foi professor-associado no Politécnico de Hannover; e, de 1909 a 1917, professor-titular no Politécnico de Aachen. Ali descobriu o chamado *efeito Stark*. Em 1919, ganhou o Prêmio Nobel de Física. De 1920 a 1922, foi professor-titular na Universidade de Würzburg. A partir de 1921, trabalhou em empreitadas particulares (primeiro em uma fábrica

de porcelana e, depois, com o barão von Hirsch). Em maio de 1933, foi nomeado presidente do Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. De 1934 a 1936, foi presidente da DFG. Stark foi, junto com Lenard, o principal incentivador da "física ariana". Em 1945, respondeu a um processo, quando foi condenado a 4 anos de prisão, mas, feita a apelação, sua pena foi restrita a uma simples multa. Morreu em 1957.

STERN, OTTO

Otto Stern nasceu em Sorau, Alta Silésia, Alemanha, em 17 de fevereiro de 1888, em uma família judia. Formou-se em físico-química em 1912, em Breslau. No mesmo ano, foi para a Universidade de Praga, com Einstein, a quem também acompanhou na sua transferência para Zurique, onde se tornou *privatdozent* de físico-química. Depois da guerra, retornou a Frankfurt, como assistente de física teórica de Max Born. Ali começou a trabalhar com feixes moleculares colimados e, em fevereiro de 1922, descobriu, junto com Walther Gerlach, os efeitos quantísticos em um campo magnético. De 1923 a 1933, foi professor de físico-química na Universidade de Hamburgo. Em 1933, fugiu da Alemanha nazista e foi para os Estados Unidos, ministrar aulas no Carnegie Institute of Technology de Pittsburg. Stern tornou-se cidadão americano em 1939 e, durante a guerra, foi consultor do Departamento de Guerra. Em 1943, recebeu o Prêmio Nobel de Física pela medida do momento magnético do próton. Em 1945, após sua aposentadoria, retirou-se para Berkeley. Nunca mais retornou à Alemanha. Otto Stern morreu em 1969.

STETTER, GEORG

Georg Stetter nasceu em 23 de dezembro de 1895, em Viena. De 1914 a 1922, estudou na Universidade de Viena, onde habilitou-se em 1928; em 1934, foi professor-associado e foi convidado a dirigir o II Instituto

de Física. Trabalhou especialmente com radiações e radioatividade. A partir de 1932, tornou-se membro ativo do Partido Nacional-Socialista e, depois da anexação da Áustria por parte da Alemanha, em 1938, tornou-se uma figura de projeção internacional, de referência da física austríaca. A partir de 1939, começou a fazer parte do Uranverein, para o qual trabalhou sobre a dispersão inelástica dos nêutrons rápidos. Depois da guerra foi, no princípio, afastado da sua posição acadêmica, mas, depois, reintegrado. A partir de 1953, foi professor-titular na Universidade de Viena. Morreu em 1988.

STRASSMANN, FRITZ

Fritz Strassmann nasceu em 1902. De 1920 a 1929, estudou química no Politécnico de Hannover, onde permaneceu até o final de 1935, com vários encargos. Em 1938, sucedeu L. Meitner no KWIC. No final de 1938, descobriu, com O. Hahn, a fissão do urânio. De 1945 a 1953, foi diretor do Departamento de Química, e, a partir de 1946, professor-titular de química inorgânica e nuclear na Universidade de Mainz. Morreu em 1980.

SUESS, HANS EDUARD

Hans Eduard Suess nasceu em Viena, em 1909. De 1929 a 1935, estudou química na Universidade de Viena, onde se formou, em 1935. A partir de 1937, foi colaborador de P. Harteck, em Hamburgo. A partir de 1939, envolveu-se com uma "uran machine" com trióxido de urânio e ácido carbônico sólido. Construiu, em Hamburgo, com Harteck e P. Jensen, o separador isotópico para a empresa Norsk Hydro, para a qual foi consultor-científico. No final de 1943, retornando da Notsk Hydro, passou por Copenhague, onde impediu que o Instituto de Física fosse saqueado. Em agosto de 1943, transferiu os aparelhos para a separação

isotópica, de Hamburgo para Freiburg. Entre 1948 e 1950, atuava na Universidade de Hamburgo como professor supranumerário. Em 1950, foi para os Estados Unidos, primeiramente para Chicago, como pesquisador, e, em seguida, para o La Jolla Radiocarbon Laboratory. Além disso, foi professor de geoquímica de 1958 a 1977, na Universidade da Califórnia, San Diego. Morreu em 20 de setembro de 1993.

SZILÀRD, LEO

Leo Szilàrd nasceu em 11 de fevereiro de 1898, em Budapeste, em uma família judia, como Leo Spitz. Em 1919, foi estudante em Berlim, primeiro no curso de engenharia da Technische Hochschule e, depois, no curso de física. Fez seu doutorado em física em Berlim, em 1922, e, em seguida, começou uma colaboração com Eisntein, com quem patenteou modelos de geladeiras. Em 1933, fugindo da Alemanha nazista, refugiou-se em Londres. Foi um cientista genial. Em Londres, intuiu e patenteou (com grande antecipação da descoberta da fissão nuclear) a ideia de uma reação nuclear em cadeia. A seguir, na época do Pacto de Munique, em 1938, emigrou para os Estados Unidos, onde escreveu, em julho de 1939, a famosa carta ao presidente Roosevelt, que foi assinada por Einstein, para adverti-lo do perigo de uma bomba nuclear alemã. Colaborou com Fermi, com quem, entretanto, teve várias divergências sobre a construção do primeiro reator atômico, em Chicago, e participou do Projeto Manhattan. Depois, dedicou-se à biologia. Em 1963, foi para La Jolla, e ali morreu, em 1964, de um ataque cardíaco.

TAMM, IGOR

Igor Yevgenyevich Tamm nasceu em Vladivostok, em 8 de julho de 1895, filho de um engenheiro. Formou-se na Universidade de Moscou, em 1918, especializando-se em física. Ali iniciou sua carreira acadêmi-

ca, que o levou, sucessivamente, para a Crimeia e de novo para o Politécnico de Moscou. Uma influência decisiva na sua atividade científica foi exercida pelo professor L. Mandelstam, com quem colaborou de 1920 a 1944. Em um primeiro período, Tamm, físico teórico, dedicou-se à óptica dos cristais e à mecânica quântica; depois, dedicou-se à física nuclear, dando a interpretação do efeito Cerenkov; e aos raios cósmicos. Em 1933, tornou-se membro da Academia de Ciências da URSS. Em 1958, recebeu o Prêmio Nobel de Física. Tamm morreu em 12 de abril de 1971.

TELLER, EDWARD

Edward Teller nasceu em Budapeste, em 1908, em uma família judia. Formou-se em Leipzig, na Alemanha, em 1930, sob a orientação de W. Heisenberg. Durante 2 anos, foi professor-associado na Universidade de Göttingen, e, depois, *lecturer* em Londres. Em 1935, mudou para os Estados Unidos, onde ministrou aulas na Washington University, até 1941, ano em que se tornou cidadão americano. Durante a guerra, participou do Projeto Manhattan, especialmente da construção do primeiro reator atômico em Chicago e fazendo cálculos sobre os efeitos da explosão nuclear. Desenvolveu pesquisas sobre a fissão nuclear. Em 1946, foi para a Universidade de Chicago, e, em 1949, retornou a Los Alamos. Foi um dos mais contundentes acusadores de Oppenheimer no processo em que este último sofreu, acusado de ter colaborado com a URSS. A partir de 1954, foi para o Lawrence Livermore Laboratory, e, a partir de 1960, foi para a Universidade da Califórnia, onde permaneceu até sua aposentadoria, em 1975. Edward Teller faleceu em 2003.

THIESSEN, PETER ADOLF

Peter Adolf Thiessen nasceu em 1899. Estudou química em Breslau, Freiburg e Göttingen, onde se formou, em 1923. Ali foi assistente de

1924 a 1930. Em 1925, aderiu ao NSDAP (Partido Nacional-Socialista dos Trabalhadores Alemães). De 1930 a 1932, foi professor-associado na Universidade de Göttingen. A partir de 1933, tornou-se chefe de Departamento do KWIPC, em Berlim. Em 1935, foi professor-titular de química na Universidade de Münster. De 1935 a 1945, foi professor na Universidade de Berlim e diretor do KWIPC. Participou da reunião conclusiva do Uranverein na Harnack Haus, em 4 de junho de 1942. Era grande amigo de R. Mentzel, chefe da química do RFR. De 1945 a 1956, foi pesquisador na URSS, onde recebeu o Prêmio Stalin. A partir de 1956, foi professor na Universidade Humboldt, de Berlim Oriental. Morreu em 1990.

THOMSON, JOSEPH JOHN

Joseph John Thomson nasceu em 18 de dezembro de 1856, nas proximidades de Manchester. Brilhante em matemática e física, ganhou uma bolsa de estudos para o Trinity College de Cambridge. Em 1884, foi convidado, como terceiro professor, depois de Maxwell e de Lord Rayleigh, para o Cavendish Laboratory, da Universidade de Cambridge. Ali dedicou-se a pesquisas sobre eletromagnetismo e física atômica. Em 1897, "descobriu" o elétron, fazendo importantes medidas de deflexão dos raios catódicos em campos eletromagnéticos. Por essas pesquisas, recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1906. Morreu em 30 de agosto de 1940.

THOMSON, GEORGE PAGET

George Paget Thomson nasceu em Cambridge, em 1892, filho de Joseph John. Estudou matemática e física no Trinity College, e tendo completado seus estudos, começou a trabalhar com o pai, quando, então, estourou a I Guerra Mundial. Foi convocado e, depois, retornou à Inglaterra

para trabalhar com a estabilidade dos aviões. Assim, passou 8 anos na Universidade de Aberdeen, onde descobriu a natureza ondulatória dos elétrons, através das suas difrações. Em 1930, foi convidado para o Imperial College de Londres, onde ficou até 1952. Em 1937, recebeu o Prêmio Nobel de Física, junto com C. J. Davisson. Durante a guerra, trabalhou com física nuclear, e o seu grupo foi um dos primeiros a identificar os nêutrons de fissão. Sir G. P. Thomson morreu em 10 de setembro de 1975.

TOMASCHEK, RUDOLF

Rudolf Tomaschek nasceu em 1895. Estudou na Universidade de Praga e formou-se na Universidade de Heidelberg, com P. Lenard, em 1918. Em 1934, tornou-se diretor do Departamento de Física do Politécnico de Dresden. De 1939 a 1945, foi professor-titular no Politécnico de Munique. Em 1945, foi suspenso do seu trabalho. De 1948 a 1954, trabalhou no Centro de Pesquisas ADC, na Inglaterra. A partir de 1954, aposentou-se e voltou para a Alemanha. Morreu em 1966.

UHLENBECK, GEORGE

George Uhlenbeck nasceu em Batavia, Java, atual Jacarta, Indonésia, em 6 de dezembro de 1900, em uma família de origem alemã-holandesa. Depois de iniciados os estudos em engenharia química em Leiden, passou a estudar física com Ehrenfest e K. Onnes. Formou-se em 1920, depois de árduos estudos. Em seguida, iniciou seus estudos de pós-graduação, com Ehrenfest. De 1922 a 1925, foi tutor do filho do embaixador da Holanda em Roma. Retornou a Leiden para fazer seu M.Sc., tendo, em seguida, retornado a Roma, onde fez contato com E. Fermi. Em Leiden, para onde mais uma vez retornou, colaborou com S. Goudsmit e, juntos, descobriram o spin do elétron. Depois de fazer seu Ph. D., em 1927,

foi convidado para a Universidade de Michigan, onde permaneceu até 1935. Retornou aos Países Baixos, desta vez como professor de física em Utrecht. Em 1938, ficou por um ano na Columbia University, e, depois de um breve retorno à Holanda, voltou definitivamente para os EUA, em 1939, pouco antes do início da guerra. De 1943 a 1945, trabalhou no MIT, em Chicago. Depois, foi professor na Universidade de Michigan, até 1954, e, a partir de 1960, no Rockefeller Institute de New York, onde permaneceu até sua aposentadoria, em 1971. Morreu em Boulder, Colorado, em 31 de outubro de 1988.

ULAM, STANISLAW

Stanislaw Ulam nasceu em Lemberg (então, Império Austro-Húngaro, depois Polônia e atualmente Ucrânia), em 3 de abril de 1909. Precocemente, demonstrou interesse pela ciência e, em 1927, entrou no Politécnico de Lvov (Lemberg). Em 1933, obteve seu Ph. D. Em 1935, foi convidado por von Neumann a visitar o Institute for Advanced Study, em Princeton. Dali, dirigiu-se para a Universidade de Harvard e, depois, para a Universidade de Wisconsin. Em 1943, tornou-se cidadão americano. Nesse mesmo ano, foi convidado por von Neumann a participar da construção da bomba atômica, em Los Alamos. Ali resolveu o problema do detonador da bomba a fusão. Ficou em Los Alamos até 1965. Então, foi convidado para dirigir o Departamento de Matemática da Colorado University. Morreu em 13 de maio de 1984, em Santa Fé.

UREY, HAROLD

Harold Clayton Urey nasceu em Walkerton, Indiana, em 29 de abril de 1893. Em 1914, entrou na Universidade de Montana. Em 1921, depois de ter trabalhado na indústria, entrou na Universidade da Califórnia, onde obteve seu Ph. D. em química, em 1923. Em 1924, foi para

Copenhague, para trabalhar com N. Bohr. No seu retorno, atuou como professor-associado de química na John Hopkins University. Em 1929, passou a professor-associado na Columbia University, onde se tornou titular, em 1934. No mesmo ano, obteve o Prêmio Nobel de Química, pela descoberta do deutério e da água pesada. Durante a guerra, desempenhou um importante papel na separação isotópica do urânio. Em 1945, foi para o Instituto de Estudos Nucleares, de Chicago. Harold Urey morreu em 5 de janeiro de 1981.

WALCHER, WILHELM

Wilhelm Walcher nasceu em 1910. De 1929 a 1935, estudou na Universidade de Munique e no Politécnico de Berlim. De 1933 a 1937, foi assistente na Universidade de Berlim. Em 1937, formou-se no Politécnico de Berlim, com Kopfermann. De 1937 a 1942, foi assistente de Kopfermann na Universidade de Kiel, onde, em 1937, desenvolveu um espectrômetro de massa para a separação isotópica. Trabalhou no âmbito do Uranverein desenvolvendo dois espectrômetros de massa para a separação isotópica. O projeto não foi levado a termo antes do fim da guerra. De 1942 a 1947, foi *lecturer* na Universidade de Göttingen, e, a partir de 1948, foi professor-titular na Universidade de Marburg. Assinou o documento dos 18 de Göttingen contra o rearmamento nuclear da Alemanha. Faleceu em Marburg, em 9 de novembro de 2005.

WATAGHIN, GLEB

Gleb Wataghin nasceu em Birsula, próximo a Kiev (Ucrânia), em 1899. O pai era um engenheiro e trabalhava para as ferrovias imperiais russas. Formou-se em Kiev, em 1919, e, logo depois, fugiu com a família em razão da revolução russa, e chegou a Turim como refugiado. Não obstante as inúmeras dificuldades por que passou, formou-se em Turim:

em física, em 1922, e em matemática, em 1924. Nos anos seguintes, ensinou na Reale Accademia di Artiglieria e Genio, no Politécnico e na Universidade de Turim. No período de 1920 a 1930, foi um dos primeiros a conhecer, estudar e ensinar a teoria dos quanta. Naturalizou-se italiano na década de 1920. Em 1932, com uma bolsa de estudos, foi para Cambridge, e depois para Copenhague. Em 1934, aceitou o convite para se instalar em São Paulo e ali fundar a física. Desenvolveu um trabalho excepcional, tendo ficado no Brasil até 1949. Retornou à Universidade de Turim, para cujo crescimento muito contribuiu, e onde permaneceu até 1974. Wataghin morreu em Turim, em 1986.

WEISSKOPF, VICTOR

Victor Weisskopf nasceu em 19 de setembro de 1908, em Viena, em uma família judia. Estudou na Universidade de Viena até 1931 e, a seguir, foi para a Universidade de Göttingen, onde obteve seu Ph. D. sob a orientação de Max Born. Em seguida, foi para a Universidade de Berlim, onde trabalhou com Schrödinger, e para Zurique, com W. Pauli. Em 1933, foi para Copenhague, para trabalhar com N. Bohr. Em 1936, passou um breve período de trabalho na Rússia, mas, desiludido, Weisskopf emigrou para os Estados Unidos, em 1937, por causa do nazismo, tendo sido admitido pela Universidade de Rochester, por recomendação de Niels Bohr. Tornou-se cidadão americano em 1943. No ano seguinte, foi envolvido no Projeto Manhattan, em Los Alamos. Em 1946, tornou-se professor de física no MIT, onde trabalhou até 1960. De 1961 a 1965, foi diretor-geral do Cern. Retornou, então, ao MIT, onde ficou até 1973. Em 1973, foi eleito para a Academia Pontifícia e, juntamente com seu presidente, Carlos Chagas, persuadiram o Papa a declarar-se oficialmente contra as armas nucleares. Weisskopf foi, também, como diletante, pianista e regente de orquestra (gostava de dizer que suas paixões eram Mozart e a mecânica quântica). Morreu em abril de 2002.

WEIZEL, WALTER

Walter Weizel nasceu em 1901. Estudou química em Göttingen, Munique e Heidelberg. Formou-se em Heidelberg e, depois, passou a estudar física, para, então, começar a trabalhar com mecânica quântica. Obteve seu Ph. D. na Universidade de Rostock, em 1928. Em 1931, foi para Chicago, com uma bolsa de estudos. A partir de 1931, foi professor de física teórica no Politécnico de Karlsruhe. Pediu demissão, pois se opunha ao nacional-socialismo, mas, em 1936, foi convidado como professor-titular para a Universidade de Bonn. Em 1942, publicou um pequeno livro de crítica ao livro de W. Müller (Ed.) *Jüdische und Deutsche Physik,* de 1941. Depois da guerra, participou da realização do Centro Nuclear de Jülich. Também foi representante do Partido Social-Democrático no Parlamento. Morreu em 1982.

WEIZSÄCKER, CARL FRIEDRICH von

Carl Friedrich von Weizsäcker nasceu em 1912. De 1929 a 1933, estudou nas universidades de Berlim, Göttingen e Leipzig. Em 1933, formou-se com W. Heisenberg. A partir de 1934, foi assistente de Heisenberg em Leipzig e tornou-se seu colaborador mais confiável. A partir de 1937, foi *lecturer* na Universidade de Berlim. Entre 1936 e 1942, trabalhou no KWIP, como substituto de Delbrück. Em 1936, elaborou a fórmula da *packing mass fraction*. Em 1939, trabalhou com Flügge e Houtermans na teoria da fissão nuclear, e, em 1940, colocou em evidência a importância do plutônio como possível combustível nuclear. De 1942 a 1944, foi professor de física teórica na Universidade de Estrasburgo. Seu pai, Ernst, foi, durante a guerra, a segunda autoridade do Ministério do Exterior, e, a partir de abril de 1943, foi embaixador junto ao Vaticano. O irmão Rudolf foi presidente da República da Alemanha, de 1984 a 1994. Em 1945, Carl Friedrich foi detido em Farm Hall.

De 1946 a 1957, foi professor na Universidade de Göttingen e, também, diretor do Instituto de Física Max Planck da mesma cidade. De 1959 a 1969, foi professor de filosofia na Universidade de Hamburgo, e, de 1969 a 1980, diretor do Instituto Max Planck na mesma cidade. Morreu em 2007.

WENTZEL, GREGOR

Gregor Wentzel nasceu em 17 de fevereiro de 1898, em Düsseldorf. Em 1920, iniciou seus estudos na Universidade de Munique, com A. Sommerfeld. Ali encontrou-se com Heisenberg e Pauli. Completou seus estudos em 1922. Nesse período, dedicou-se ao estudo dos raios X. Em 1926, tornou-se professor de física-matemática na Universidade de Leipzig. No mesmo ano, foi convidado a suceder Schrödinger em Zurique, onde reencontrou Pauli. Em 1933, publicou o artigo *Mecânica ondulatória das colisões e da radiação*. Enquanto durou a II Guerra Mundial, substituiu W. Pauli, que estava em Princeton, no magistério. Em 1943, publicou *Introdução à teoria quântica dos campos*. De 1946 a 1970, foi professor na Universidade de Chicago. Morreu em 2 de agosto de 1978, em Ascona.

WESCH, LUDWIG

Ludwig Wesch nasceu em 1909. Estudou em Munique e Heidelberg, onde assistia às aulas de P. Lenard. Foi membro das SS e conseguiu, com a ajuda de Lenard, tornar-se professor-associado de física teórica na Universidade de Heidelberg. De 1943 a 1945, foi professor-titular de física técnica na Universidade de Heidelberg. Foi representante da física ariana.

WHEELER, JOHN

John Wheeler nasceu em 9 de julho de 1911, em Jacksonville, Flórida. Desde muito jovem demonstrou grande interesse pela ciência. Estudou

na John Hopkins University, de Baltimore, onde se formou em física, em 1933. Em 1938, transferiu-se para Princeton, onde se tornaria docente de física teórica, em 1947. Em 1939, trabalhou com Niels Bohr. Publicaram juntos vários trabalhos sobre a teoria completa da fissão nuclear. De 1942 a 1945, trabalhou para o Projeto Manhattan, e, depois, participou da construção da bomba de hidrogênio.

WIDERÖE, ROLF

Rolf Wideröe nasceu em 11 de julho de 1902, em Oslo. Estudou eletrotécnica na TH de Karlsruhe. Ali, ainda estudante, intuiu, pela primeira vez, a forma como acelerar partículas carregadas em um campo eletromagnético, tanto com uma trajetória linear (*linac*) quanto com uma trajetória circular (*bétatron*). Fez sua livre-docência na Universidade de Aachen, em 1928, com uma tese na qual explorou essas ideias. A partir de 1933, trabalhou para uma sociedade norueguesa ligada à Brown-Boveri. No período de 1943 a 1945, trabalhou para a aviação alemã, na construção de um acelerador. Em 1943, desenvolveu o conceito de *storage ring*. Depois da guerra, foi preso por um breve período. A partir de 1948, tornou-se docente na ETH de Zurique. Depois, acompanhou, por anos, a construção de vários aceleradores na Europa, entre os quais o do Cern e o de Desy, em Hamburgo. Pouco reconhecido como pioneiro dos aceleradores, Wideröe morreu em 11 de outubro de 1996.

WIEN, WILHELM

Wilhelm Wien nasceu em Fischhausen (Prússia Oriental), em 13 de janeiro de 1864. Em 1882, iniciou seus estudos na Universidade de Heidelberg, e, depois, deu continuidade a eles em Berlim, com Helmholtz. Em 1886, formou-se com uma tese sobre a difração da luz. Ficou em Berlim até 1896, quando substituiu Lenard, como professor em Aachen.

Em 1900, tornou-se professor de física em Würzburg, como sucessor de Röntgen. Em 1920, foi convidado para a Universidade de Munique, onde permaneceu até o fim de sua vida. A sua atividade científica foi bastante variada: da termodinâmica (fórmula de Wien do corpo negro) aos raios catódicos, às medidas da relação e/m para o elétron, aos raios-canal, etc. Em 1911, lhe foi dado o Prêmio Nobel de Física. Wilhelm Wien morreu em Munique, em 30 de agosto de 1928.

WIEN, MAX

Max Wien nasceu em 1866. Estudou nas universidades de Königsberg, de Freiburg e de Berlim. Em 1888, formou-se em Berlim, em acústica, sob a orientação de H. von Helmholtz. A partir de 1892, foi assistente de Röntgen, em Würzburg, onde fez sua habilitação. Em 1898, foi professor-associado no Politécnico de Aachen, e, a partir de 1904, foi professor-titular no Politécnico de Danzig. De 1911 a 1935, foi professor na Universidade de Jena. Nos períodos de 1918 a 1919 e de 1924 a 1925, foi presidente da Sociedade Alemã de Física, e, em 1934 e em 1936, escreveu um memorando sobre o declínio dos estudos de física durante o nacional-socialismo. Morreu em 1938.

WIGNER, EUGENE

Jenö Wigner, que depois americanizou seu nome para Eugene, nasceu em Budapeste, em 17 de novembro de 1902, em uma família judia. Em 1925, formou-se na Technische Hochschule de Berlim. Depois, emigrou para os Estados Unidos, e, em 1937, obteve a cidadania americana. A partir de 1938, foi professor de física-matemática na Universidade de Princeton. Durante a II Guerra Mundial, participou do Projeto Manhattan, na Universidade de Chicago, dando uma notável contribuição, que suplantou ateoria. Seus dotes de engenheiro fizeram que ele projetasse

o reator de Hanford, de 500 MW, o qual deveria ser capaz de produzir 500 g de plutônio por dia, empregando apenas 22 t de urânio, o que, naquela época, era escasso (com essa base, a du Pont construiu três reatores de 250 MW). Foi muito ligado a outros grandes húngaros, como Szilàrd, Teller e von Neumann. Em 1939, acompanhou Szilàrd, como motorista, em suas visitas a Einstein. Em 1963, recebeu o Prêmio Nobel de Física. Wigner morreu em 1995.

WILSON, CHARLES THOMSON REES

Charles Thomson Ree Wilson nasceu em 14 de fevereiro de 1869, em Glencorse, cidade vizinha a Edimburgo. Em 1988, iniciou seus estudos de biologia em Cambridge, com uma bolsa de estudos. Em 1892, completou a primeira fase dos estudos, mas decidiu transferir-se para a física. Em 1894, já havia observado, no cume de Ben Nevis, as gotículas de água que se formavam por causa da neblina. Tornando-se estudante de Clerk Maxwell, pôde dedicar-se, nos anos seguintes (de 1895 a 1900), ao estudo desses fenômenos, o que o levou, em 1911, ao desenvolvimento da câmara de neblina. Em 1923, essa câmara atingiu seu máximo desenvolvimento, com Wilson. De 1900 a 1918, foi docente do Laboratório de Física do Cavendish Laboratory; em 1923, foi *lecturer* de meteorologia elétrica; e, em 1925, professor de natural philosophy. Em 1927, Wilson recebeu o Prêmio Nobel de Física. C. T. R. Wilson morreu em 1959.

WILSON, ROBERT RATHBUN

Robert Rathbun Wilson nasceu em Frontier, Wyoming, em 1914. Em 1932, foi para o Radiation Laboratory da University of California, Berkeley, dirigido por E. Lawrence. Wilson entrou em conflito com ele por muitas vezes, até o momento em que ele, Wilson, transferiu-

se para Princeton. Ali desenvolveu, com H. D. Smith, um método alternativo de separação dos isótopos de urânio. Foi convidado por R. Oppenheimer para dirigir o Grupo Cíclotron, em Los Alamos. Depois do bombardeamento de Hiroshima e Nagasaki, contribuiu para a fundação da Alas, uma associação para o controle da energia atômica. Em 1947, foi para Cornell. Em 1967, assumiu a direção do National Accelerator Laboratory, na Batávia, e, depois, foi para o Fermilab de Chicago, onde ficou até 1978. R. R. Wilson morreu em Itaha, em janeiro de 2000.

WIRTZ, KARL

Karl Wirtz nasceu em 1910. Estudou física, química e matemática nas universidades de Bonn, Freiburg e Breslau. De 1935 a 1937, foi assistente de C. F. Bonhoeffer, em Leipzig. Ali conheceu Heisenberg, de quem se tornou amigo. Foi membro da NSLB, mas não do Partido Nacional-Socialista. Formou-se em 1938, na Universidade de Berlim, com uma tese sobre a produção eletrolítica da água pesada. A partir de 1937, tornou-se pesquisador no KWIP, onde, em 1940, trabalhou com a Uran Maschine (com F. Bopp e E. Fischer). Em 1945, foi detido em Farm Hall. Disseram sobre ele, os seus carcereiros ingleses: "A clever egoist. Very friendly on the surface, but cannot be trusted. He will cooperate only if it is made woth his while". A partir de 1946, foi para o M. Planck Institut de Física de Göttingen. De 1957 a 1979, foi professor-titular de física do reator no Politécnico de Karlsruhe e diretor do Instituto no Centro Nuclear de Karlsruhe. Morreu em 1994.

WU, CHIEN-SHIUNG

Chien-Shiung Wu nasceu em 31 de maio de 1912, próximo a Shangai. Entrou na National Central University de Nanquim, onde se formou em 1934. Em 1936, foi para a Universidade da Califórnia, Berkeley, onde,

em 1940, fez seu Ph. D. com E. Segré. Entre 1949 e 1960, dedicou-se ao estudo dos espectros beta, confirmando a teoria de Fermi. Em 1960, concluiu, com Lee e Mo, o famoso experimento sobre a não conservação da paridade com uma fonte de Co-60. Isso deu lugar a uma série de experiências, que culminaram com as conclusões de Lee e Yang, e que levaram os dois autores a receber o Prêmio Nobel. Mme. Wu morreu em 16 de fevereiro de 1997.

YUKAWA, HIDEKI

Hideki Yukawa nasceu em Tóquio, em 23 de janeiro de 1907, filho de um professor de geologia. Em 1929, formou-se em física, na Universidade de Tóquio. De 1932 a 1939, foi *lecturer* na Universidade de Kyoto, e, depois, professor-associado na Universidade de Osaka. A partir de 1939, foi professor de física teórica na Universidade de Kyoto. Em 1935, publicou um trabalho fundamental – *On the interaction of elementary particles –,* no qual propôs uma nova teoria dos campos nucleares e postulou a existência do méson. De 1948 a 1949, foi professor-visitante em Princeton e na Columbia University. Em 1949, recebeu o Prêmio Nobel de Física. Yukawa morreu em 1981.

ZEEMAN, PIETER

Pieter Zeeman nasceu em 25 de maio de 1865, na ilha de Schouwen, na Zelândia, Países Baixos. Entrou na Universidade de Leiden em 1885, e onde se tornou aluno de Kamerlingh Onnes e Lorentz. Fez seu Ph. D. em 1893. Em 1897, descobriu o *splitting* das linhas espectrais em um campo magnético. No mesmo ano, foi convidado a ir a Amsterdã e, em 1900, foi nomeado professor extraordinário. Em 1908, sucedeu Van der Waals, que se aposentara. Em 1923, foi criado um grande instituto especialmente para ele. Aposentou-se em 1935. Sua importante atividade

científica inclui a descoberta de novos isótopos com o espectrômetro de massa, e o efeito Doppler em ótica e nos "raios-canal". Morreu em outubro de 1943.

ZINN, WALTER

Walter H. Zinn nasceu em 1907. A sua carreira em física nuclear começou em 1939, quando Niels Bohr chegou aos Estados Unidos levando a notícia da "descoberta" da fissão. Walter Zinn, que, na época, pesquisava na Columbia University, confirmou, com o cíclotron, os experimentos da fissão. A seguir, junto com L. Szilàrd, mostrou a possibilidade de ter uma reação em cadeia. Quando os trabalhos do Projeto Manhattan foram transferidos para Chicago, Zinn acompanhou Fermi na condição de seu principal assistente. Em dezembro de 1942, foi um dos "atores" principais do primeiro reator nuclear. De 1946 a 1956, foi diretor do Centro Nuclear Argonne. Morreu em Clearwater, Flórida, em 14 de fevereiro de 2000.

Podem ser feitas algumas considerações do tipo estatístico em relação às biografias relatadas.

1) Pode-se calcular uma vida média de 79 ± 12 anos bastante maior que a expectativa de vida para quem nasceu aproximadamente entre os anos 1890 e 1910, que girava em torno dos 50 anos. Esse dado pode ter várias explicações e pode ser devido tanto ao nível econômico, geralmente elevado dos cientistas e das famílias das quais provinham, quanto, talvez, do tipo de trabalho, prazeroso e gratificante, que desenvolviam.

2) Fazendo-se um gráfico do número de cientistas conforme o ano de nascimento, vê-se que há um pico bastante importante entre 1895 e 1910, aproximadamente, com um ponto máximo em torno de 1900. A maior parte deles, nascida entre 1895 e 1910, vivenciou duas guerras mundiais, e muitos deles, uma ou mais ditaduras.

3) O número de cientistas do sexo feminino é extremamente baixo: 6, em um total aproximado de 200, ou seja, cerca de 3%.

Anexo 7

INSTITUIÇÕES E SIGLAS CITADAS

ALSOS: O nome, de origem grega, que significa "moita", corresponde ao inglês *grove* ("arvoredo"), o qual certamente foi inspirado no nome do gal. Groves, chefe do Projeto Manhattan.

DFG: Deutsche Forschungs-Gemeinschaft
Associação Alemã para o Progresso da Ciência. Durante o nazismo, foram seus presidentes: J. Stark (1934-1936), R. Menzel (1936-1939) e A. Esau (1939-1945).

DPG: Deutsche Physikalische Gesellschaft
Sociedade Alemã de Física. Durante o nazismo, foram seus presidentes: M. von Laue (1931-1933), P. Debye (1937-1939) e K. Ramsauer (1940-1945).

HWA: Heereswaffenamt
Escritório de Abastecimento do Exército.

KWG: Kaiser Wilhelm Gesellschaft (depois da II Guerra Mundial, Max Planck Gesellschaft)
Sociedade Imperador Guilherme. Entre outros, foram seus presidentes: M. Planck (1930-1937) e O. Hahn (1946-1959).

KWGFW: KWG zur Förderung der Wissenschaft
KWG para o Progresso das Ciências.

KWIC: Kaiser Wilhelm Institut für Chemie (em Berlin-Dahlem)
Instituto K. W. de Química. Otto Hahn foi seu diretor de 1928 a 1946.

KWIP: Kaiser Wilhelm Institut für Physik (em Berlin-Dahlem)
Instituto K. W. de Física. Foram seus diretores: A. Einstein (1914-1922), P. Debye (1933-1939) e W. Heisenberg (1941-1945).

MANHATTAN PROJECT: nome do projeto de construção da bomba atômica americana.

MAUD: Nome em código do primeiro projeto britânico de avaliação da possibilidade de construção de uma bomba atômica (Maud era o nome de uma antiga babá de um dos participantes do projeto).

NG: Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft (a partir de 1937, DFG)
Associação Alemã de Ciência (trabalha com financimentos de pesquisa). Foram seus presidentes: Schmidt-Ott (1920-1934), J. Stark (1934-1936), R. Menzel (1936-1939) e A. Esau (1939-1945).

NSDAP: Nazionalsozialistische Deutsche Arbeiterpartei

Partido Nacional-Socialista dos Trabalhadores Alemães.

NSDDB: Nazionalsozialistische Deutscher Dozentenbund

Associação Alemã dos Docentes Universitários Nacional-Socialistas.

PTR: Physikalisch-Technische Reichsanstalt (equivalente ao National Bureau of Standards). Foram seus presidentes: F. Paschen (1924-1933), J. Stark (1933-1939) e A. Esau (1939-1945).

REM: Reichserziehungsministerium
Ministério da Educação do Reich. Foi ministro, a partir de 1934, B. Rust.

RFR: Reichforschungsrat
Conselho Nacional de Pesquisa. Foi seu presidente, a partir do ano de sua fundação, 1937, o gal. K. Becker.

RPM: Reichspostministerium
Ministério dos Correios do Reich. Foi ministro, a partir de 1937, W. Ohnesorge.

TUBE ALLOYS: Nome em código do programa britânico de construção de uma bomba atômica.



Na Livraria Embrapa, você encontra
livros, fitas de vídeo, DVDs e
CD-ROMs sobre agricultura,
pecuária, negócio agrícola, etc.

Para fazer seu pedido, acesse
www.embrapa.br/liv

ou entre em contato conosco
Fone: (61) 3448-4236
Fax: (61) 3448-2494
vendas@sct.embrapa.br

Impressão e acabamento
Embrapa Informação Tecnológica

O papel utilizado nesta publicação foi produzido conforme a certificação da Bureau Veritas Quality International (BVQI) de Manejo Florestal.

Foto da capa

Um mosaico de Cassiopeia
Mosaico de imagens da constelação da Cassiopeia, do *Wide-Field Infrared Survey Explore* (Wise), que contém a Nebulosa IC 1805 ou Nebulosa Coração, geradora de estrelas dentro da Via Láctea.

Foto: NASA/JPL-Caltech/UCLA.

Foto da 4ª capa

Um jovem pulsar mostra sua "mão"
Nebulosa de raios X, captada pelo Observatório de Raios X Chandra, da Nasa, em cujo centro está o jovem e poderoso pulsar PSR B1509-58.

Foto: NASA/CXC/CfA/P. Slane et al.



Embrapa

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

BRASIL UM PAÍS DE TODOS GOVERNO FEDERAL

ISBN 978-85-7383-484-0

CGPE 8562