

E. O. Lawrence e os aceleradores de partículas

Física em Grande Escala

No capítulo anterior, enfatizei como a escala das experiências físicas aumentara cerca de um milhão de vezes. Naturalmente, um aumento dessa ordem proporciona mudanças profundas na natureza das pesquisas. Quando a escala de comprimento se reduz em um milhão de vezes, os resultados são realmente impressionantes: a física passa então da física clássica para a física quântica. A alteração de um fator de um milhão na potência das fontes experimentais também produz necessariamente enormes mudanças. Esse salto na escala das atividades da física é um fenômeno interessante em si mesmo e a ele dedicarei algumas palavras.

A passagem da física para uma grande escala é em geral associada aos aceleradores de partículas, o que em parte está certo, mas, sob muitos aspectos, os progressos futuros já tinham surgido antes: associação entre ciência e engenharia, a natureza coletiva do trabalho, o *status* internacional do laboratório, a especialização de laboratórios em uma só técnica, a divisão do pessoal em *staff* permanente e visitantes, etc. Um laboratório com todas essas características já tinha sido instalado por Heike Kamerlingh Onnes (1853-1926) no final do século XIX, para o estudo de fenômenos de baixa temperatura.

H. Kamerlingh Onnes (Figura 11.1) nasceu em Groningen, nos Países Baixos, onde começou seus estudos, prosseguindo-os mais tarde em Heidelberg, na Alemanha. Sofreu influência dos dois grandes teóricos holandeses de sua época — H. A. Lorentz e J. D. van der Waals. Kamerlingh Onnes elaborou uma tese sobre o pêndulo de Foucault e em 1882 foi nomeado professor de física da Universidade de Leyden, onde continuou a trabalhar até o fim de seus dias. Ali dedicou-se inteiramente à criação de um laboratório de criogenia, que durante muito tempo foi o mais importante do mundo.

Trabalhando com fenômenos de baixa temperatura, e com técnicas para obter baixas temperaturas, Kamerlingh Onnes realizou grandes obras tanto em física quanto em engenharia. O laboratório era tão ativo que, em determinada fase, precisou ter uma publicação própria para divulgar os resultados que obtinha; essa publicação tornou-se uma bíblia para os físicos especializados em baixas temperaturas. Em 1904, Kamerlingh Onnes foi designado reitor da Universidade de Leyden e, no discurso de posse, bem como mais tarde, em seu discurso pelo Prêmio Nobel, expressou claramente

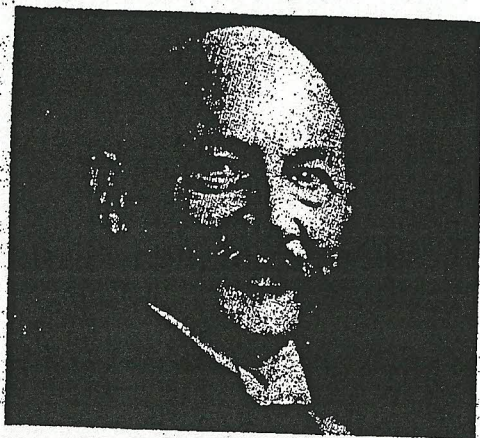


Figura 11.1. H. Kamerlingh Onnes (1853-1926), criador do Laboratório Criogênico de Leyden, que se manteve na linha de frente da física de baixas temperaturas durante muitos anos. Nesse laboratório foram identificados muitos modelos da administração científica dos grandes laboratórios internacionais que vieram a ser criados mais tarde. (Fundação Nobel.)

as metas e os problemas do laboratório de criogenia de Leyden. As opiniões sobre os problemas enfrentados pelos laboratórios de uma forma geral e as soluções por ele apresentadas permanecem válidas e são ainda aplicadas nos grandes laboratórios internacionais de nossos dias. Os laboratórios internacionais especializados dedicam-se atualmente não apenas à criogenia, mas também a aceleradores de partículas, geração de campos magnéticos fortes, reatores nucleares de alto fluxo, observação astronômica e assim por diante.

As pesquisas realizadas no laboratório de Leyden abrangiam um grande número de cálculos necessários ao estabelecimento da ciência criogênica. Esses cálculos incluíam o estudo da escala de temperatura próxima do zero absoluto, calores específicos, pressões de vapor e suscetibilidade magnética, além do aperfeiçoamento da maquinaria criogênica. A maior façanha realizada pelo laboratório na área técnica foi a liquefação do hélio, em 1908. O estudo das propriedades da matéria a temperaturas tão baixas revelou muitos fenômenos dignos de nota, dos quais o mais importante é a supercondutividade (1911) — isto é, o desaparecimento repentino da resistência elétrica a uma temperatura suficientemente baixa no mercúrio e em outras substâncias (Figura 11.2).

Mesmo que o trabalho de Kamerlingh Onnes seja o primeiro exemplo de física de grande escala, não era particularmente conhecido e nem era tomado como modelo pelos construtores de aceleradores, que só surgiram muitos anos após a instalação do laboratório de Leyden.

Os Primeiros Aceleradores

O incentivo para a construção de aceleradores surgiu da necessidade de dispor-se de partículas mais abundantes e de mais altas energias do que as que podiam ser obtidas de fontes naturais. Além do mais, as partículas de

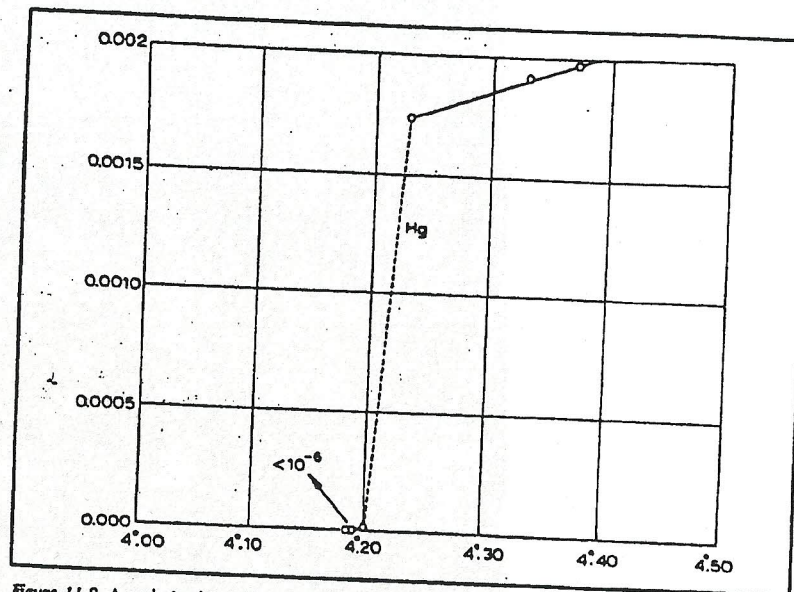


Figura 11.2. A resistência elétrica do mercúrio como função da temperatura. A 4,2°K ela desaparece repentinamente em virtude do aparecimento da supercondutividade. A curva foi extraída da conferência feita por Kamerlingh Onnes quando da cerimônia do Prêmio Nobel, em 1913. (Fundação Nobel.)

fontes radioativas naturais praticamente limitam-se aos elétrons, raios gama e partículas alfa e todos os indícios apontavam para a importância crescente dos prótons e, depois de 1932, dos nêutrons.

Depois das experiências pioneiras de Rutherford, em 1917, tornou-se patente que a aceleração de partículas com aparelhagem laboratorial era a melhor maneira de conseguir progressos na área vitalmente importante de desintegração nuclear. As primeiras tentativas foram feitas nos Estados Unidos, por volta de 1925, por G. Breit, M. Tuve e outros, que construíram uma bobina de Tesla (transformador de alta-voltagem) e aplicaram a voltagem obtida a uma válvula adaptada para acelerar partículas. Pouco mais tarde, A. Brasch e F. Lange, em Berlim, usaram um gerador de impulsos para acelerar prótons. Tentaram até obter a alta-voltagem a partir de nuvens de tempestade e é possível que tenham realizado desintegrações nucleares; o método, porém, não era prático e chegava a ser perigoso: um físico perdeu a vida vitimado por um raio. C. C. Lauritsen e H. R. Crane, no Instituto de Tecnologia da Califórnia, usaram uma série de transformadores montados em cascata e ativados com essas válvulas de alta-tensão para acelerar prótons e raios X. R. J. Van de Graaff, em Princeton, construiu um novo tipo de acelerador eletrostático, o ancestral de um tipo de aparelhagem ainda largamente usada.

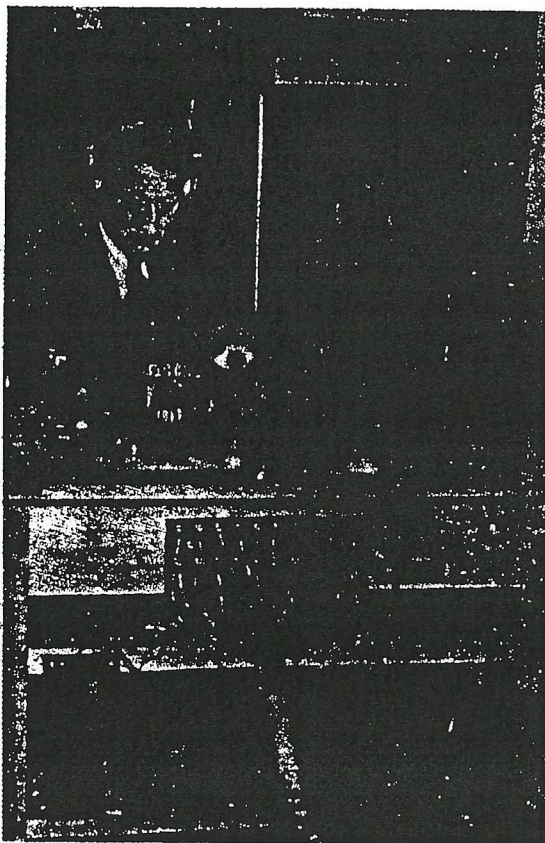


Figura 11.3. John D. Cockcroft (1897-1967) à sua mesa no Laboratório Cavendish, em 1932. (Laboratório Cavendish.)

Mas as primeiras desintegrações por partículas aceleradas artificialmente foram realizadas no Laboratório Cavendish por John D. Cockcroft (1897-1967) e Ernest T. S. Walton (nascido em 1903) (Figuras 11.3 e 11.4), que aperfeiçoaram um circuito multiplicador de voltagem, inventado por H. Greinacher na Suíça, e, sob contínuo estímulo de Rutherford, que desejava vê-lo aplicado à física, alimentaram a voltagem obtida a um tubo de descarga para acelerar prótons. Em 1932, a 770 kV, obtiveram a desintegração do lítio em duas partículas alfa.

Em todas essas pesquisas, a voltagem obtida a partir de algum dispositivo era aplicada a um tubo de descarga e assim, para partículas com uma energia da ordem de 1 MeV, era necessário ter voltagens de 1 MV no laboratório. Essa alta-voltagem apresentava todos os tipos de inconvenientes e riscos técnicos. Propostas mais sutis que evitavam altas-tensões já tinham sido apresentadas em 1922 por vários físicos e engenheiros; alguns usaram

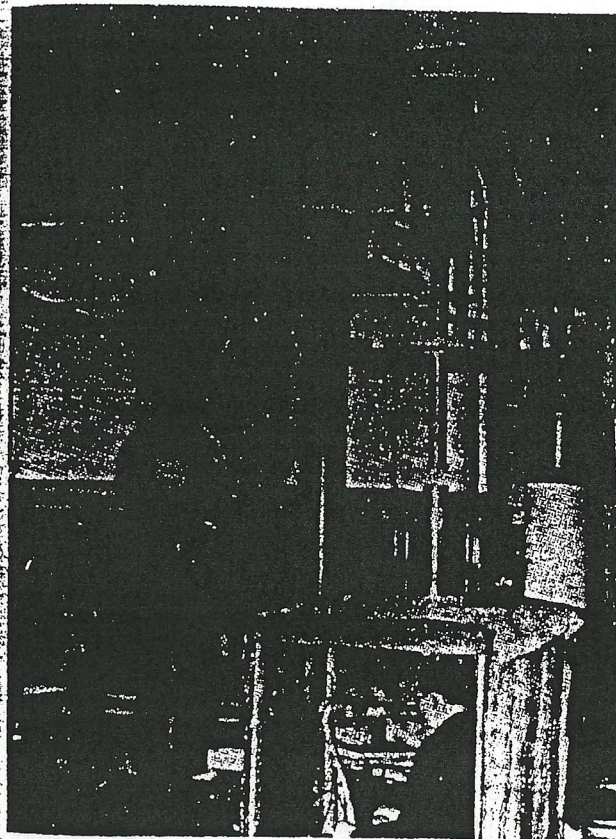


Figura 11.4. Cockcroft e o acelerador eletrostático de Walton, com Cockcroft sob o tubo de descarga. Com esse aparelho, Cockcroft e Walton desintegraram núcleos do lítio e berílio, os primeiros a serem desintegrados com partículas artificialmente aceleradas. (Laboratório Cavendish.)

indução eletromagnética para acelerar as partículas, outros usaram aceleração múltipla. E. O. Lawrence foi mais ousado ao trazer uma conclusão prática e vitoriosa para a aceleração múltipla. D. Kerst aperfeiçoou os aceleradores de indução (betatrons).

Lawrence e o Cíclotron

De ascendência norueguesa, Ernest O. Lawrence (1901-1958) nasceu em Canton, Dakota do Norte, em um ambiente que ainda refletia de maneira bastante vívida o espírito pioneiro norte-americano com seus conceitos tradicionais: extremado respeito pelo trabalho, tendências liberais ocasionalmente misturadas a traços fundamentalmente conservadores, às vezes mesmo reacionários, individualismo, autoconfiança e provincianismo. O pai de Ernest era superintendente escolar e daí seu fácil acesso aos livros,

inclusive a livros de ciências. Logo ele se deliciava em montar transmissores radiofônicos e outros aparelhos.

Lawrence era vivo e inteligente e, após ter frequentado escolas públicas, entrou para a Universidade de Yale. Mas, a despeito de sua educação formal, nunca chegou a ter uma cultura refinada, seja em física, seja em outras disciplinas. Por outro lado, tinha uma verdadeira intuição para a física; forte inclinação para o sucesso e habilidade para lidar com pessoas. No fundo, era mais um inventor do que um cientista. Mais culto do que Edison, tinha alguns traços em comum com o grande inventor. Quando J. J. Thomson tentou conversar com Edison a respeito de raios X, chegou à conclusão de que era melhor mudar de assunto; algo de parecido ocorreu com Fermi em relação a Lawrence. Muitos físicos, mesmo no Laboratório de Radiação de Lawrence, sabiam mais de física nuclear e da ciência dos aceleradores do que o próprio Lawrence. Mas ele dispunha de um elemento vital, de um elemento muito especial no laboratório por ele mesmo criado e dirigido com grande êxito e de forma ditatorial. Sua capacidade extraordinária de liderança, seu entusiasmo e sua personalidade eram mais importantes do que sua ciência.

Na Universidade de Yale, Lawrence era considerado estudante talentoso e promissor. Como jovem professor, foi atraído pela Universidade da Califórnia — então em fase de expansão —, para onde se transferiu em 1928. Em 1929, ao folhear algumas publicações, encontrou por acaso um desenho que ilustrava um artigo de R. Wideroe publicado no *Archiv fuer Elektrotechnik* e concebeu a idéia do ciclotron (Figura 11.5).

Como já vimos, um íon de carga específica e/m movendo-se em um campo magnético uniforme com uma velocidade inicial perpendicular às linhas de força descreve um círculo de raio $r = mc v / e B$, com uma velocidade angular $\omega = e B / mc$ independente de v e r . Se colocarmos uma fonte de íons em um campo magnético e acrescentarmos um campo elétrico alternado perpendicular a B , num diâmetro das trajetórias e variando com uma frequência $\nu = \omega / 2\pi$ de modo a acelerar os íons sempre que eles atravessarem o diâmetro, conseguiremos uma aceleração múltipla. A cada cruzamento do campo elétrico, os íons adquirem uma certa energia e essa energia é multiplicada pelo número de passagens. Obtém-se o campo elétrico com as características necessárias fazendo uso de duas caixas em forma de D — daí serem chamados de d 's — uma em frente à outra. Os d 's são mantidos em voltagens alternadas variando com uma frequência ν . Todo o sistema fica dentro de uma câmara de vácuo (Figura 11.6).

Cada vez que um íon passa através do espaço que separa os d 's, recebe a energia $e V$, onde V é a diferença de potencial entre os d 's. A trajetória dos íons é uma espiral que se origina na fonte e, ao final, as partículas se desviam para um canal através do qual escapam da caixa esvaziada de ar. Em razão das acelerações múltiplas, as diferenças de potencial existentes no instrumento são muito pequenas em comparação com o que seria necessário para obter-se a mesma energia em uma aceleração simples. Assim, evitam-se as dificuldades inerentes a alta-voltagens, o que constitui proveito técnico de inestimável valor.



Figura 11.5. Ernest O. Lawrence (1901-1958). Em sua mão um dos primeiros ciclotrons, de dimensões mínimas em comparação com os posteriores. (Laboratório Lawrence Berkeley.)

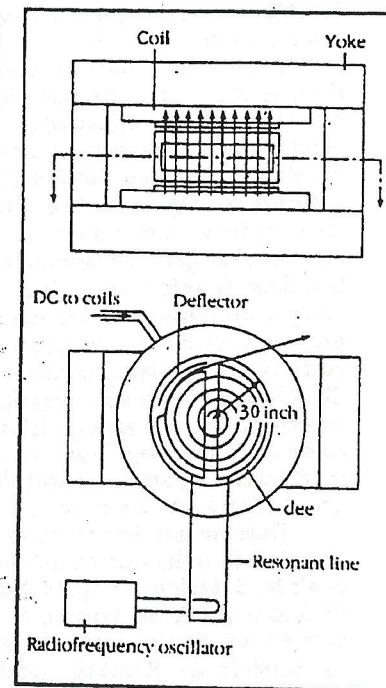


Figura 11.6. Um desenho esquemático do princípio do ciclotron. (De E. Segré, *Nuclei and Particles*, 2ª ed., 1977, com autorização de Benjamin Cummings, Inc.)

Talvez a idéia do ciclotron não fosse inteiramente nova quando ocorreu a Lawrence, mas eram novos o vigor e a objetividade com que Lawrence se dedicou a sua realização na prática, com a ajuda de uma série de colaboradores, a começar por N. E. Edlefsen e M. S. Livingston. Pelo resto de sua vida, Lawrence construiu uma série de ciclotrons ou outros aceleradores de altas energias. Essa progressão lembra a de G. Marconi tentando comunicar-se a distâncias cada vez maiores.

Lawrence precisava de recursos e de ajuda técnica. Voltou-se para pessoas físicas ou fundações em busca desses recursos, acentuando, pelo menos nos primeiros anos, a possível aplicação do ciclotron na área da medicina, aspecto que também era muito caro a suas aspirações humanitárias. Para o recrutamento de assistência técnica, foi auxiliado por seu contagiante entusiasmo, pelo êxito manifesto do empreendimento e pelas condições de desemprego entre os físicos na década de trinta. O próprio Lawrence era bastante generoso e permitia que estranhos fizessem uso da

máquina, fornecendo substâncias radioativas produzidas pelo ciclotron a colegas cientistas, a ele ligados ou mesmo de longe, e recusando o crédito pelo trabalho para o qual tinha contribuído, indireta ou virtualmente, oferecendo meios técnicos indispensáveis. Também estava sempre pronto a fornecer cópias de projetos e a ajudar a qualquer um que quisesse construir um ciclotron.

Logo se deu conta de que era mais fácil identificar capacidade técnica do que capacidade de liderança; assim, concentrou seu grande talento administrativo na organização, no sentido mais amplo, e deixou o trabalho técnico quase que inteiramente a cargo dos colaboradores. Aproveitando-se da atração que seu laboratório exercia sobre jovens cientistas de alto gabarito, conseguiu recrutar um excelente grupo de especialistas. Observava-os de perto e, sem interferir, deixava que demonstrassem suas aptidões em benefício geral do laboratório. Sob esse aspecto, concedia considerável liberdade de ação mas exigia em troca uma ilimitada dedicação ao trabalho. Sempre foi muito otimista em assuntos técnicos, acreditando que muitos problemas com os aceleradores podiam ser solucionados pela força bruta ou então que a persistência acabaria por descobrir soluções para quaisquer dificuldades. Certa vez, sugeriu uma certa mudança de peças polares do ciclotron. Fez-se o arranjo laboratorial, mas o resultado foi negativo. Seu comentário foi o seguinte: "Excelente! Se isso destrói o feixe, tentaremos a modificação oposta e conseguiremos o resultado desejado" — era uma atitude típica de Lawrence.

Durante um determinado período, ele reuniu um grupo de cientistas de primeira linha que se tornaram especialistas em aceleradores, entre os quais M. S. Livingston, E. McMillan, L. Alvarez, R. Thornton, D. Cooksey, W. Brobeck e R. R. Wilson. Na realidade, uma grande parte da primeira geração de construtores de aceleradores formou-se em Berkeley, no Laboratório de Radiação (atual Laboratório Lawrence Berkeley). Don Cooksey (1892-1977), teve um lugar de destaque entre eles. Era um homem de posses que tinha um PhD em física por Yale. Logo reconheceu a capacidade de Lawrence e devotou a vida a ajudá-lo. Admirava-o, entendia-o e gostava muito dele, e sua ajuda estendeu-se a todos os campos — técnico, financeiro e humano. Sua dedicação e sua lealdade eram ilimitadas e completamente altruístas e discretas. Cooksey teve um papel fundamental no êxito das tarefas empreendidas por Lawrence.

O primeiro ciclotron tinha um diâmetro de algumas polegadas. Sua câmara de vácuo de vidro, na qual os íons deveriam circular, cabia em uma operação. O segundo foi um pouco maior, e em 1930 obteve-se sucesso na sua operação. As primeiras desintegrações conseguidas com um ciclotron foram anunciadas em 1932. Logo que cheguei a Berkeley, em 1936, já ali havia um ciclotron de 37 polegadas, construído com um excedente de magneto originário da Federal Telegraph Company, que produzia fontes fortes de isótopos radioativos (Figura 11.7). Seguiu-se um ciclotron de 60 polegadas em 1939 (Figura 11.8). Cada uma dessas máquinas era usada para pesquisas importantes na área da física ou da química.

No início da década de trinta, Lawrence tentou a física nuclear com o ciclotron. Alguns dos resultados saíram errados e Lawrence trocou então

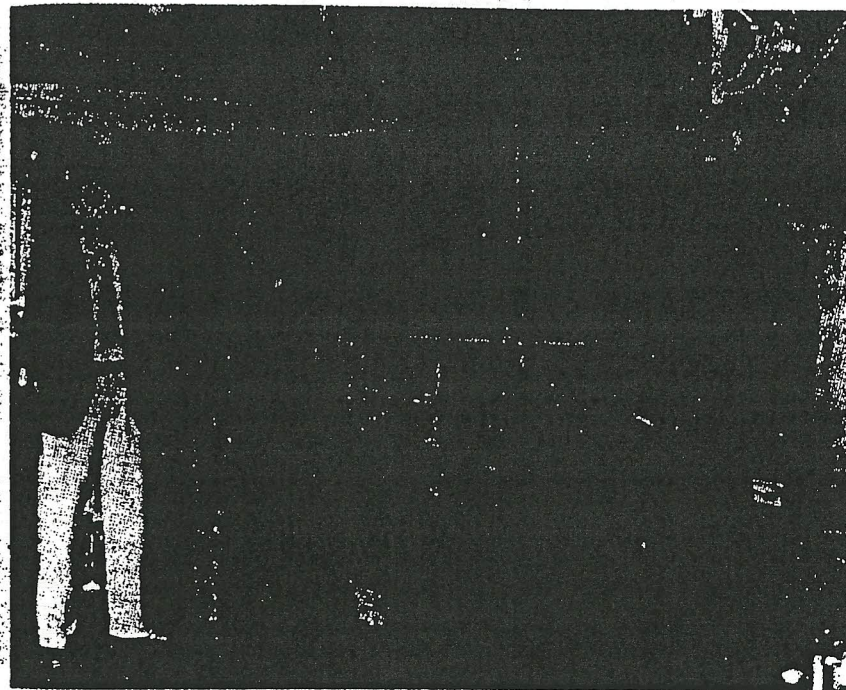


Figura 11.7. M. S. Livingston e E. O. Lawrence no Salão LeConte na Universidade da Califórnia, Berkeley, de pé e próximos ao ciclotron de 37 polegadas. De início, esse ciclotron media 27 polegadas, mas foi ampliado em 1936. Foi usado para medir o momento magnético do nêutron e para produzir o primeiro elemento artificial, o tecnécio. (Laboratório Lawrence Berkeley.)

longa correspondência sobre o assunto com os físicos do Laboratório Cavendish, que não se mostraram de acordo com ele. Esse episódio talvez tenha contribuído para fazê-lo dedicar-se quase que exclusivamente ao aperfeiçoamento da máquina, decisão feliz para o progresso científico, porque era esse o campo em que ele realmente sobressaía. De qualquer modo, seu interesse básico era o próprio desempenho do ciclotron, o que fazia sobrar relativamente pouca atenção para o uso do aparelho na ciência. Um ou dois anos antes de Curie e Joliot terem descoberto a radioatividade artificial, Lawrence já estava fazendo no ciclotron substâncias radioativas em quantidades milhares de vezes maiores do que aquelas observadas por Curie e Joliot. Mas não percebeu que estava bem perto da radioatividade. Mais tarde, ocorreu o mesmo com respeito à fissão. Embora interessado em descobertas científicas, Lawrence não se dispunha a sacrificar o aperfeiçoamento da máquina à pesquisa nuclear. Durante a maior parte do tempo a máquina servia para a manutenção, melhoramento de engrenagens ou pes-

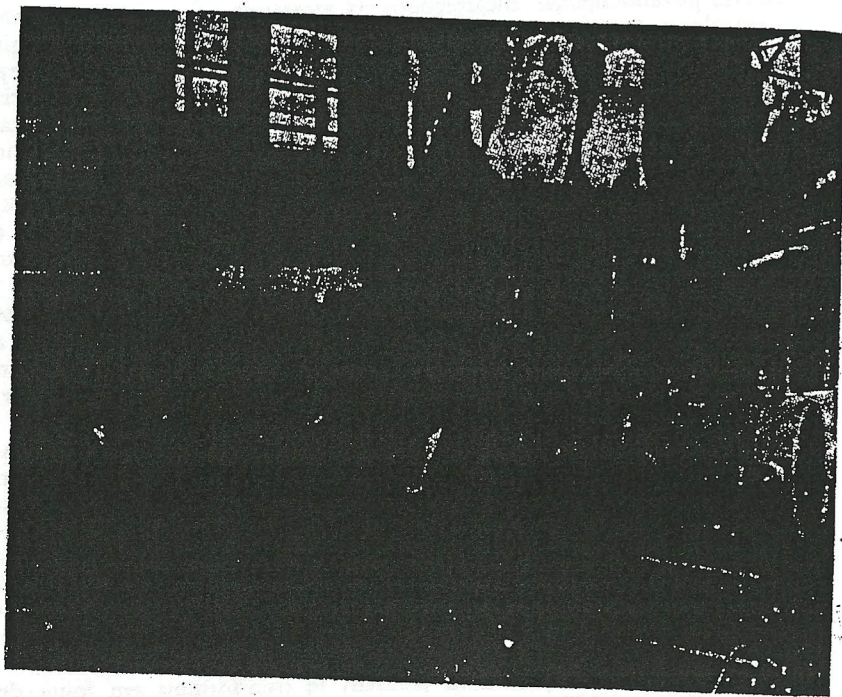


Figura 11.8. O ciclotron de 60 polegadas no Laboratório Crocker, da Universidade da Califórnia, Berkeley, em 1944. De pé, a partir da esquerda: D. C. Cooksey, D. Corson, E. O. Lawrence, R. L. Thornton, J. Backus, W. Salisbury; sobre o ciclotron: L. W. Alvarez e E. McMillan. Muitos elementos transurânicos foram produzidos por esse ciclotron. (Laboratório Lawrence Berkeley.)

quisas médicas, o que impediu a possibilidade de concentrar-se um esforço técnico e intelectual na área nuclear.

A infatigável dedicação de Lawrence ao aperfeiçoamento da máquina nem sempre era apreciada pelos jovens físicos que o cercavam. Toda vez que surgia uma oportunidade, eles procuravam usar o ciclotron, de forma quase que sub-reptícia, para finalidades científicas.

Num retrospecto, chego a pensar que a unicidade do objetivo de Lawrence foi necessária para um aperfeiçoamento mais proveitoso das máquinas. Em outros laboratórios, os físicos construíam ciclotrons e tentavam usá-los para as pesquisas científicas logo que possível, com resultados um tanto insatisfatórios porque as máquinas quase sempre precisavam de reparos e não podiam ser usadas continuamente. Também era difícil achar pessoal especializado em ambos os campos, e só laboratórios muito maiores que os então existentes e dotados de muito mais recursos poderiam atingir as duas finalidades.

A organização do Laboratório de Radiação era muito diferente da dos laboratórios universitários em geral e por esse motivo os diretores da universidade, já desde 1932, o reconheciam como uma entidade à parte em relação ao Departamento de Física. A despeito de um pouco de ciúme e atrito, o que era inevitável, prevaleceu uma coexistência pacífica e mesmo cordial entre o Laboratório de Radiação e o Departamento de Física, com incalculável proveito para ambos.

O financiamento do Laboratório de Radiação era basicamente de responsabilidade de Lawrence e representava um problema difícil. O dinheiro era muito escasso e a economia estava em depressão. Lawrence teve de passar muito tempo à procura de possíveis doadores e em atividades promocionais, e na maior parte do tempo longe de Berkeley. Como se tratava de homem extraordinariamente dotado para as atividades de relações públicas, provavelmente essa tarefa foi de seu agrado. Os benfeitores se impressionavam com sua personalidade, otimismo e êxito, e com a forma responsável como ele argumentava em favor de suas solicitações. O laboratório era administrado sob rígidas normas de economia, poupando dinheiro de todas as formas possíveis.

Políticas e Personalidades

Na década de trinta, J. R. Oppenheimer, professor de física teórica em Berkeley, era amigo íntimo e confidente de Lawrence, embora fossem praticamente adversários em matéria de ciências e de política. A amizade genuína que existe entre personalidades tão distintas pode ser surpreendente: a revelação de sua base exigiria uma análise detalhada dos dois homens, que talvez admirassem as qualidades complementares um do outro.

Mais tarde, quando a situação na Europa caminhava a passos largos para a catástrofe, Oppenheimer acolheu os *slogans* da extrema-esquerda e Lawrence, fiel a suas tradições do Centro-Oeste, se manteve numa posição relativamente neutra. Além disso, não lhe passava pela cabeça a importância que a energia atômica poderia ter para fins bélicos. No entanto, quando a guerra eclodiu na Europa, Lawrence percebeu que a sobrevivência da Grã-Bretanha era essencial e que se fazia necessário ajudar aquele país de qualquer maneira. Convenceu seus amigos mais íntimos e seus colaboradores McMillan e Alvarez a ajudarem no projeto de uso mais imediato, o radar de Cambridge, Massachusetts. A energia atômica e as armas atômicas pareciam a Lawrence algo de ficção científica e ele não era o único a pensar desse modo. De fato, muitos físicos norte-americanos de renome pensavam da mesma forma, ou pelo menos davam a programas atômicos uma prioridade muito menor do que às atividades de pesquisa do radar, e talvez com razão, de um ponto de vista imediatista. Durante certo período, a energia nuclear era defendida basicamente por físicos europeus que tinham vindo para os Estados Unidos fugindo de Hitler e Mussolini. Depois, Lawrence, Compton e outras grandes personalidades norte-americanas se deram conta do potencial da atividade nuclear e assumiram posição de liderança. Logo compreenderam que as dimensões da tarefa imaginada pelos europeus eram totalmente irrealistas. Os americanos erraram talvez

em uma escala de um para dez ao subestimarem os esforços que seriam necessários, mas os europeus erraram em uma escala de um para mil.

Após o ataque a Pearl Harbor, Lawrence mudou radicalmente de atitude e logo pôs o laboratório para trabalhar no esforço de guerra. Tendo ouvido dizer que a separação do isótopo de urânio era de fundamental importância, decidiu enfrentar esse problema difícil e básico da maneira mais direta possível, construindo centenas de gigantescos espectrógrafos de massa. Insistiu nesse modo particular de separar isótopos e acabou tendo sucesso. Os gastos foram enormes e o sucesso, pelo menos em parte, baseou-se no desenvolvimento paralelo de métodos de difusão que permitiam alimentar os espectrógrafos com material levemente enriquecido. Uma das primeiras bombas atômicas, aquela lançada sobre Hiroxima, na realidade continha U²³⁵ separado em Oak Ridge por cálutrons, nome dado por Lawrence aos espectrógrafos de massa.

Durante a guerra, Oppenheimer, amigo de Lawrence, foi nomeado diretor do laboratório em Los Alamos, onde se construiu a bomba atômica, e assim pela primeira vez na vida teve em suas mãos grande poder e responsabilidade. No fim da guerra, tanto Lawrence quanto Oppenheimer tinham amadurecido apreciavelmente, sobretudo Oppenheimer, que modificara suas posições esquerdistas ingênuas. Os dois ficaram famosos diante da opinião pública, o que significava para Oppenheimer uma experiência inteiramente nova. Acabaram por afastar-se um do outro, lançando-se como líderes de facções contrárias em uma séria controvérsia relacionada com a construção de uma superbomba de hidrogênio. Diversos autores têm escrito livros e peças sobre a luta dos dois cientistas. Quase sempre essas efusões literárias são extremamente parciais, sobretudo contra Lawrence; por outro lado, há uma biografia oficial de Lawrence que parece mais uma hagiografia.

As raízes do antagonismo entre Lawrence e Oppenheimer residem na personalidade de ambos e nas novas circunstâncias em que se viram envolvidos, quando passaram a divulgar suas opiniões divergentes nas universidades às quais estavam ligados, quer se tratasse de opiniões sobre ciências políticas, quer se tratasse mesmo de opiniões sobre política interna. Cada um deles era apoiado por amigos entusiastas e leais que, por sua vez, se encarregavam de difundir seus pontos de vista. E, o que é mais importante, Lawrence e Oppenheimer faziam avaliações bastante diferentes da situação internacional e do que era desejável e possível para os Estados Unidos e para o mundo. Oppenheimer tinha uma visão internacionalista e realista do poder e das limitações dos Estados Unidos e temia conflitos futuros com a Rússia. Lawrence confiava nos Estados Unidos e acreditava mais em soluções técnicas de força e na eficácia dos armamentos. Ambos estavam profundamente convencidos da honestidade de suas causas e acreditavam estar trabalhando em favor da paz. Obviamente tais divergências ainda existem hoje.

Depois da primeira explosão nuclear feita pela União Soviética (29 de agosto de 1949), Edward Teller (nascido em 1908), um especialista em física teórica de origem húngara, além de Lawrence e L. W. Alvarez convenceram-se de que a segurança dos Estados Unidos exigia um esforço conjunto no sentido de se construir uma bomba termonuclear de poder ilimitado — isto é,

um poder determinado apenas pela quantidade de material usado. Os setores governamentais encarregados da assessoria sobre o assunto, em particular o Comitê Geral de Assessoramento da Comissão de Energia Atômica (J. B. Conant, H. Rowe, C. S. Smith, L. A. Dubridge, O. E. Buckley, Oppenheimer, Fermi e I. I. Rabi) eram de opinião diferente, o que ocorria também com a maioria dos integrantes da Comissão de Energia Atômica. Teller, Lawrence e seus seguidores lançaram então uma campanha no sentido de convencer personalidades políticas e militares. Muitos grupos foram envolvidos, inclusive altas patentes das forças armadas, congressistas, senadores e membros do gabinete. O sigilo impediu a discussão pública e envenenou a atmosfera. O Presidente Truman tomou a decisão final em janeiro de 1950, em favor dos ativistas.

Alguns dos programas promovidos por Lawrence eram tecnicamente malconcebidos e fracassaram, com grande desperdício de dinheiro. Mas a bomba de hidrogênio pôde ser construída graças a uma invenção, feita em Los Alamos, pelo matemático S. Ulam, nascido na Polônia, e por E. Teller: Aquele laboratório construiu a bomba detonada em novembro de 1952.

As rivalidades dentro do próprio laboratório e os conflitos de personalidade provocaram uma dissensão entre Teller e o diretor do laboratório em Los Alamos, N. Bradbury, que tinha sucedido a Oppenheimer no cargo. Em consequência, Lawrence empreendeu uma campanha em favor da construção de um segundo laboratório de armas em Livermore, Califórnia, sobre o qual manteria controle. A construção desse laboratório teve início em 1952, mas as animosidades entre os contendores prosseguiram e contribuíram para a cassação da permissão para Oppenheimer tratar de assuntos secretos, mencionada antes.

O Laboratório Livermore também se transformou em fonte de liderança para o *establishment* militar norte-americano. H. F. York, H. Brown e J. Foster, jovens físicos recrutados por Lawrence, foram, sucessivamente, diretores do Laboratório Livermore e mais tarde chefes do programa norte-americano de desenvolvimento e pesquisas militares, durante longo período.

Nos últimos anos de sua vida, Lawrence inventou e aperfeiçoou um sistema de televisão em cores que, no entanto, teve pequeno impacto na indústria. Lawrence era, sem dúvida alguma, um amante da paz. Infelizmente suas opiniões eram quase sempre ingênuas e, no fim, contribuíram para a corrida armamentista que veio a reduzir a segurança do mundo inteiro. Ao assistir, na qualidade de especialista, a uma conferência sobre desarmamento em Genebra, foi de novo atacado por uma crise de colite, doença que o perseguia há muito tempo. Voltou imediatamente para os Estados Unidos, mas morreu algumas semanas depois, em 27 de agosto de 1958, após uma cirurgia.

Corrida por Energias Mais Altas

Ao final da guerra, surgiu um período de indecisão quanto ao apoio às pesquisas científicas nos Estados Unidos. A Fundação Nacional da Ciência

ainda estava no papel. A Marinha, através do Gabinete de Pesquisas Navais, estava empreendendo tarefa importante em um campo distante de suas atividades tradicionais. A Comissão de Energia Atômica (CEA), sucedendo ao Distrito de Manhattan da época da guerra, estava dando os primeiros passos. Lawrence tinha visão nítida do que queria fazer, além de boas relações com o General L. R. Groves, baseadas em seu desempenho e na confiança pessoal. Conseguiu logo um apoio incalculável, primeiro por parte do General e, depois, por parte da Comissão de Energia Atômica (CEA). Mas preservou um elevado grau de autonomia mediante um contrato entre a CEA e a Universidade da Califórnia. As condições árduas dominantes no período que antecedeu à guerra eram, dessa forma, substituídas por um apoio generoso, e Lawrence pôde voltar às suas tarefas preferidas, em condições favoráveis. Antes da guerra, Lawrence tinha planejado construir um ciclotron com 100 MeV de energia que representava para a época um nível altíssimo. Esperava sobrepujar as dificuldades relativísticas por um método de força bruta.

O magneto para a máquina já tinha sido construído e, durante a guerra, fora transformado em um magneto para estudar cáclutrons. Não sei se a máquina em sua concepção original teria funcionado de modo satisfatório, mas felizmente não foi preciso testá-la: durante a guerra, McMillan, em Los Alamos, inventou um método para superar as dificuldades relativísticas que usa o princípio da *estabilidade de fases*. Por estranho que pareça, o mesmo método tinha sido inventado um pouco antes, sem que McMillan dissesse conhecimento, por V.I. Veksler, na União Soviética. Os dois, cavaleiros que eram, logo se deram conta do que ocorrera. Conscientes da boa-fé um do outro, evitaram qualquer disputa sobre prioridade e ficaram bons amigos até a morte — inesperada — de Veksler.

Alguns anos mais tarde, uma segunda invenção também se fazia necessária para vencer as dificuldades inerentes à construção de aceleradores de energia ainda mais elevada. Trata-se do método *strong focusing* ("focalização forte"), que também tem uma história curiosa. Em 1949, um cientista greco-americano, N. Christofilos, totalmente desconhecido no mundo científico, encaminhou a Lawrence uma solicitação de registro de patente na qual descrevia a "focalização forte". Os feixes de partículas nos aceleradores precisam permanecer juntos durante um grande número de revoluções na máquina, o que permite seja a aceleração repetida muitas vezes, essencial para que se alcancem altas energias. A focalização forte permite que se contemham as órbitas em condutos relativamente pequenos, o que é de grande importância prática. Lawrence provavelmente não leu a solicitação do registro de patente. Passou-a para um colega, que, após rápido exame, não chegou a entendê-la.

Alguns anos mais tarde, em 1952, E. D. Courant, M. S. Livingston e H. Snyder, sem conhecimento do trabalho de Christofilos, reinventaram o mesmo método, descreveram-no em elegante forma matemática e planejaram um acelerador baseado nele. Quando Christofilos veio a saber disso ficou — e com toda razão — desorientado. Foi uma situação embaraçosa para a CEA. A representação governamental resolveu o problema reconhecendo os fatos e contratando Christofilos para um de seus laboratórios, onde ele

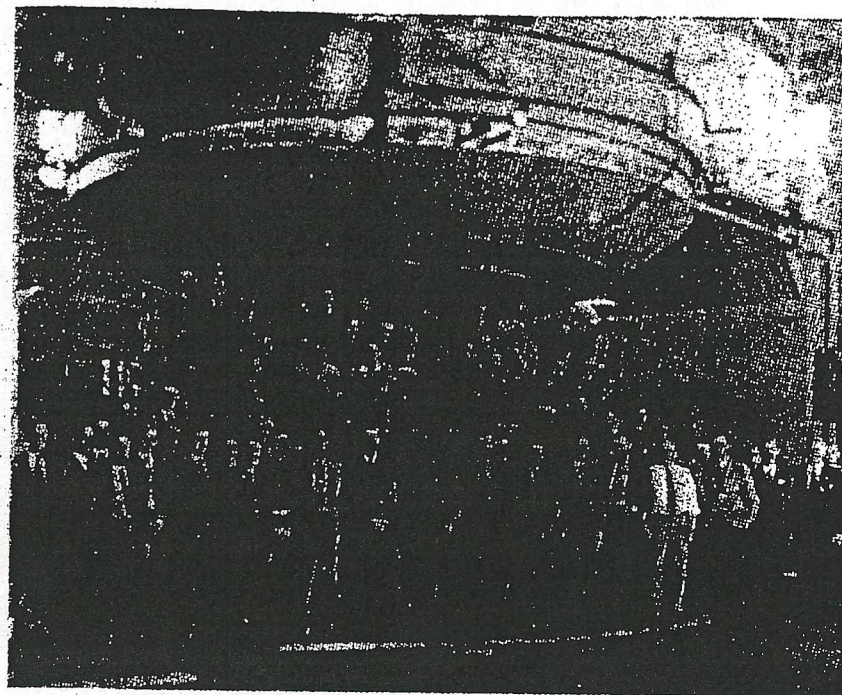


Figura 11.9. O sincrociclotron de 184 polegadas construído após a guerra. Alguns dos inúmeros especialistas que trabalharam na construção da máquina aparecem na fotografia. Os primeiros mésons artificiais foram produzidos nessa máquina. (Laboratório Lawrence Berkeley.)

continuou a fazer várias invenções até sua morte, repentina, em 1972, aos cinquenta e cinco anos de idade.

O pós-guerra testemunhou um verdadeiro salto nas dimensões dos aceleradores. Em Berkeley, os cientistas e engenheiros do Laboratório de Radiação, usando o magneto mencionado anteriormente, construíram um sincrociclotron de 184 polegadas (Figura 11.9) e um acelerador de elétrons, incorporando o princípio da estabilidade de fases. O sincrociclotron de Berkeley foi a máquina que, pela primeira vez, produziu mésons artificiais. A ele seguiu-se o bévatron, que alcançava 6,4 GeV e criava pares próton-antipróton (Figura 11.10). Aparelho semelhante também foi construído em outras partes do mundo. Na Universidade de Illinois, em Urbana, por exemplo, D. Kerst construiu um acelerador de elétrons de maior porte, no qual se obtinha a aceleração por indução, sem quaisquer campos elétricos externos. Esse tipo de acelerador, chamado bévatron, tinha sido inventado e testado por Kerst, em pequena escala, antes da guerra. Em Chicago, Fermi e

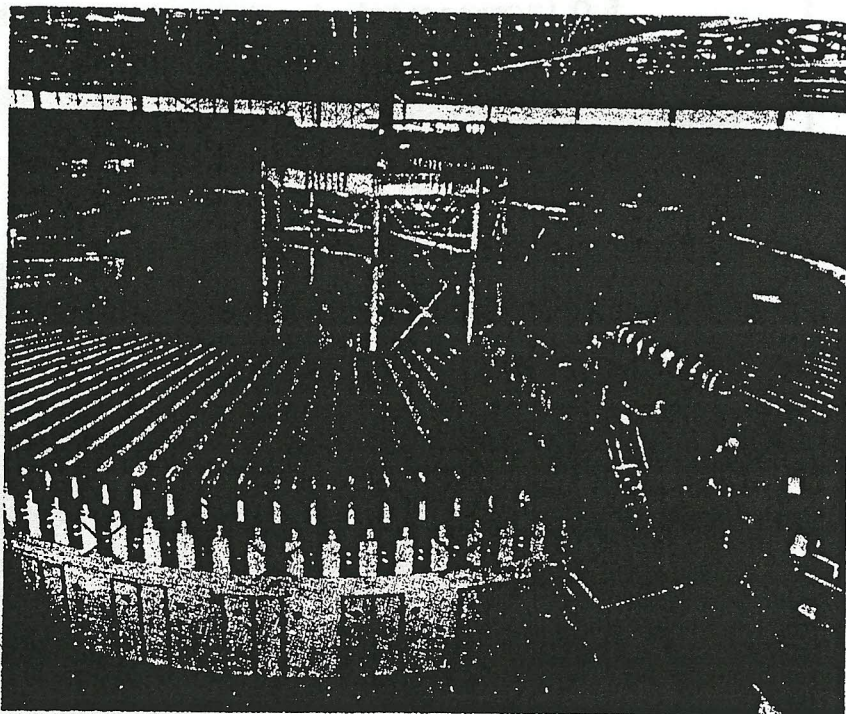


Figura 11.10. O bévatron durante o período de construção. Trata-se de um ciclotron para prótons, ou de um próton-síncrotron, que alcançava a energia de 6,4 GeV e produziu os primeiros pares do próton-antipróton. Observe-se a altura do homem no canto direito da parte inferior da foto. (Laboratório Lawrence Berkeley.)

seus colegas construíram um sincrociclotron semelhante ao de Berkeley; no Laboratório Nacional de Brookhaven, um novo laboratório construído em Long Island, Nova Iorque, por um conglomerado de universidades do Leste, M. Livingston e outros construíram o cosmotron, que atingiu 3 GeV. Secretamente, os soviéticos construíram um acelerador de 10 GeV em Dubna e revelaram sua existência em uma conferência sobre átomos para a paz, em Genebra, 1955.

Com as alterações ocorridas na organização, financiamento e estrutura desses empreendimentos, a ciência passou a depender cada vez mais do governo nacional, e não do apoio local ou particular. Como consequência, os governos passaram a ter influência mais direta na política científica e isso propiciou a formação de laboratórios nacionais. Faz pouco tempo, a base de apoio se estendeu a muitos países, o que tem favorecido a criação de laboratórios internacionais. Fala-se mesmo de um acelerador mundial que

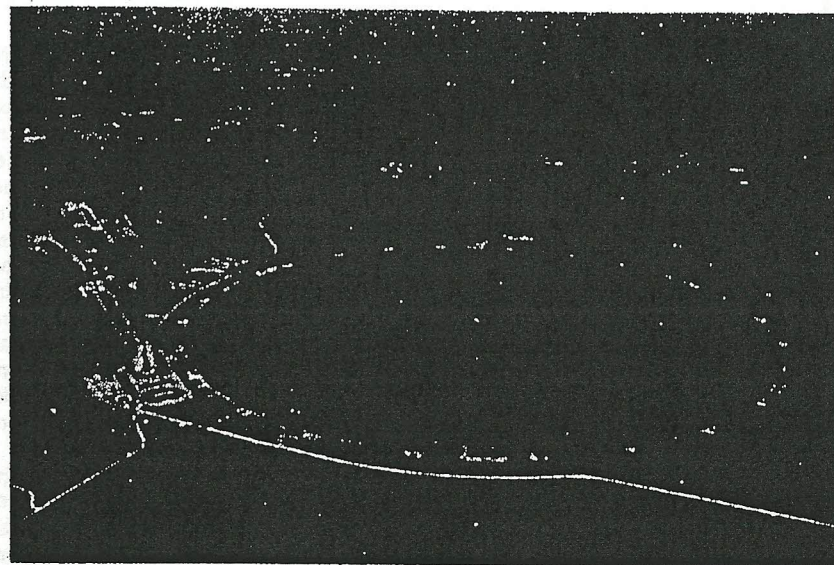


Figura 11.11. Uma vista aérea do Laboratório Nacional Fermi de Aceleradores, Batavia, Illinois. O círculo maior é o acelerador principal; o raio é de 1 km. Três linhas experimentais se estendem em tangente a partir do acelerador. O laboratório central, em duas torres de dezesseis andares, é visto na base das linhas experimentais. (Laboratório Nacional Fermi de Aceleradores.)

alcançaria uma energia de 10^{15} eV, e teria o apoio de nações de boa-vontade, ao preço de 1 bilhão de dólares.

O protótipo do laboratório internacional é o CERN (Centre Européen pour la Recherche Nucléaire), em Genebra, Suíça, apoiado por muitos países europeus. Este laboratório ajudou a tornar o *status* europeu, em matéria de física das partículas, comparável ao dos Estados Unidos, posição perdida durante a guerra em virtude das loucuras dos governos europeus e das catástrofes da guerra.

Hoje os maiores aceleradores estão no Laboratório Nacional de Aceleradores Fermi (FNAL), em Batavia, Illinois, que mantém o recorde de energia (500 GeV); em Serpukhov, na União Soviética (76 GeV); no Laboratório Nacional de Brookhaven (33 GeV); e no CERN (76 GeV), onde no entanto, há anéis de armazenamento que permitem energia no centro de massa ainda maior do que no FNAL, embora de fraca intensidade. O CERN também tem um acelerador de 500 GeV que foi concluído em 1977 (Figura 11.11).

Falamos sobretudo a respeito de aceleradores de prótons. A aceleração de elétrons desenvolveu-se em linhas mais ou menos paralelas à das partículas pesadas. A mecânica relativística foi absolutamente necessária

para seu desenvolvimento, da mesma forma que a mecânica newtoniana foi essencial para a ida à Lua; esta é uma das provas mais concretas da relatividade, se é que ainda há alguma dúvida. Para lidar com perdas de energia devidas à radiação que ocorre quando elétrons rápidos se movem em um círculo, os aceleradores lineares são melhores do que os aceleradores circulares. Para energias muito elevadas, volta-se a recorrer a aceleradores lineares, como o acelerador linear de Stanford, de duas milhas de comprimento (SLAC), em Palo Alto, Califórnia, que produz elétrons, pósitrons e fótons. Combinado com anéis de armazenagem e feixes colidentes, alcança energias de 8 GeV no centro de massa.

A corrida por energias mais elevadas é interrompida por um problema sério quando a energia da partícula é grande comparada à energia em repouso do projétil e do alvo. A energia importante não é a energia do projétil no laboratório, mas a energia no centro de massa do projétil e do alvo. A última, por exemplo, é que serve para criar novas partículas. Para um próton atingindo um próton, essa energia no centro de massa é dada no caso relativista extremo pela expressão $E = \sqrt{2Mc^2E_{lab}} - Mc^2$ são $E = 0,938$ GeV e, assim, um próton de 1.000 GeV no laboratório atingindo um outro próton em repouso tem uma energia no centro de massa de apenas 43 GeV! O custo das máquinas aumenta em termos proporcionais à energia do laboratório ou talvez com maior velocidade; desse modo, fica evidente que a corrida por altas energias aumentando a energia do laboratório é, do ponto de vista financeiro, uma proposta que dá prejuízo.

Fazendo colidir dois feixes de prótons de 22 GeV, obtém-se no centro de massa a mesma energia alcançada pelo acelerador de 1.000 GeV, embora a intensidade passível de ser obtida seja muito menor. Os feixes colidentes parecem ser, hoje em dia, a única opção disponível para a obtenção de altíssimas energias de centro de massa.

Em 1979, o recorde de energia no centro de massa para colisões elétron-pósitron ficou por volta de 30 GeV, obtido no Desy (Deutsches Elektronen Synchrotron), perto de Hamburgo, Alemanha. Os raios cósmicos, no entanto, mantêm o recorde de energia absoluta: 10^{20} eV. Tais energias são inatingíveis por qualquer meio laboratorial num futuro próximo, mas os raios cósmicos são incontroláveis e, a uma energia extremamente alta, muito raros. É difícil usá-los para pesquisas de partículas.

A necessidade de máquinas tem condicionado o progresso da física de partículas. Esse campo de pesquisas de vanguarda será estudado no capítulo seguinte.

Capítulo XII

Além do núcleo

Ao final da guerra, os físicos que se haviam envolvido no conflito tiveram de cuidar do futuro. A grande maioria retornou às universidades (de onde tinham-se afastado temporariamente para participar do esforço de guerra), alguns como professores, outros como alunos. Enquanto isso, o centro de gravidade da física transferira-se da Europa para os Estados Unidos, em parte porque a Europa tinha sofrido grandes danos com o bombardeio, ao passo que os Estados Unidos tinham sido poupados, e em parte porque as grandes realizações de guerra, como o radar, a bomba atômica e os primeiros computadores tinham estabelecido a supremacia científica nos Estados Unidos. E também porque as políticas ensandecidas dos países do Eixo tinham-nos destituído de considerável quantidade de sua mão-de-obra científica. Além do mais, as condições de vida em uma Europa devastada não se mostravam acolhedoras mesmo depois da guerra.

Em física ocorreram algumas mudanças grandes e óbvias: em física nuclear, o total de dados experimentais tinha aumentado imensamente e era evidente que estavam para ocorrer outros aumentos, tanto do ponto de vista qualitativo quanto do ponto de vista quantitativo. Novas invenções na área de máquinas de aceleração e de reatores nucleares proporcionavam fontes de radiações de uma intensidade inesperada. Outras técnicas mecânicas derivadas do radar contribuíram para a abertura de possibilidades inteiramente novas.

A ciência tinha-se apercebido da imaginação pública e, em consequência, surgiam generosas doações de recursos públicos. Nos Estados Unidos, propôs-se a criação da Fundação Nacional da Ciência, para financiar pesquisas científicas, mas o processo legislativo para implementá-la foi lento e, até certo ponto, ineficaz. Nesse meio tempo, a Marinha e a Comissão de Energia Atômica, uma nova instituição do pós-guerra relacionada à energia nuclear, decidiram intervir, oferecendo recursos para as pesquisas puras até que a situação se desanuviasse. A ação da Marinha é historicamente digna de nota. O Alto Comando decidiu que, para suas próprias finalidades, era mais útil financiar um programa científico intenso, mas inteiramente livre, sem quaisquer vínculos explícitos ou implícitos, do que aumentar a frota com um, ou mais, grande navio. Dessa forma, a Marinha financiou todos os tipos de pesquisas científicas, do mais alto nível, mas sem nenhuma vinculação mais evidente com seus objetivos navais.