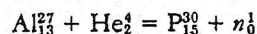


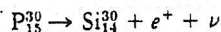
“Nossas mais recentes experiências mostraram um fato espantoso. Quando uma lâmina de alumínio é irradiada sobre uma preparação de polônio, a emissão de pósitrons não pára logo que a preparação é removida. A lâmina permanece radioativa e a emissão da radiação decai exponencialmente como um radioelemento ordinário. Observamos o mesmo fenômeno com boro e magnésio...”

O artigo de uma página consubstanciava a previsão de Rutherford segundo a qual as decepções passadas por Curie e Joliot logo seriam compensadas por alguma coisa de importância. De fato, os dois tinham realizado uma das mais fundamentais descobertas do século, a radioatividade artificial. Foram laureados com o Prêmio Nobel e espero que se tenham sentido recompensados por terem perdido o nêutron e o pósitron. Neste ponto, talvez eu pudesse sugerir a cientistas experimentais que se concentrassem em artigos curtos e substanciosos. O Comitê do Prêmio Nobel parece preferir publicações de uma página, em contraste com os comitês de promoção das universidades, que, às vezes (embora eu creia que isso ocorra raramente), supostamente julgam pelo peso do papel!

Os Joliot imediatamente constataram a natureza química das novas substâncias radioativas, separando-as do alvo por meios radioquímicos padrão. Assim, acharam que as reações nucleares que tinham produzido eram



onde o isótopo radioativo do fósforo  $\text{P}_{15}^{30}$  tem meia-vida de cerca de 3 minutos e decai de acordo com a reação



Os índices superior e inferior que se seguem aos símbolos químicos são o número de massa e o número atômico,  $Z$ . As reações nucleares quase sempre são expressas de uma forma mais concisa introduzida por Bothe. A formação de  $\text{P}_{15}^{30}$  seria expressa pelo símbolo  $\text{Al}_{13}^{27}(\alpha, n)\text{P}_{15}^{30}$ , onde o primeiro símbolo indica o alvo; o primeiro entre parênteses, o projétil; o segundo entre parênteses, a partícula que sai; e o último símbolo, o produto da reação.

As conseqüências da descoberta da radioatividade artificial são imensas. Muito apropriadamente, Madame Curie, então mortalmente enferma conseguiu escrever o seguinte a sua filha: *Nous voici revenus aux beaux temps du vieux laboratoire* [“Voltamos aos bons tempos do velho laboratório”]. Mal teve tempo de inserir um curto parágrafo sobre radioatividade artificial na nova edição de seu tratado sobre radioatividade, que foi publicado depois de sua morte.

## Enrico Fermi e a energia nuclear

Enrico Fermi nasceu em Roma, em 29 de setembro de 1901, filho de Alberto Fermi, funcionário administrativo do departamento de ferrovias da Itália, e sua mulher, Ida de Gattis, ex-professora primária. O avô de Fermi foi agricultor nos arredores da Piacenza, ao norte da Itália, mas, através de trabalho árduo e de extrema parcimônia, a família melhorou suas condições financeiras e, à época do nascimento de Enrico, já tinha alcançado um nível de vida modesto, mas seguro.

Enrico cresceu em Roma e ali frequentou a escola secundária. Era estudante exemplar, o primeiro em todas as matérias. Em criança, descobriu seu grande interesse pela matemática e pela física. Aos dez anos de idade, após ouvir em uma conversa entre adultos que a equação  $x^2 + y^2 = r^2$  representava um círculo, conseguiu, sozinho, descobrir o significado da afirmação.

Fermi tinha um irmão pouco mais velho do que ele, considerado o mais brilhante dos dois. Aos quinze anos de idade, o irmão morreu inesperadamente, em um trágico acidente cirúrgico, e Enrico, muito apegado a ele, sofreu um grande choque. Após um certo período de tristeza, fez amizade com Enrico Persico, colega de escola do irmão. Os dois continuaram amigos durante toda a vida e estavam destinados a ser os primeiros professores de física teórica da Itália.

O pai de Fermi era amigo de Adolfo Amidei, também funcionário do departamento de ferrovias da Itália, que tinha considerável nível de conhecimento técnico. Quando Amidei conheceu Enrico, este tinha cerca de quatorze anos de idade, logo reconheceu suas raras habilidades. Amidei emprestou ao jovem seus próprios livros de matemática e de engenharia e orientou-o na leitura das obras. O jovem Enrico rapidamente adquiriu sólida formação matemática estudando em livros de álgebra, análise e geometria, e resolvendo inúmeros problemas, muitos dos quais não eram nada simples, segundo seu instrutor. Quando Enrico concluiu a escola secundária, Amidei sugeriu-lhe que procurasse fazer concurso para uma universidade oficial, a Scuola Normale Superiore, em Pisa. Fermi concordou e facilmente colocou-se em primeiro lugar no exame. Os arquivos da Scuola Normale ainda guardam suas provas de admissão.

A redação da prova era "Características do Som". Após uma introdução de meia página, o candidato começou a tratar do exemplo de uma haste em vibração, com todos os detalhes possíveis. Formulou a equação diferencial da haste, achou seus autovalores e autofunções, desenvolveu seus movimentos segundo a análise de Fourier, e assim por diante. Poucos candidatos a PhD na época desenvolveram o tema com tal nível de sofisticação, escrevendo diretamente e sem auxílio de nenhum livro. Além do mais, sem nenhum erro. O examinador, Professor Pittarelli, ficou abismado e decidiu entrevistar o candidato, embora não se exigisse exame oral para a admissão na Scuola. Depois de conversar com ele, Pittarelli disse a Fermi que, em sua longa carreira de professor, nunca tinha encontrado ninguém como o jovem estudante, que Fermi com certeza seria aprovado no concurso e que, ao que tudo indicava, teria pela frente uma brilhante carreira. Fermi contou-me esse fato demonstrando seu reconhecimento pelo estímulo que lhe deu o Professor Pittarelli.

Na Scuola Normale, Fermi estudava sozinho; seus professores eram os livros que descobria na biblioteca. Em cartas a Persico, relatava detalhadamente os progressos que estava fazendo. Após um ano, segundo suas declarações ao amigo (e não era do tipo de vangloriar-se), passou a ser considerado a maior autoridade em relatividade e em teoria quântica da Scuola de Pisa. Fermi conseguiu fazer outro amigo em Pisa, Franco Rasetti, de quem falarei mais adiante. Logo depois de receber o grau de doutor, em 1922, voltou a viver com a família, em Roma, onde fez uma visita ao diretor do Instituto de Física da Universidade (Figuras 10.1 e 10.2). Eis a descrição que o próprio Fermi faz do encontro entre os dois:

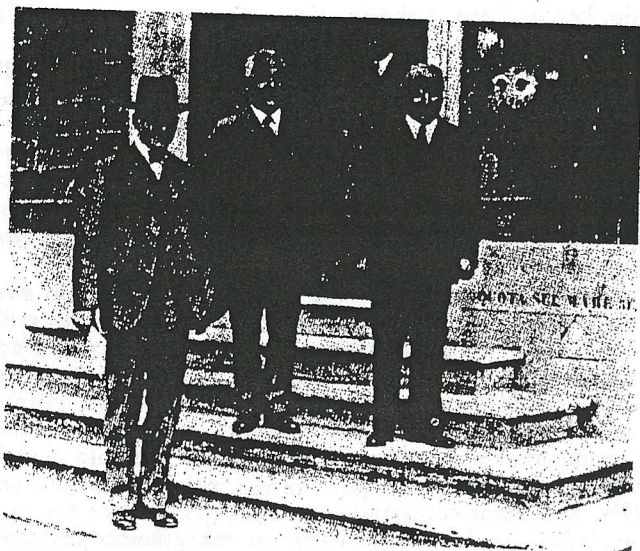


Figura 10.1. Orso Mario Corbino, físico e político (à direita). Com Corbino estão A. Sommerfeld (ao centro) e R. A. Millikan (à esquerda). Foi Corbino quem conseguiu uma cátedra em física teórica para Enrico Fermi, na Universidade de Roma, e estimulou a criação de um centro de física em Roma. (Instituto de Tecnologia da Califórnia.)

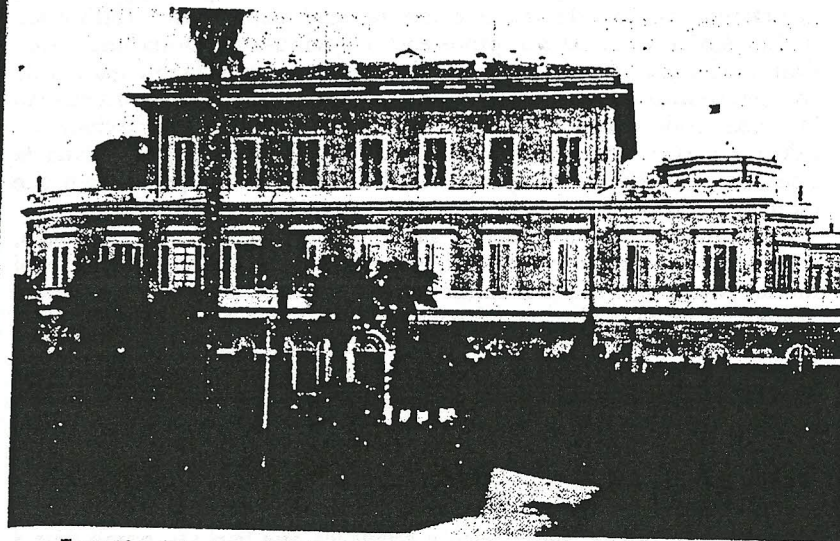


Figura 10.2. O Instituto de Física em Roma, na Via Panisperma.

"Conheci o Senador O. M. Corbino quando voltei a Roma, em 1922, logo depois de ter-me graduado. Eu estava então com vinte anos de idade e Corbino com quarenta e seis. Era Senador do Reino, fora Ministro da Instrução Pública e, além do mais, tinha fama internacional como uma das mais proeminentes personalidades do mundo intelectual. Assim, foi com um compreensível nervosismo que me apresentei, mas esse nervosismo logo desapareceu quando ele começou a falar sobre meus estudos de uma forma cordial e interessante. Nesse período conversávamos praticamente todos os dias e entabulávamos discussões científicas que ajudaram não apenas a esclarecer muitas idéias que ainda me eram obscuras, mas também a produzir em mim uma profunda veneração de aluno para com o professor. Essa veneração foi crescendo com o passar dos anos em que tive o privilégio de trabalhar em seu laboratório. Creio que são sentimentos comuns a todos que dele se aproximavam. Sua cordialidade, a maneira inteligente e sagaz com que expressava mesmo verdades desagradáveis sem a mínima descortesia, sua total sinceridade e o interesse real que demonstrava por problemas tanto de natureza científica quanto de natureza humana provocavam imediata admiração e apreço por ele". [Fermi, *Collected Papers*, vol. 1, p. 1017 (University of Chicago Press, 1962).]

#### Descobertas em Roma

Corbino tinha um sonho: ressuscitar a física na Itália. A ciência que ele tanto amava passara por um período de intensa calmaria durante quase um século em seu país, depois do grande esplendor de que tinha usufruído à

época de Volta e Avogadro. Corbino, homem inteligente, generoso e inteiramente desprovido de ciúme, logo viu em Fermi o meio de realizar seu sonho. Assim, estimulou-o, protegeu-o e ajudou-o de forma incansável. Com uma bolsa de estudos concedida pelo Governo italiano e mais tarde com uma outra da Fundação Rockefeller, Fermi foi para a Alemanha e para a Holanda, onde entrou em contato com a comunidade internacional de físicos. Foi assim que emergiu materialmente de sua casca provinciana da Itália, da qual já tinha escapado mentalmente durante o período em que estudou em Pisa.

Na Alemanha, Fermi passou algum tempo com Born, em Göttingen, onde conheceu Heisenberg e Pauli, mas essa estada, de modo geral, não foi muito proveitosa, pois Fermi continuou bastante isolado. Teve mais sorte em Leyden, onde Ehrenfest reconheceu sua capacidade e estimulou-o intensamente. Ao voltar para a Itália, Fermi arranhou um emprego temporário como professor em Florença. Após insignificante fracasso em um concurso para uma cátedra na Sardenha, conseguiu, através de Corbino, uma cátedra de física teórica na Universidade de Roma. Era o principal centro italiano dessa matéria e Fermi foi o primeiro indicado para ocupá-la. Ao mesmo tempo, Persico seguiu para Florença, onde ocuparia uma outra cátedra recém-criada de física teórica. Já em 1927, Fermi havia alcançado fama internacional, por ter descoberto a estatística que leva seu nome, que é aplicável a partículas que obedecem ao princípio da exclusão de Pauli.

No Capítulo V vimos como Bose e Einstein tinham mostrado as alterações necessárias na mecânica estatística clássica para explicar essas partículas. Especificamente, Bose aplicou essas idéias aos *quanta* de luz e Einstein às moléculas. Mas o método de contagem de ambos não considerava as restrições impostas pelo princípio de exclusão, que então ainda era desconhecido. As estatísticas Bose-Einstein são válidas para partículas que não estão sujeitas a tal restrição; todas essas partículas, chamadas bósons, têm spin inteiro. As partículas de spin semi-inteiro são sujeitas ao princípio de exclusão e para elas se deve fazer uso da estatística de Fermi. Tais partículas são chamadas férmions. Pelo fato de os elétrons, prótons e nêutrons, entre outros, serem férmions, a estatística de Fermi tem uma aplicação muito ampla; é fundamental, por exemplo, para o estudo dos metais.

Estabelecido em Roma, Fermi conseguiu, sempre com a ajuda de Corbino, uma nomeação para Franco Rasetti (nascido em 1902) e os dois começaram a reunir a sua volta um grupo promissor de estudantes. Em ordem cronológica, eu, Ettore Majorana, Edoardo Amaldi e outros, todos ansiosos e aptos para aprender, viemos a fazer parte desse pequeno grupo. No início a escola de Roma atuou sobretudo na área de espectroscopia óptica e de teoria atômica, mas, quando Fermi e seus amigos perceberam que as novas disciplinas eram mais promissoras e que o futuro estava na física nuclear, mudaram de rumo. Essa mudança, naturalmente, significou tempo e esforço mas no final valeu a pena.

Já vimos como, em fins de 1933, Fermi conseguiu solucionar um problema teórico fundamental — o decaimento beta. Esse trabalho foi muito importante, não apenas por seus próprios resultados, mas também porque

serviu de inspiração e modelo para H. Yukawa e sua teoria de interações fortes, de que trataremos no Capítulo XII. A teoria de Fermi sobre o decaimento beta tem enfrentado o teste do tempo e, de fato, parece ir adquirindo importância cada vez maior.

Roma adquiriu reputação e transformou-se em importante centro mundial de física experimental, bem como de física teórica. Eis como tudo ocorreu:

Fazia-se necessário um melhoramento da exploração total da grande descoberta da radioatividade artificial: o uso de nêutrons como projéteis. Em suas experiências pioneiras, Curie e Joliot conseguiram cerca de uma desintegração para cada milhão de partículas alfa colidentes sobre o alumínio: A principal razão desse baixo rendimento é que o núcleo do alumínio repele as partículas alfa por ação eletrostática e impede-as de entrar em contato com o núcleo alvo. Ocorreu a Fermi que, no caso dos nêutrons, não ocorre essa repulsão elétrica e o rendimento deve aproximar-se da unidade. Por outro lado, as fontes de nêutrons de emissores alfa radioativos naturais e o berílio emitem pouquíssimos nêutrons por partícula alfa, porque os nêutrons emergem apenas quando ocorre uma desintegração na fonte. O berílio, no entanto, tem o número atômico 4 e assim pode ser penetrado com facilidade. O uso de nêutrons, figurativamente, dá a penetrabilidade do berílio a todo elemento. Especificamente, para elementos de  $Z$  maior do que aproximadamente 10, os nêutrons permitem a única possibilidade de produzir reações com fontes naturais. Essas considerações simples induziram Fermi a tentar usar nêutrons como projéteis, orientação que abriu caminho para descobertas completamente inesperadas.

De início, Fermi começou a irradiar todos os elementos dos quais podia lançar mão, a fim de aumentar o número atômico. Não teve sucesso com o hidrogênio, lítio, berílio, boro, carbono, nitrogênio ou oxigênio, mas foi persistente, e afinal o flúor revelou radioatividade.

Os três anos que se seguiram representaram um período de trabalho intenso e rápido. Fermi e seus colaboradores, Amaldi, O. D'Agostino, Rasetti e eu (e mais tarde também B. Pontecorvo), primeiro descobrimos cerca de quarenta novas substâncias radioativas, o que teve grande importância prática e teórica, proporcionou um grande aumento do material para estudos sobre sistemática nuclear e veio a propiciar traçadores radioativos para praticamente todos os elementos químicos, ajudando assim a revolucionar as técnicas biológicas e químicas.

Na primavera de 1934, irradiamos o elemento mais pesado então conhecido, o urânio. Descobrimos diversas substâncias e períodos radioativos. Para todos os outros elementos, tínhamos observado uma ou mais das reações  $(n, \alpha)$ ,  $(n, p)$  e  $(n, \gamma)$ . Além do mais, mostramos, por meios químicos, que nenhuma das radioatividades produzidas no urânio podia ser atribuída a elementos de número atômico maior do que o do chumbo. Então pensamos ter produzido elementos transurânicos, por exemplo, de  $U^{238}$  através da reação  $(n, \gamma)$  o  $U^{239}$  que, por sua vez, pelo decaimento beta, produziria  $93^{239}$ . Estávamos cometendo um erro, pelo menos em parte; embora fosse verdade que se formavam elementos transurânicos (inclusive a reação descrita acima), o que observávamos era algo bastante diferente.

Nossas experiências foram repetidas e ampliadas por Curie e Joliot em Paris, e por Hahn e Meitner em Berlim. Todos confirmaram a maior parte dos resultados que obtivemos, mas, ao ampliarem as pesquisas, iam descobrindo um número cada vez maior de substâncias e foram obrigados a examinar modos de decaimento cada vez mais complicados. Passou a ser crescentemente difícil formular hipóteses sensatas sobre as relações genéticas entre as substâncias formadas e acrescentá-las no final do sistema periódico. Tínhamos a impressão de estar diante de um mistério, mas naturalmente não nos ocorria o mínimo pressentimento do que poderia ser.

Nossas conclusões foram comunicadas de forma reticente. Fermi sempre insistia em não dar nome aos novos elementos, em virtude de não se sentir seguro da interpretação das experiências. Fermi era membro da Academia Italiana, obra do fascismo, e em 1934 era famoso na Itália, mesmo além dos círculos científicos, embora pessoalmente fosse contra qualquer tipo de publicidade. Acredito que tenha havido sugestões, se não pressões diretas, para a maior glória do regime fascista, no sentido de dar aos novos elementos hipotéticos alguns nomes que lembravam os fascistas, tais como litório (os lictores eram oficiais romanos que tinham o fiasco como insígnia de seu trabalho). Corbino, que sempre tinha uma resposta na ponta da língua, argumentou que os novos elementos tinham vida muito curta e que, assim, não serviriam para celebrar o fascismo. Só em 1938, no discurso do Prêmio Nobel, é que Fermi apresentou nomes tentativos para os novos elementos. O momento não poderia ter sido mais infeliz: naquela mesma época, Hahn e Strassmann estavam descobrindo a fissão nuclear, provando assim que aqueles elementos eram compostos (para falar de forma diplomática) de química pobre.

Mas no outono de 1934 deparou-se-nos uma grande surpresa. Descobrimos, graças não só ao acaso mas também a uma boa dose de observação, que os nêutrons filtrados através da parafina eram muito mais efetivos para produzir reações nucleares do que aqueles que emergiam diretamente de uma fonte de radônio mais berílio. Uma vez estabelecidos os fatos, Fermi apresentou a explicação inesperada de que os nêutrons tinham sua velocidade reduzida por colisão elástica ao passarem através da parafina e que os nêutrons lentos eram muito mais efetivos do que os nêutrons rápidos para produzir certas reações nucleares. No espaço de algumas horas, pudemos verificar essa hipótese e, em 22 de outubro de 1934, na noite do mesmo dia em que tínhamos descoberto o efeito, escrevemos uma nota de uma página, assinada por Fermi, Amaldi, Pontecorvo, Rasetti e Segrè, que estabelecia com certeza os fatos e sua interpretação (Figura 10.3). Para todos os autores, tratava-se de um dos pontos mais altos de suas carreiras. As grandes possibilidades práticas dos nêutrons lentos não escaparam a Corbino, que insistia em que devíamos patenteá-los, embora, naquela época, naturalmente ninguém pudesse suspeitar de que os nêutrons lentos viriam a constituir a chave da energia nuclear.

Chegamos a 1935, período da Guerra da Etiópia, da Guerra Civil Espanhola e de outros fatos precursores da Segunda Guerra Mundial. Estava evidente para as pessoas informadas e pensantes que a situação da Europa se aproximava de uma catástrofe. Mais ou menos por essa mesma época, por

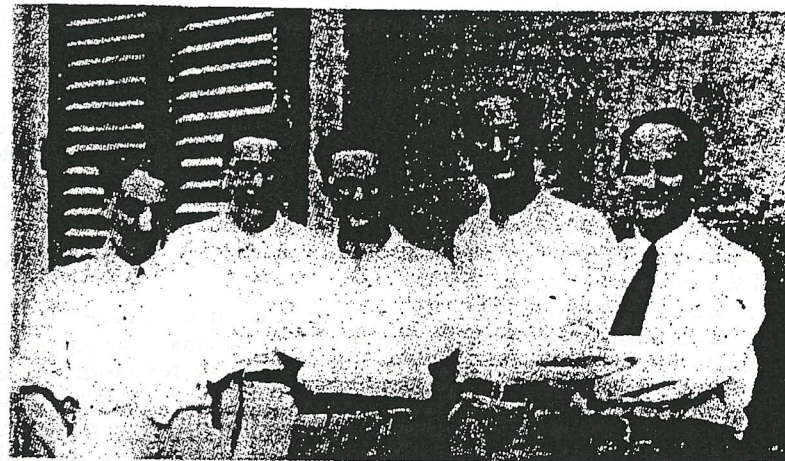


Figura 10.3. Os autores da pesquisa sobre radioatividade induzida por nêutrons. A partir da esquerda, O. D'Agostino, E. Segrè, E. Amaldi, F. Rasetti e E. Fermi. Entre os signatários da nota escrita em 22 de outubro de 1934 estava também B. Pontecorvo, ausente nesta foto. (Foto E. Segrè.)

motivos diversos, o grupo de Roma se dispersou: Rasetti, alarmado e desgostoso com a situação, partiu para a América; eu consegui uma cátedra de física na Universidade de Palermo, na Sicília, relativamente distante de Roma; Pontecorvo foi trabalhar com Joliot, em Paris; Fermi e Amaldi ficaram sozinhos em Roma. Em 1937, infelizmente, Corbino teve morte inesperada. A situação geral, em plena deterioração, forçou mais ainda a dissolução de nosso grupo. A escravização da Itália à Alemanha pela formação do Eixo Roma-Berlim (Berlim-Roma, visto de Berlim), a promulgação de leis anti-semitas na Itália e a implementação de outras diretrizes políticas temerárias tornaram a situação insustentável.

### A Descoberta da Fissão

No outono de 1938, Bohr disse a Fermi que ele, Fermi, provavelmente seria laureado com o Prêmio Nobel naquele ano. Era uma quebra de sigilo, sem precedentes, mas proposital, ditada pelas excepcionais circunstâncias então predominantes. Fermi decidiu abandonar a Itália e, após receber o Prêmio Nobel em Estocolmo, seguiu diretamente para Nova Iorque, junto com a mulher e os filhos. Ali era esperado e foi recebido de braços abertos pela Universidade de Colúmbia, onde já estivera anteriormente.

Mal Fermi chegou a Nova Iorque, Bohr, a caminho de Princeton para uma série de conferências, comunicou a eletrizante descoberta da fissão que Hahn e Strassmann tinham conseguido quase que nos mesmos dias em que Fermi estava em Estocolmo para as cerimônias do Prêmio Nobel. Hahn e

Strassmann tinham descoberto o bário radioativo entre os produtos do bombardeamento de urânio por nêutrons. Ficaram surpresos, mas a observação era experimentalmente irrefutável e tinha de ser levada em conta. Eis aqui dois comentários constantes do documento em que anunciaram suas descobertas:

“Em conseqüência dessas pesquisas, precisamos alterar os nomes das substâncias mencionadas em nossos esquemas anteriores de desintegração e chamar aquilo que antes chamávamos de rádio, actínio e tório pelos nomes de bário, lantânio e cério. Como especialistas em química nuclear e próximos dos especialistas em física nuclear, relutamos em tomar tal medida, que contradiz todas as experiências anteriores da física nuclear”. [Naturwissenschaften 27, 11 (1939).]

Esse Hahn naturalmente era o mesmo Hahn que conhecemos como um dos primeiros seguidores de Rutherford no Canadá. Fritz Strassmann (nascido em 1902) era aluno de Hahn; a despeito de sua hostilidade em relação aos nazistas, conseguiu preservar o emprego no Instituto Cáiser Wilhelm. Hahn tinha cinquenta e nove anos de idade quando descobriu a fissão, e foi assim que corou uma brilhante carreira com sua maior descoberta. Entristeceu-o, no entanto, o fato de Lise Meitner (1878-1968), com quem tinha trabalhado durante muitos anos, inclusive nos estudos sobre os produtos do bombardeamento de nêutron do urânio, não poder estar presente (Figuras 10.4 e 10.5). A despeito de seus grandes esforços e dos esforços de outros cientistas importantes para proteger a suave Lise da fúria do ódio racial de Hitler, ela teve de fugir, para salvar a própria vida. Conseguiu ficar e trabalhar em Berlim até Hitler anexar seu país de origem, a Áustria. Após o Anschluss, ela viu-se diante de um risco mortal. Fugiu da Alemanha através da Holanda, com o auxílio de amigos alemães, e dali seguiu para a Suécia, onde recebeu asilo. Hahn escreveu-lhe a respeito de suas espantosas experiências logo que teve certeza dos fatos. Meitner mostrou a carta, durante as férias de Natal, ao seu sobrinho, Otto Frisch, que a estava visitando (já conhecemos Frisch como colaborador de O. Stern).

Também ele estava refugiado em Copenhague. Frisch e sua tia ficaram atônitos quanto ao possível significado da explicação do resultado obtido por Hahn. Os fatos pareciam indiscutíveis e era preciso encontrar uma explicação. Finalmente chegou-se à conclusão de que talvez o núcleo de urânio se rompesse em dois grandes fragmentos – “fendia-se”, conforme expressão usada na época. Esse fenômeno já tinha sido sugerido em 1935 por uma especialista em química, Ida Noddack, em nota na qual criticava algumas das nossas experiências em Roma; contrapunha-se ela ao fato de não termos provado que o urânio não se rompia em dois grandes fragmentos. Esse documento chegou a nosso conhecimento, ao de Hahn e de Meitner, de Curie e Joliot, e supostamente do Laboratório Cavendish, bem como de outros centros, mas não fora examinado com a devida cautela. Além do mais, Noddack nunca se preocupara em fazer as experiências relativamente simples que teriam fundamentado a sua hipótese.

Logo que a fissão foi entendida, em janeiro de 1939, Frisch procurou-a e viu os grandes pulsos produzidos pelos fragmentos de fissão em uma câmara de ionização conectada a um amplificador linear. Essa experiência



Figura 10.4. Lise Meitner (1878-1968) em 1937. Foi assistente de Planck, depois atuou como cientista no Instituto Cáiser Wilhelm, em Berlim Dahlem, e trabalhou em muitos problemas de física nuclear, antes de ser obrigada a fugir dos nazistas. Lise Meitner desempenhou um papel importante na descoberta da fissão nuclear. (Foto E. Segrè.)

confirmou sua interpretação das conclusões de Hahn e Strassmann. Muitos outros físicos imediatamente constataram o resultado. Sei de pelo menos quatro ou cinco grupos que, num espaço de alguns dias após o anúncio da fissão, tinham conseguido confirmação experimental. Pode-se indagar por que não descobrimos a fissão em Roma. Tínhamos realizado uma experiência que chegou bem perto de uma demonstração da fissão. Para ver possíveis radioatividades alfa de curta vida produzidas por bombardeamento de nêutrons em urânio, partimos do pressuposto de que tais atividades dariam origem a partículas alfa energéticas. Cobrimos nossa mostra com uma lâmina de alumínio para parar essas partículas alfa de longo alcance e nada observamos como resultado. Se tivéssemos removido a lâmina de alumínio, teríamos vistos os enormes impulsos de ionização produzidos pelos fragmentos de fissão. Fica-se imaginando se os teríamos interpretado de forma correta. Já ouvi dizer que em outros laboratórios a experiência tinha

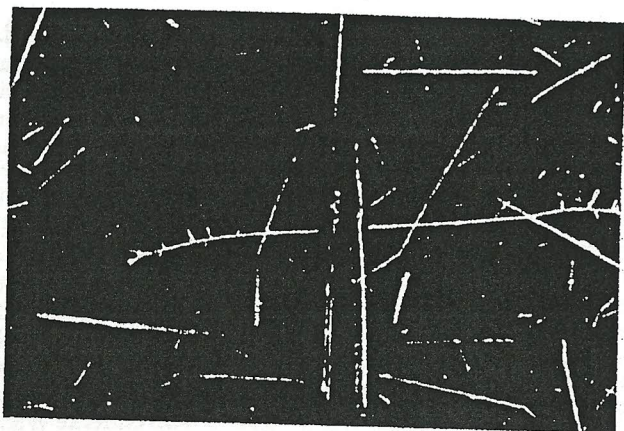


Figura 10.5. A fissão de um núcleo de urânio produzida por nêutrons. Os dois fragmentos deixam uma folha vertical delgada que contém urânio, e seus traços quase horizontais podem ser reconhecidos pelos pequenos traços laterais causados por colisões. [De I. K. Boggioli, em *Physical Review* 76, 988, (1949).]

sido realizada e a conclusão a que haviam chegado foi que havia algo de errado com o detector. Em geral, reconhece-se apenas aquilo que se espera, conforme se vê nos exemplos dos raios X, do nêutron e do pósitron.

### As Etapas Rumo à Bomba Atômica

O caminho que leva a fissão a uma reação em cadeia é, em princípio, um caminho curto. Os fragmentos de fissão têm necessariamente um excesso de nêutrons em comparação aos núcleos estáveis do número de mesma massa. Podem eliminar esse excesso seja pelo avanço lento do decaimento beta ou pela emissão direta de nêutrons, se houver energia suficiente. No segundo caso, os nêutrons secundários podem ser usados para produzir novas fissões, e, se são em número suficiente, produzirão mais nêutrons do que na primeira geração. Desse modo, consegue-se uma reação em cadeia divergente. Se a reação em cadeia ocorrer com muita rapidez e de forma descontrolada, segue-se uma violenta explosão e tem-se uma bomba atômica ou, para se usar um termo mais exato, uma bomba nuclear. Por outro lado, se a reação puder ser controlada e contida em um estágio estacionário, obtém-se uma fonte de energia. Ambos os caminhos estão abertos: em direção à bomba atômica e em direção à energia nuclear – à semelhança de Janus –, como freqüentemente acontece com os usos que podem ser dados à ciência e à tecnologia. Muitas dessas idéias ocorreram a diversos físicos; alguns as guardaram para si, outros tentaram registrar patentes. Também houve uma tentativa, por parte de alguns físicos, de manter em segredo todo o assunto e retardar ou impedir seu desenvolvimen-

to, por medo das possíveis conseqüências. Essa tentativa falhou em virtude de dificuldades práticas. Fermi decidiu pesquisar a fissão experimentalmente e começou esse trabalho na Universidade de Colúmbia, em escala modesta. Queria assegurar-se de determinados detalhes do processo de fissão para chegar à conclusão sobre se uma reação em cadeia era apenas uma fantasia ou uma possibilidade a ser levada a sério. Precisaríamos de muito espaço para dar os pormenores dessa fascinante indagação. Acontece que uma reação em cadeia com materiais naturais, sem qualquer separação de isótopos, é um processo marginal que, praticamente, mal passa de possível. Assim, é difícil estabelecer se pode ou não ocorrer.

Todavia, estava-se tornando evidente que a possibilidade de explosivos nucleares de capacidade nunca vista não era um produto de ficção científica, mas algo a ser levado extremamente a sério, sobretudo se um dos possíveis contendores fosse Adolf Hitler. Entre os primeiros físicos a estudar os problemas da energia atômica e a chamar a atenção para tais problemas estavam os húngaros L. Szilard, E. Wigner, E. Teller, o austríaco V. Weisskopf e, acima de tudo, Fermi. Logo depois, ocorreu o estranho fenômeno de uma mobilização voluntária de muitos cientistas americanos. Deu-se início a experiências e estabeleceu-se o sigilo numa base voluntária. Em agosto de 1939, Szilard e outros ativistas húngaros que se preocupavam com a lentidão com que progrediam os trabalhos planejaram ir diretamente ao Presidente Roosevelt. Einstein foi induzido a assinar uma carta ao presidente na qual explicava a situação e suas implicações. Fermi tinha tomado providências semelhantes alguns meses antes, alertando autoridades da Marinha norte-americana, mas a engrenagem governamental era emperrada e a ajuda fornecida no início mostrava-se insignificante. Enquanto isso, iniciavam-se tentativas similares no Reino Unido, na França e na Alemanha.

Bohr apresentara bases teóricas para supor que o  $U^{238}$  só sofria fissão se bombardeado com nêutrons de uma energia maior do que cerca de 1 MeV, enquanto que os nêutrons lentos só podiam produzir fissão no raro isótopo  $U^{235}$ , que aparece no urânio natural no total de cerca de 1 parte em 137. A. Nier e J. R. Dunning logo confirmaram essa hipótese na prática. Daí que, a fim de construir uma bomba de urânio, seria necessário separar os isótopos, empreendimento perigosíssimo e capaz de assustar a quase todos os físicos mais otimistas.

### Elementos Transurânicos

Em 1940, E. McMillan e P. Abelson conseguiram identificar o primeiro elemento transurânico, ao qual chamaram *neptunium* ( $Np^{239}$ ) e era plausível que tal elemento decaísse em um isótopo de vida relativamente longa do elemento 94. Durante uma visita que fez a Nova Iorque, no período do Natal de 1940, Fermi e eu conversamos muito sobre as prováveis propriedades de um núcleo de número atômico 94 e massa 239, mais tarde chamado de plutônio 239 –  $Pu^{239}$ . Ficamos particularmente intrigados com sua possível vida longa e com a possibilidade de sofrer fissão sob bombardeio de nêutrons lentos. Se fosse esse o caso, tal núcleo poderia oferecer uma alternativa para  $U^{235}$  e evitar a necessidade de separar isótopos. Naturalmen-

te, para preparar quantidades apreciáveis da nova substância, era necessário construir um reator nuclear que pudesse formá-la e o urânio natural poderia ser um combustível adequado para um reator desses.

Eu tinha alguma experiência com elementos químicos artificiais a partir das pesquisas com tecnécio e astatínio (vide p. 140) e também já tinha trabalhado com o netúnio, embora não o tivesse propriamente identificado.

Para fundamentar a factibilidade do uso do plutônio, era necessário produzir-se uma quantidade suficiente desse novo elemento artificial para ter certeza de suas propriedades nucleares – especificamente, saber com que facilidade ele sofreria fissão sob bombardeio de nêutrons lentos ou, em linguagem técnica, sua seção de choque de fissão para nêutrons lentos. Se se provasse que era possível usá-lo, em vez do  $U^{235}$ , então seria preciso produzir uma quantidade suficiente para uma bomba. Não se tratava de uma tarefa pequena, mas a alternativa de separar os isótopos com certeza era extremamente difícil e cara. Nos primeiros meses de 1941, J. W. Kennedy, G. T. Seaborg, A. C. Wahl e eu preparamos cerca de um micrograma de  $Pu^{239}$  com o ciclotron de Berkeley e mostramos que se podia usá-lo como combustível nuclear.

Agora havia duas alternativas para construir-se uma bomba atômica: a separação de isótopos de urânio ou a formação de uma quantidade suficiente de plutônio. A separação de isótopos podia ser conseguida construindo-se uma bateria de grandes espectrógrafos de massa ou por difusão gasosa. A produção do plutônio exigia primeiro um reator nuclear que o formasse e depois uma indústria química que pudesse separá-lo e purificá-lo. Não havia maneira de produzir plutônio suficiente por bombardeamento nuclear usando partículas carregadas aceleradas artificialmente.

Uma vez disponíveis ou o explosivo  $U^{235}$  ou o  $Pu^{239}$ , ainda restava pela frente a construção da bomba propriamente dita.

### Mobilização da Física

Antes de apresentar outras informações sobre aspectos científicos dessa tarefa complexa que deu origem à energia nuclear e às armas nucleares, farei um resumo da história administrativa. Já mencionei as primeiras atividades empreendidas pelos físicos, sobretudo às suas próprias expensas e por sua própria iniciativa. É digno de nota que os pioneiros em sua maioria fossem europeus. A escala de apoio governamental por parte dos Estados Unidos foi muito pequena: US\$ 6.000 concedidos à Universidade de Colúmbia em fevereiro de 1940, e US\$ 40.000 durante doze meses, de novembro de 1940 a novembro de 1941, estavam entre as maiores quantias fornecidas.

No início da guerra, o Governo e os mais renomados físicos norte-americanos estavam ocupados com projetos de radar e outros de maior urgência. Eram céticos quanto às possibilidades práticas da liberação da energia nuclear e as necessidades imediatas tinham a primeira prioridade. A energia nuclear e os explosivos nucleares pareciam muito remotos e muito incertos para garantir uma concentração de pessoal e recursos materiais escassos em um período de crise. Na Grã-Bretanha, por outro lado, o *establishment*

científico estimulou o esforço nuclear nos momentos mais críticos da guerra e o exemplo impressionou muitos nomes de prestígio das ciências norte-americanas que mantinham contato contínuo com seus colegas britânicos.

A participação mais séria do Governo norte-americano ocorreu em 1940-41. Nomeou-se certo número de comissões, que depois foram reconstituídas e dissolvidas, mas em junho de 1940 surgiu a influente National Defense Research Committee (Comissão Nacional de Pesquisas de Defesa – NDRC), chefiada por Vannevar Bush, professor de engenharia elétrica do MIT e inventor. O Presidente deu amplos poderes à NDRC, entre os quais jurisdição sobre o problema do urânio. J. B. Conant, especialista em química orgânica e presidente da Universidade de Harvard, representava Bush em questões de energia nuclear. Publicações feitas pela Academia Nacional de Ciências confirmavam a importância e as possibilidades da energia nuclear.

Ao final de 1941, tinha ocorrido uma profunda alteração de natureza psicológica. Nas palavras do Relatório Smyth: “Possivelmente Wigner, Szilard e Fermi não estavam mais inteiramente convencidos de que as bombas atômicas eram possíveis do que estavam em 1940, mas muitas outras pessoas já se tinham familiarizado com a idéia e suas eventuais consequências. Aparentemente, os britânicos e os alemães, ferozmente envolvidos na guerra julgaram que valia a pena enfrentar o problema. . .” Em resumo, decidiu-se empreender um esforço conjunto. A comissão de controle foi formada e reorganizada, sempre sob a direção geral de Bush e Conant; outros dos membros que compunham eram L. Briggs, que pertencera ao *Bureau National de Padrões*; A. H. Compton; Urey; Lawrence; e E. V. Murphree, da Standard Oil Development Company.

O Presidente Roosevelt era informado periodicamente do progresso e das perspectivas do projeto. Em 1942 o Exército foi encarregado de uma parte ativa das fases de compras e engenharia e, em setembro de 1942, o Distrito de Manhattan foi organizado para esse propósito. O Ministro da Guerra nomeou o General L. R. Groves para a chefia das atividades do Exército, e Groves tornou-se diretor do Pentágono, em Washington. Homem inteligente, honesto e corajoso, além de administrador eficiente, foi envolvido em um ambiente inteiramente novo e diferente daquele ao qual estava acostumado, mas logo conseguiu ter uma opinião favorável sobre os fatos e as pessoas (Figura 10.6).

É difícil transmitir uma idéia, mesmo superficial, da complexidade da tarefa da energia nuclear. Seria necessário criar uma tecnologia inteiramente nova com problemas nunca enfrentados antes em escala industrial. A operação começou em laboratórios de universidades – Colúmbia, Berkeley e Chicago. Mais tarde, criaram-se laboratórios especiais, em escala intermediária entre o estágio de pesquisa e o estágio de produção: Argonne, em Illinois; Oak Ridge, no Tennessee; Richland, em Washington; e em outros lugares. Na medida em que o trabalho progredia, grandes empresas industriais passaram a ser encarregadas do desenvolvimento e das operações correlatas, principalmente com contratos que não visavam a lucro. Esse grupo de empresas exigia uma coordenação de laboratórios e usinas geograficamente distantes e em luta com tecnologias inteiramente novas. O sigilo também tinha suas exigências e precisava ser mantido da melhor



Figura 10.6. Sir James Chadwick e o General L. R. Groves – de opiniões divergentes, mas amigos (1944). (Comissão de Energia Atômica do Reino Unido.)

maneira possível, o que criava outros óbices para o desempenho das atividades.

Em circunstâncias normais, tudo isso teria levado anos, mas, com a pressa exigida pelas exigências da guerra, iam-se queimando as etapas tradicionais; por exemplo, quase sempre se omitiam as tradicionais usinas-piloto. Quatro anos se passaram desde a descoberta da fissão até o primeiro reator crítico, que teve início no Stagg Field, Chicago, em 2 de dezembro de 1942; também quatro anos se passaram entre a descoberta do plutônio e a primeira bomba. Os laboratórios isolados tinham funções claras e bem-definidas: uma vez atingida a meta, eram dissolvidos e os seus integrantes designados para novas tarefas.

O Projeto como um todo saiu-se eminentemente vitorioso. Mais tarde, falarei sobre algumas das razões que, a meu ver, contribuíram para seu sucesso. Além disso, do ponto de vista financeiro, os gastos foram relativamente modestos: em números redondos, chegaram a 3 bilhões de dólares, a preços de 1940.

Agora voltarei aos aspectos mais técnicos do Projeto e às personalidades de alguns dos principais cientistas.

Fermi encarregou-se basicamente da reação em cadeia necessária à produção de plutônio. O problema era juntar uma quantidade suficiente de urânio natural e de moderadores de nêutron adequados para obter uma reação auto-sustentada, ou *montagem crítica*, como é chamada. Essa montagem crítica seria uma fonte de um excesso de nêutrons que, quando absorvi-

dos em  $U^{238}$ , primeiro formariam  $U^{239}$  e depois, por decaimento beta,  $Np^{239}$  e  $Pu^{239}$ . Este último isótopo tem uma meia-vida de 24.000 anos e pode ser separado quimicamente do urânio. Trata-se de um explosivo nuclear. As substâncias escolhidas para os reatores foram o urânio ordinário e grafite para o moderador. Era difícil obter uma reação em cadeia, mas os cientistas queriam evitar qualquer enriquecimento ou separação de isótopos, o que, na época, apresentava problemas técnicos sem solução e de enorme dificuldade. O principal problema era minimizar as perdas de nêutron por absorção parasita, vazamento geométrico e assim por diante. Em particular, era essencial a pureza máxima do urânio e do grafite. Nessa ocasião, Fermi comprovou que não apenas era um grande cientista, mas também um excelente engenheiro e, no que diz respeito aos nêutrons, tão parcimonioso quanto seus antepassados agricultores. A especialidade adquirida na área de nêutrons lentos em Roma foi útil e o estudo teórico feito na Itália, estendido e modificado para levar em conta a geração de nêutrons por material fissil, constituiu a base teórica para a construção do primeiro reator. Naturalmente Fermi não trabalhou sozinho: muitos estudantes e jovens colegas ajudaram-no bravamente, entre os quais estavam H. L. Anderson, W. Zinn, L. Marshall, A. Wattenberg, B. T. Feld e outros da mesma categoria. E. Wigner, A. Weinberg e mais alguns tiveram papel essencial na criação do relacionamento com a indústria.

Depois de nossa descoberta do  $Pu^{239}$ , faziam-se necessários aperfeiçoamentos químicos importantes para passar da escala inicial de microgramas para quilogramas de metal puro exigidos para uma bomba. O Laboratório Metalúrgico (nome fictício) da Universidade de Chicago representou o principal centro das primeiras pesquisas do processo de extração do plutônio a partir do urânio irradiado; a indústria, através da empresa DuPont, administrava usinas-piloto em Oak Ridge, no Tennessee e, mais tarde, usinas de produção no Estado de Washington. A metalurgia era realizada no Laboratório de Los Alamos: G. T. Seaborg, J. W. Kennedy e C. S. Smith estavam entre os principais cientistas que atuaram nessa área. Muitos engenheiros da DuPont, da Union Carbide e de outras empresas foram absolutamente essenciais para o êxito do projeto.

A separação de isótopos de urânio por espectrógrafo de massa foi inicialmente empreendida em Berkeley, sob a chefia de Lawrence, auxiliado por R. L. Thornton, W. Brobeck e muitos outros. A produção transferiu-se para a Eastman Company, de Oak Ridge.

A separação de isótopos por difusão gasosa foi chefiada por J. R. Dunning, H. Urey e outros, e as usinas de Oak Ridge foram operadas pela Kellogg Corporation, pela Carbide e pela Carbon Chemicals Corporation.

Uma vez disponíveis, os explosivos nucleares tinham de ser fabricados e montados em uma bomba. Esse planejamento e construção da bomba foi uma verdadeira novela e não chegou propriamente a constituir uma tarefa simples. Além disso, os estudos sobre a bomba não podiam ficar à espera dos materiais. O método de montagem tinha de estar pronto no momento em que os materiais estivessem disponíveis. Realizaram-se estudos teóricos preliminares em Berkeley, sob a orientação de J. Robert Oppenheimer (1904-1967). Alguns meses mais tarde, tornou-se patente a necessidade de



um laboratório especial dedicado à construção da bomba e Groves, então encarregado do Projeto Manhattan, escolheu Oppenheimer para diretor.

Oppenheimer é uma das figuras mais discutidas e mais controversas da era atômica. Nascido em Nova Iorque, de rica família judia de origem alemã, estudou nas melhores escolas, teve os melhores professores e as melhores oportunidades educacionais desde a mais tenra idade. Foi precoce e a família, reconhecendo seu talento, ofereceu-lhe todos os estímulos possíveis para desenvolvê-lo. Era de tendências relativamente ecléticas: estudava não apenas ciências, como filosofia, línguas e artes de uma forma sofisticada, mas talvez um tanto superficial. Tinha um raciocínio extraordinariamente rápido e uma memória impressionante, mas também era muito cômico de suas qualidades e tinha certa propensão à arrogância; esse seu ponto fraco granjeou-lhe muitos inimigos.

Estudou física na Universidade Harvard e foi dos primeiros americanos a entender de mecânica quântica. Após o doutorado em Harvard, Oppenheimer fez estudos de pós-doutorado sob a orientação de Born em Göttingen, e de Bohr em Copenhague. Ao retornar aos Estados Unidos, criou escolas de física teórica bem-sucedidas em Berkeley e no Instituto de Tecnologia da Califórnia, em Pasadena, e dividia seu tempo entre os dois locais. Politicamente, Oppenheimer era muito ingênuo e desenvolveu tendências esquerdistas acentuadas que me pareciam românticas e totalmente desprovidas de espírito crítico.

A escolha de Oppenheimer por parte de Groves pode parecer surpreendente, mas com certeza foi muito feliz. Oppenheimer, que até então era um físico teórico relativamente distraído e desinteressado das coisas práticas, aproveitou a oportunidade e saiu-se muitíssimo bem como diretor, tanto do ponto de vista técnico quanto do ponto de vista administrativo. E mostrou-se também capaz de lidar com gente tão diversa quanto Niels Bohr e o General Groves.

As instalações para o novo laboratório deveriam ser isoladas e adequadas do ponto de vista geográfico. Oppenheimer conhecia os planaltos do Novo México desde a infância e ajudou a escolher o local em uma área espetacular onde antes havia uma escola particular para meninos, chamada Los Alamos School. Rapidamente fez construir a sede do laboratório e reuniu um raro *staff* de cientistas de talento (Figura 10.7). As três primeiras bombas atômicas foram construídas ali.

Depois da guerra, por motivos diversos, Oppenheimer passou a ter grande importância nos círculos políticos e científicos. Atraiu ódios intensos e implacáveis, bem como lealdades e admiração extremadas. Viu-se de repente no centro de controvérsias políticas e seus inimigos decidiram que sua ruína era necessária para a salvação do país. Durante o Governo Eisenhower instalou-se um inquérito sobre sua lealdade, inquérito esse que chegou a uma conclusão desfavorável a ele, considerado que foi como "risco para a segurança" e impedido de exercer qualquer função governamental. Esse inquérito provocou fortes sentimentos em meio à comunidade científica, que se dividiu em dois campos opostos. Anos mais tarde, o governo norte-americano, sob os Presidentes Kennedy e Johnson, modificou a injusta condenação a um dedicado servidor, concedendo-lhe o Prêmio Fermi por



Figura 10.7. Um passeio dominical em Los Alamos. De pé, da esquerda para a direita: E. Segrè, E. Fermi, H. A. Bethe, H. Staub e V. Weisskopf. Sentados: Erika Staub e Elfriede Segrè. (Foto E. Segrè.)

atividades nucleares. Mas então Oppenheimer já estava afastado das lides políticas, tendo voltado a atuar na área da física como Diretor do Institute for Advanced Study, em Princeton. Morreu em 1967. O caso Oppenheimer já serviu de inspiração a peças, biografias e a uma vasta literatura. Na bibliografia, indico algumas das obras sobre ele que me parecem realistas e não completamente fictícias.

Na criação das novas tecnologias, ocorreram crises que abalaram temporariamente o empreendimento e mesmo lançaram dúvidas sobre seus resultados. Eu pessoalmente me vi envolvido em uma dessas crises quando meu grupo, inclusive O. Chamberlain e C. Wiegand — então ainda estudantes —, estava estudando a fissão espontânea de  $\text{Pu}^{239}$ . Descobrimos que o isótopo  $\text{Pu}^{240}$ , que era formado em reatores, junto com o  $\text{Pu}^{239}$  sofria fissão espontânea a uma taxa tão alta que teria impedido a montagem de uma bomba pelos meios então analisados: a bomba teria pré-detonado e resultado em fiasco. Tratava-se de uma situação bastante séria; sem uma solução, metade



Figura 10.8. A primeira explosão atômica, o "Teste Trinity", em 16 de julho de 1945, em Jornada del Muerto, perto de Alamogordo, Novo México. Um quarto de segundo tinha-se passado desde o início da explosão. (Laboratório Científico de Los Alamos.)

do projeto se tornaria inútil para objetivos bélicos. A solução foi encontrada, mas exigia novas e verdadeiras invenções das quais participou ativamente Neddermeyer, ex-aluno de C. D. Anderson.

Outra crise ocorreu no início das atividades do primeiro reator de produção. Constatou-se que alguns produtos de fissão absorviam nêutrons a uma taxa alta e inesperada, impedindo, assim, a reação em cadeia. "Envenavam" o reator, que só podia reiniciar as atividades depois que os produtos tivessem decaído e pararia de novo quando eles tivessem acumulado mais uma vez. Esse obstáculo foi superado porque os engenheiros, usando de cautela, tinham previsto a possibilidade de ampliar o reator e aumentar sua reatividade caso se fizesse necessário. Aos físicos não tinha agradado a atitude cautelosa dos engenheiros, que "desnecessariamente" aumentava os custos e desperdiçava materiais, mas os engenheiros se sentiram totalmente vitoriosos. Essas crises são apenas dois exemplos das muitas que ocorreram.

A finalidade inicial de Los Alamos foi atingida com a detonação da primeira bomba atômica, no amanhecer do dia 16 de julho de 1945 (Figura 10.8). Segundo a Constituição dos Estados Unidos, ao Presidente, na qualidade de Comandante-em-Chefe das Forças Armadas, cabia a palavra final sobre o uso da bomba. O Presidente Truman consultou vários grupos de sua assessoria, inclusive de cientistas, e chegou a algumas conclusões com plena consciência das alternativas e conseqüências. A sabedoria de sua decisão desde aquela época tem sido posta em dúvida, mas é difícil imaginar a possibilidade de ele ter tomado um outro rumo de ação.

Não é este o momento de discutir os eventos militares e políticos que se seguiram. Após a guerra, Los Alamos continuou como um dos grandes laboratórios nacionais dos Estados Unidos, com metas firmadas tanto para a



Figura 10.9. A paisagem em volta de Los Alamos em 1943. Hoje Los Alamos é a sede de um Laboratório Científico Nacional dos EUA. (Foto E. Segrè.)

guerra quanto para a paz, mas o laboratório e a cidade de Los Alamos já não são hoje em dia como eram à época da guerra (Figura 10.9). Ambos foram substituídos por uma cidade mais ou menos convencional, onde os arquitetos e planejadores oficiais impiedosamente destruíram a beleza natural ímpar, como ocorre com a construção de muitas cidades. Los Alamos vive na memória dos pioneiros como a lembrança de uma juventude incomparável e de um período romântico de suas vidas.

### Conseqüências da Bomba

A rapidez e o sucesso com que se desenvolveram a energia atômica e as armas atômicas fizeram com que muita gente acreditasse que tarefas tão colossais pudessem ser duplicadas praticamente à vontade, bastando que se dispusesse de dinheiro. Uma opinião desse tipo é por demais otimista. Havia muitos motivos para que a tecnologia nuclear, inteiramente nova, se desenvolvesse de maneira tão rápida. Mencionarei apenas dois dos mais importantes.

Primeiro, a época já era madura do ponto de vista tecnológico, isto é, as descobertas dos anos anteriores tinham criado um ambiente técnico favorável. Segundo, as monstruosas intenções de Hitler eram tão evidentes que qualquer um — e aí repito, qualquer um — desejaria abandonar suas atividades para combater em favor da destruição de Hitler. Assim, à época em que se fazia necessário, os laboratórios conseguiram reunir um grupo de gente jovem e talentosa no auge de suas qualidades; um grupo desses nunca

tinha sido reunido antes nem viria a ser reunido depois. E isso foi bem entendido pelo General Groves que, certa vez, em visita a Los Alamos, ao enfrentar algumas queixas quanto às condições de vida, declarou sorridente: "O Governo reuniu aqui a mais dispendiosa coleção de loucos que já se viu e me encarregou de cuidar deles. Tenho de fazer com que se sintam felizes". Em Los Alamos, Bohr, Chadwick, Fermi, von Neumann e Oppenheimer constituíam a velha guarda; mas, entre os jovens cientistas, havia pelo menos seis futuros prêmios Nobel. A média de idade dos cientistas que ali atuavam era de trinta anos.

Com frequência surge a indagação sobre até que ponto os alemães teriam avançado no aperfeiçoamento da bomba até o fim da guerra e sobre se havia realmente o risco de se anteciparem aos Estados Unidos. Só conseguimos obter informações dignas de confiança sobre as atividades nucleares na Alemanha depois que os Aliados invadiram o país. A missão Alsos, que coletou informações sobre as atividades nucleares, concluiu que o projeto alemão, embora tendo-se iniciado pouco depois da descoberta da fissão, tinha feito um progresso relativamente pequeno. Os alemães ainda não tinham produzido uma reação em cadeia, nem tinham preparado o plutônio ou separado isótopos de urânio em medida apreciável. Os motivos para esse atraso eram de caráter institucional, técnico, militar e industrial. Também tiveram alguma influência determinadas figuras ligadas ao setor. O que faltava, mais do que boa-vontade ou motivação para o trabalho, era capacidade.

As informações relativas aos soviéticos são escassas. Uma biografia de I. V. Kurchatov, que detinha posição importante no setor correspondente na União Soviética, diz que, embora os planos e as discussões sobre o assunto tivessem começado cedo, o trabalho mais sério só teve início em 1942, basicamente sob o estímulo de G. N. Flerov, descobridor da fissão espontânea; de A. Ioffe, ex-colaborador de Röntgen e importante personalidade da física russa; e de P. Kapitza, um protegido de Rutherford que, em 1937, tinha sido proibido pelos soviéticos de voltar a Cambridge após um período de férias em seu país natal. As condições de trabalho, entretanto, eram extremamente desfavoráveis em virtude da invasão nazista. Aparentemente o Governo soviético só veio a dar alta prioridade a armas nucleares após as explosões americanas realizadas ao final da guerra. Em dezembro de 1947, o primeiro reator soviético tornou-se crítico: a União Soviética fez explodir sua primeira bomba atômica em agosto de 1949, e uma outra bomba mista de fissão-fusão em agosto de 1953. Os Estados Unidos tinham feito detonar um artefato semelhante em 1951. Sem dúvida, os soviéticos se beneficiaram das experiências anteriores levadas a cabo pelos Estados Unidos, das quais já tinham conhecimento.

O projeto inglês, conforme foi dito, teve grande importância como estímulo para os Estados Unidos e foi fundamental para concentrar o esforço norte-americano e convencer as pessoas a respeito de seu interesse. Logo uniu-se ao esforço norte-americano, para o qual também o Canadá contribuiu significativamente. No Japão, embora em pequena escala, também foram feitas algumas tentativas.

Entre as várias conseqüências dos usos militares das ciências, algumas benéficas para as próprias ciências, outras não, devo realçar um uso extremamente pernicioso, que é a introdução do sigilo. O sigilo envenenou o ambiente científico e até hoje esse veneno ainda não foi totalmente eliminado. O sigilo militar obviamente é necessário e o sigilo industrial é uma prática estabelecida e justificável, mas o sigilo científico é uma proposição autocontraditória. Por definição, as ciências devem repartir os conhecimentos e revelar suas descobertas a todo o mundo. Na história das ciências, tem havido grandes homens — como Newton, por exemplo — que, por motivos diversos, tentaram manter suas conclusões em segredo, mas, com o passar do tempo, tornou-se evidente que se tratava de uma prática fatal e, nos tempos modernos, a tendência dos cientistas é publicar tudo e com a maior rapidez possível, às vezes até com rapidez excessiva.

Durante a guerra, a necessidade militar obrigava o sigilo sobre resultados de importância militar manifesta e imediata. Já vimos uma tentativa de discrição auto-imposta logo após a descoberta da fissão. A extensão dessa tentativa falhou basicamente em virtude da oposição dos Joliot, embora não se tenha certeza se teria redundado em algo de benéfico. Mas uma ação mais limitada por parte dos cientistas americanos conseguiu êxito.

Quando se criou o Distrito de Manhattan, a segurança ficou sob a responsabilidade do General Groves, que tratou a questão com bom-senso e flexibilidade. Mais tarde, entretanto, as normas de segurança foram codificadas e confiadas a uma repartição burocrática, que com elas lidava ocasionalmente como se fossem um fim em si mesmas e não como uma necessidade desagradável. Houve abusos e outros resultados bastante nocivos. Visto que o segredo militar muitas vezes retarda os avanços técnicos esperados ou impede a discussão pública de decisões importantes sem trazer vantagens do ponto de vista militar, o clímax fica por conta de pessoas que acreditam em um "segredo da bomba atômica" e balelas semelhantes. Um dos poucos pontos com os quais estão de acordo os cientistas é a desconfiança em relação ao sigilo e o desejo de eliminá-lo logo que possível.

Alonguei-me sobre o tema da energia atômica e do Projeto Manhattan em virtude de sua importância e também porque tenho, pelo menos em parte, experiência direta no assunto. Mas não devemos esquecer que essa tarefa não foi ímpar. Por exemplo, a história do radar tem diversos traços em comum com a da energia atômica. Aqui as atividades e descobertas de E. Appleton, M. Tuve e G. Breit e outros que estudaram problemas geofísicos relacionados à camada Heaviside abriram caminho. Remontam à passagem do século, quando Marconi estava procurando comunicar-se a partir de grandes distâncias e precisava superar a curvatura da Terra. A base dos usos militares tinha sido preparada e a arte marcial tinha amadurecido no momento exato, de modo a influenciar na Batalha da Inglaterra. Instalaram-se laboratórios militares científicos dedicados ao radar, primeiro na Grã-Bretanha e mais tarde nos Estados Unidos. Também aqui ocorreu uma concentração espetacular de talentos, bem como aplicações impressionantes que se seguiram à guerra, indo da astrofísica à espectroscopia molecular.

## A Obra Final de Fermi

Vamos voltar à vida de Fermi. Ao final da guerra, ele já tinha a nítida impressão de que a física nuclear estava atingindo um estágio de maturidade que a tornava menos atrativa para seu gosto. É verdade que, com a possibilidade de se obterem feixes de nêutrons a partir de reatores nucleares, ele ainda pôde fazer experiências destinadas a dar início a diversos capítulos novos na física, especialmente do estado sólido, mas percebia que o centro de interesse estava-se deslocando. Com um sorriso irônico, citava o *Duce*, Mussolini, que tinha afirmado: "Remove-se ou pereça" — e ele, Fermi, estava inteiramente pronto a renovar-se.

A Universidade de Chicago planejava construir três novos institutos — um de criogenia, outro para estudo de metais e o terceiro, um centro nuclear — e conseguiu atrair vários dos principais nomes do Distrito de Manhattan, entre eles os de Urey e Fermi. Este último não quis assumir a direção do instituto nuclear, preferindo confiá-la às mãos competentes de seu íntimo amigo S. K. Allison e liberando-se assim das atividades administrativas. Desejava dedicar todo o tempo disponível ao ensino e à pesquisa. Então fundou a prestigiada escola de Chicago, que formou vários dos grandes físicos do pós-guerra, como, por exemplo, Lee e Yang. Os seminários de Fermi eram famosos pelo interesse despertado pelos debates que se realizavam sobre os mais diversos assuntos. Ali surgiram idéias que vieram a redundar mais tarde em trabalhos importantes. Os colegas e alunos iam sempre ao gabinete de Fermi para conversar com ele a respeito de suas próprias idéias e freqüentemente se retiravam com novas e importantes sugestões ou com um estudo elaborado junto com o próprio Fermi, que rapidamente podia desenvolver e mudar o que tinha sido apenas ligeiramente percebido pelo visitante.

Fermi queria dar continuidade a pesquisas experimentais em uma das áreas que mais lhe interessavam — altas energias e aplicações de computadores. Do período de Los Alamos e de suas freqüentes trocas de idéias com J. von Neumann, ele aprendera a apreciar as potencialidades dos computadores eletrônicos e, sempre que lhe era possível, retornava a Los Alamos para usar um dos primeiros computadores que existiram. Era um aparelho primitivo em comparação com outros que viriam a ser construídos mais tarde, mas, com a ajuda desse mesmo computador, ele experimentou novos rumos, por exemplo, em mecânica estatística. Com relação a esse campo, sei que Fermi tinha inventado — mas naturalmente não lhe deu nenhum nome — o atual método Monte Carlo, quando estava estudando a moderação dos nêutrons em Roma. Não publicou nada a respeito, mas usou o método para resolver muitos problemas com quaisquer meios de cálculo de que pudesse dispor, sobretudo com uma pequena máquina de somar mecânica.

As experiências na área de física de altas energias estavam relacionadas a um acelerador apropriado. Em Chicago, estava sendo construído um desses aceleradores, mas não com a mesma rapidez que em Berkeley, que, à época, era a fonte dos aceleradores. Fermi trabalhou diretamente na construção do ciclotron de Chicago, conforme costumava fazer quando queria alguma coisa. Era um fervoroso adepto da teoria "faça você mesmo" e

aplicava-a ao trabalho mecânico e aos mais extensos e entediantes cálculos numéricos. Enquanto construía e esperava o acelerador, empreendeu um estudo completo da teoria das partículas conforme era conhecida na época. Calculou tudo o que podia, até os números, a fim de preparar-se da melhor maneira possível. Há indicações dessas atividades nas Conferências Silliman por ele pronunciadas na Universidade de Yale, em 1951. Logo que o acelerador de Chicago começou a funcionar adequadamente, Fermi começou, juntamente com alguns colegas e alunos, a estudar a colisão próton-núcleon. Ainda conseguiu fazer uma importante descoberta nesse campo: a primeira ressonância na colisão próton-próton. Na análise dessas experiências ele e seus colaboradores fizeram amplo uso do computador de Los Alamos.

Após a guerra, Fermi visitou várias vezes a Itália, onde pronunciou diversas conferências. Na última visita, no verão de 1954, deu um curso sobre física de prótons, mas já estava sofrendo de uma enfermidade não-diagnosticada. Ao voltar a Chicago em setembro, um exame revelou um incurável câncer de estômago. Chegou ao fim com uma serenidade socrática e com uma força de caráter quase sobre-humana. Morreu em 29 de novembro de 1954, com cinquenta e três anos de idade. Assim desapareceu o último físico que dominou toda a área da teoria e da experiência. Não acredito que, com o aumento da especialização, cheguemos a ter uma eminência universal comparável a Fermi.