

---

## Sir Ernest e Lorde Rutherford of Nelson

Com as obras de Planck e de Einstein descrevemos o estágio em que se encontrava a física teórica até a Primeira Guerra Mundial e até o período imediatamente posterior àquele conflito. Mas deixamos a física experimental por volta de 1907, quando Ernest Rutherford partiu do Canadá para a Inglaterra, onde viria a exercer o cargo de professor da Universidade de Manchester. Dessa época até a Primeira Guerra Mundial, as pesquisas progrediram com rapidez e Rutherford era a figura dominante. Neste capítulo, trataremos de sua obra e de outras descobertas experimentais daquele período.

### De Volta à Inglaterra

A cátedra de física em Manchester, uma das mais importantes universidades provinciais inglesas, vagara em virtude de Sir Arthur Schuster (1851-1934), grande espectroscopista, ter decidido aposentar-se, mas com a condição de que Rutherford fosse seu substituto. A despeito de suas origens alemãs, Schuster era um homem inteiramente anglicizado. Herdara uma fortuna e gastara parte dela equipando seu departamento com um excelente laboratório. Embora o campo de estudos de Rutherford pouco tivesse a ver com o de Schuster, Sir Arthur deu-se conta de que não poderia encontrar melhor sucessor e fez o possível para convencer Rutherford a aceitar o cargo. Arranjara uma dotação para o Instituto e também financiara uma bolsa para um físico teórico, que mais tarde veio a beneficiar H. Bateman, G. C. Darwin (neto do naturalista) e Niels Bohr. Schuster também tinha um assistente alemão, Hans Geiger (1882-1945), que trabalhou sob a orientação de Rutherford e depois se tornou um físico nuclear de primeira linha. Geiger sempre manteve contato com Rutherford e, após voltar a seu país de origem, de lá contribuiu para o desabrochar dos estudos nucleares. Seu nome é familiar para todos aqueles que já lidaram com substâncias radioativas e que provavelmente já fizeram uso de seu invento, o contador Geiger, um dos mais úteis instrumentos para a detecção da radioatividade. Também como integrante da equipe de Manchester estava um técnico, W. Kay, que auxiliou Rutherford durante todo o período em que este ali anou.

Manchester dispunha, no entanto, de pequena quantidade de rádio, menos de 20 miligramas, e Rutherford precisava de rádio, que, à época, era produzido quase que exclusivamente pelas minas de Joachimstal, na Áustria

(atualmente território da Tchecoslováquia). A Academia de Ciências de Viena emprestou 350 miligramas de brometo de rádio a Ramsay, do University College, em Londres. Esse empréstimo destinava-se tanto a Ramsay quanto a Rutherford, mas houve um arito entre os dois cientistas, que acabaram por não querer dividir a oferta. Felizmente, Rutherford conseguiu outros 350 miligramas como empréstimo feito pela Academia de Ciências de Viena e assim o problema ficou resolvido. O rádio emprestado permaneceu em poder de Rutherford durante toda a Primeira Guerra Mundial. No final da guerra, o Governo inglês quis confiscá-lo como propriedade do inimigo, mas Rutherford insistiu em que o rádio devia ser comprado como se se tratasse de um negócio comum. Com o resultado da venda, pôde ele ajudar o empobrecido Instituto de Viena e seu diretor, Professor Stefan Meyer, que tinham ficado arruinados com a guerra. Esse ato de justiça e generosidade comoveu profundamente os cientistas austríacos.

Tendo-se fixado em Manchester e obtido o rádio de que precisava, Rutherford mais uma vez lançou-se à pesquisa. De início, voltou a investigar velhos temas. Usando métodos espectroscópicos, conseguiu uma confirmação definitiva de que a partícula alfa era hélio ionizado. Fez isso com a ajuda de T. Royds, outro beneficiário da bolsa de estudos da Exposição de 1851 (Figura 6.1).

#### Novas Luzes sobre as Partículas Alfa

Em 1908, Rutherford recebeu o Prêmio Nobel de Química. No discurso de aceitação, "A Natureza Química das Partículas Alfa Originárias de Substâncias Radioativas", descreveu a contagem de partículas alfa isoladas através do método da cintilação, ou seja, ele contava os átomos um a um, olhando, por um microscópio de baixa potência, os reflexos no sulfeto de zinco provocados pela chegada de partículas alfa. Geiger participou ativamente desse trabalho, que até certo ponto era entediante e exigia de ambos longas horas em meio a trevas absolutas.

Se o leitor desejar ver cintilações, tudo o que precisa fazer é olhar para os números de um mostrador luminoso de relógio com uma lente de aumento, o que deve ser feito depois que o observador tiver ficado no escuro durante algum tempo, como faria no primeiro instante em que se levanta em meio à escuridão. Contando átomos, Rutherford e Geiger conseguiram um meio de determinar o número de Avogadro, a carga do elétron e outras constantes universais que também puderam ser descobertas mediante experiências inteiramente diferentes, como, por exemplo, o estudo da radiação dos corpos negros. Os números obtidos por ambos os métodos se correspondiam e essas experiências convenceram, mesmo o mais cético dos físicos, da existência real dos átomos, derrubando a velha guarda mais obstinada e mais conservadora.

Essas experiências também ajudaram a persuadir os ingleses dos méritos da teoria dos *quanta*, na medida em que a carga elétrica do elétron e outras constantes determinadas por Rutherford estavam tão próximas dos valores dados anteriormente por Planck, usando a teoria da radiação dos corpos negros.

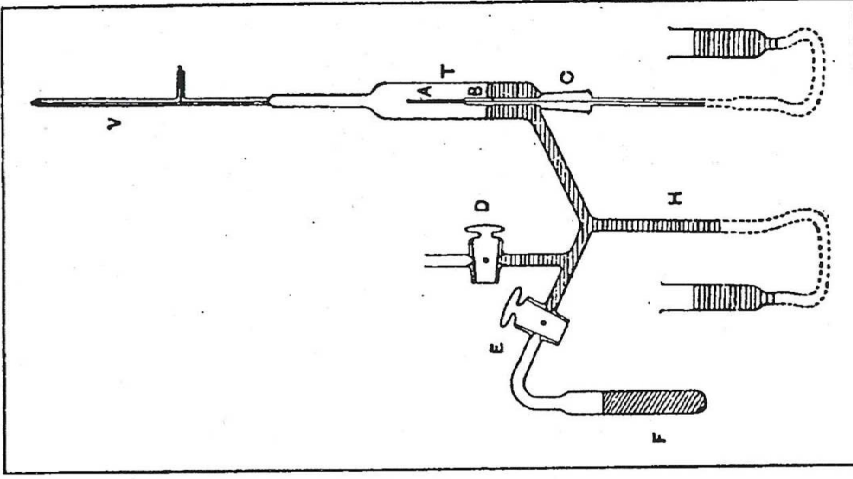


Figura 6.1. A aparelhagem de Rutherford e Royd para demonstrar a natureza das partículas alfa. A agulha A contém radônio, cujas partículas alfa emergem do vidro e enchem o tubo T com hélio a baixa pressão. O hélio, empurrado pelo mercúrio no tubo de descarga V, mostra o espectro de emissão característico. [Do *Philosophical Magazine* 17, 281, (1900).]

Para a contagem, Rutherford e Geiger usaram um método bem engenhoso que mais tarde foi muito ampliado e bastante aperfeiçoado. As cintilações produzidas por partículas alfa sobre uma tela de sulfeto de zinco não são facilmente visíveis e para cada observador pode-se atribuir um índice de rendimento definido como a razão entre o número de cintilações que ocorrem e o número observado. Suponhamos que dois observadores (Rutherford e Geiger) estejam olhando para a mesma tela e que cada um conte as cintilações que vê pressionando uma chave como aquela usada para enviar uma mensagem telegráfica e assim marcando também o instante da observação. Há três tipos de sinal: (1) do primeiro observador sozinho, (2) do segundo observador sozinho e (3) dos dois observadores juntos. O seu número é

$$n_1 = \eta_1 n \quad n_2 = \eta_2 n \quad n_{12} = \eta_1 \eta_2 n$$



onde  $n_1$ ,  $n_2$  são os rendimentos dos observadores;  $n$  é o número desconhecido de oscilações ocorridas;  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_{12}$  são os números observados por 1 e 2 separadamente e em conjunto. Daí, que  $n = n_1 n_2 / n_{12}$ .

Hoje, os olhos dos observadores são substituídos por aparelhagens eletrônicas ou contadores Geiger, mas o princípio do método permanece o mesmo.

Rutherford enfrentou outro problema que aparentemente era muito mais simples do que a contagem de átomos: a descrição e explicação dos fenômenos que acompanhavam a passagem das partículas alfa através da matéria. Atacou o problema com a ajuda de vários alunos. Por volta de 1904, W. H. Bragg e R. D. Kleeman tinham descoberto que as partículas alfa com determinada energia têm um alcance bem característico, e os dois Braggs (pai e filho) tinham estudado a ionização ao longo da trajetória. Ernest Marsden (1889-1970), um estudante da Nova Zelândia que tinha vindo trabalhar com seu famoso compatriota em 1909, casualmente observou que, vez por outra, as partículas alfa, em vez de seguirem direta ou quase diretamente, eram desfeitas pela matéria e se desviavam em ângulos consideráveis. Quando Marsden descreveu essa observação a Rutherford, o professor fez com que ele repetisse a experiência. Os grandes desvios surpreenderam Rutherford. Mais tarde, ele declarou que foi como se alguém lhe tivesse dito que, ao atirar em uma folha de papel, a bala tivesse ricochetado!

Passaram-se várias semanas. Certo dia, em 1911, Rutherford anunciou que agora sabia por que as partículas de Marsden tinham-se desviado em ângulos largos. E, além disso, sabia qual era a estrutura do átomo.

### O Núcleo Atômico

O que tinha acontecido? Naquela época, havia diversos modelos atômicos. Lorentz utilizou a ideia de que o elétron era elasticamente preso a um centro fixo, o que explicava o efeito Zeeman. Havia o oscilador de Planck e outros modelos, inclusive um de J. J. Thomson, que imaginou um átomo feito de uma carga elétrica positiva difundida em uma esfera com elétrons interpolados, como passas em um pudim. Mas um átomo desse tipo, popular na Inglaterra, não poderia espalhar partículas alfa em ângulo grande porque, se a partícula alfa se aproximasse do centro do pudim, penetrando-o, estaria em uma área de carga média zero e assim não poderia desviar-se. O mesmo se aplicaria se essa partícula fosse para longe do centro, fora do átomo.

Vários cientistas, inclusive o físico japonês H. Nagaoka, tinham pensado na possibilidade de um átomo construído à semelhança do sistema solar, mas isso ainda era vago e especulativo. Rutherford forneceu uma base experimental sólida para essa teoria ao criar um modelo atômico que ainda é válido hoje em dia. Embora atualmente o átomo deva ser descrito mais em termos da mecânica quântica do que da física clássica, felizmente as duas áreas permitem os mesmos resultados no caso das experiências de Rutherford. Rutherford imaginou a hipótese de que toda a carga positiva ( $Ze$ ) e a massa estivessem concentradas em um pequeno volume no centro, ao qual deu o nome de núcleo. O núcleo era cercado por  $Z$  elétrons que giravam em seu

redor. A atração eletrostática entre o núcleo carregado positivamente e os elétrons carregados negativamente estabilizava o átomo. Rutherford afirmou explicitamente que não estava preocupado com a estabilidade do sistema, um ponto vulnerável que levava a grandes dificuldades. Uma partícula alfa considerada como uma carga puntiforme maciça, incidindo sobre o núcleo, é repelida segundo a lei de Coulomb e, conforme Newton já tinha calculado, segue uma órbita hiperbólica, com o núcleo em um dos pontos focais da hipérbole (Figura 6.2). Aparentemente, Rutherford tinha aprendido isso ainda como estudante na Nova Zelândia. Os elétrons, milhares de vezes mais leves do que o núcleo, não afetam a trajetória da partícula alfa. A partir desse modelo, pode-se determinar a probabilidade de a partícula alfa ser desviada em um certo ângulo  $\theta$  ao cruzar uma lâmina delgada.

Em termos concretos, o número de partículas alfa que caem sobre uma tela que subtende um ângulo sólido  $d\omega$  visto do alvo, por partícula incidente no alvo que contém  $n$  átomos por unidade de volume e espessura  $t$ , é dado por  $n t d\sigma d\omega$  com

$$\frac{d\sigma}{d\omega} = \left( \frac{2Ze^2}{mv^2} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin^4(\theta/2)}$$

onde  $\theta$  é o ângulo de desvio,  $v$  a velocidade das partículas e  $m$  a sua massa. A massa do núcleo é considerada infinita com relação a  $m$ . Rutherford enviou o manuscrito de seu trabalho para o *Philosophical Magazine* em abril de 1911.

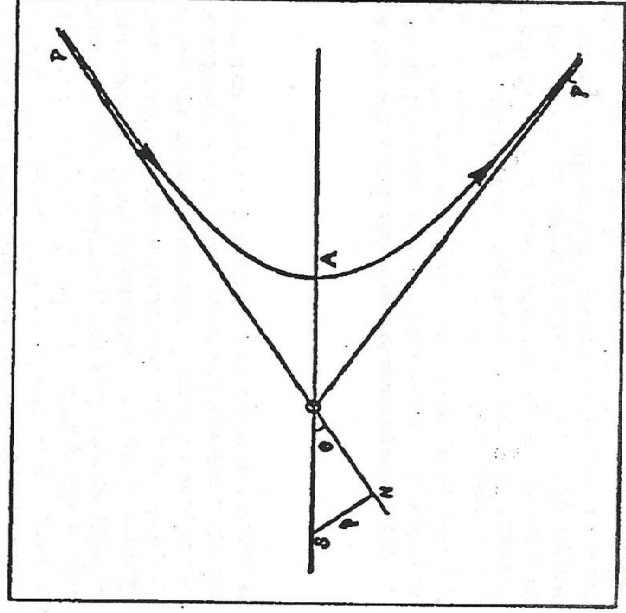


Figura 6.2. Trajetória (de P a P') de uma partícula alfa desviada por um núcleo. Os desvios de partículas alfa que passam através de uma folha fina de metal seguem a lei que foi calculada com base nesta figura. Isso provou a existência de um centro de espalhamento no átomo carregado, mais tarde chamado de núcleo. [Do artigo de Rutherford no *Philosophical Magazine* 21, 669 (1911).]



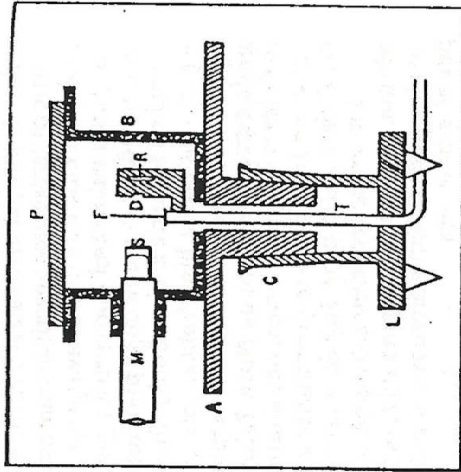


Figura 6.3. A aparelhagem usada por H. Geiger e E. Marsden para estudar o espalhamento de partículas alfa. R é a fonte de partículas alfa, encerrada em um recipiente de chumbo dentro do recipiente de vácuo B. Um fino feixe de partículas alfa passa através da fenda e colide com uma fina folha de metal F. As partículas alfa que passam através da folha colidem com a tela fluorescente M e são observadas através do microscópio L, que, com B, pode ser movido em volta de TF. [Do *Philosophical Magazine* 23, 604 (1913).]

Usando o modesto aparelho que é mostrado na Figura 6.3, Geiger e Marsden confirmaram essa fórmula em todos os seus detalhes, mudando a substância sobre a qual as partículas alfa são projetadas, o que altera Z, mudando a velocidade das partículas alfa, a espessura da folha ou mudando o ângulo de observação,  $\theta$ .

O número Z, característico da natureza química do alvo, foi chamado número atômico. Ele representa a carga elétrica do núcleo, em unidades iguais à carga do elétron, mas com o sinal contrário: para o hidrogênio,  $Z = 1$ , para o hélio,  $Z = 2$ , e assim por diante. Essa descoberta lançou nova luz sobre a definição do elemento químico. A cada elemento podia-se agora associar um número inteiro Z, que também fornece o número de elétrons em órbita. Quando, por volta de 1869, Mendeleev, com genial intuição, aperfeiçoou seu sistema periódico, tinha ordenado os elementos de acordo com o peso atômico de cada um. Agora o modelo de Rutherford revelava que o que conta é o número atômico, e não o peso. A primeira pessoa a observar tal fato foi Antonius van den Broek (1870-1926), um cientista amador da Holanda, em 1913.

### O Átomo Planetário

Neste ponto torna-se muito difícil seguir detalhadamente as descobertas quase simultâneas de muitos aspectos do átomo nuclear. Podemos ter uma idéia da situação lendo, por exemplo, um artigo publicado por Rutherford em fevereiro de 1914, intitulado "A Estrutura do Átomo" (em *Philosophical Magazine* VI, 26, 937). Nesse trabalho, Rutherford tratava da dispersão de partículas alfa e beta e das conclusões que podem ser extraídas no que diz respeito à localização de cargas positivas. Deu então atenção especial à passagem de partículas alfa no hidrogênio e às colisões com o que hoje chamamos de prótons ou núcleos de hidrogênio. Em outra ocasião,

tratando das dimensões e constituição do núcleo, observou que Bohr tinha aduzido argumentos para atribuir uma origem nuclear aos elétrons emitidos no decaimento radioativo, assim diferenciando elétrons atômicos de elétrons nucleares. Com relação à carga nuclear, Rutherford apresentou a hipótese de van den Broek, bem como a lei de Soddy sobre o deslocamento radioativo. Esta diz que um núcleo muda sua natureza química de acordo com seu lugar no sistema periódico, movendo-se dois lugares para trás na emissão de uma partícula alfa e um para a frente na emissão de uma partícula beta. Isso, naturalmente, deriva da carga da partícula alfa  $Z = 2$  e da carga do elétron: -1. Ao emitir uma partícula alfa, o núcleo perde duas unidades de carga; ao emitir um elétron, ganha uma.

Os raios X são úteis na medição do número atômico usando-se os métodos baseados na difusão, primeiramente sugeridos por W. Barkla, ou os poderosos métodos inventados por H. G. J. Moseley. Finalmente, há o seguinte trecho:

"Bohr passou a concentrar sua atenção nas dificuldades de construir átomos segundo a teoria do 'núcleo' e demonstrou que a posição estável dos elétrons externos não pode ser deduzida da mecânica clássica. Introduzindo uma concepção relacionada com o *quantum* de Planck, mostrou que, sob certas hipóteses, é possível construir moléculas e átomos simples a partir de núcleos positivos e negativos, como, por exemplo, a molécula e o átomo do hidrogênio e o átomo do hélio, que se comportam, sob muitos aspectos, como moléculas ou átomos reais. Embora possa haver uma grande diferença de opinião quanto à validade e quanto ao significado físico na base das suposições apresentadas por Bohr, não pode haver dúvida de que as teorias de Bohr são de grande interesse e importância para todos os físicos, como o primeiro e definitivo esforço no sentido de construir moléculas e átomos simples e explicar seus espectros".

Por uma questão de clareza, só darei mais detalhes sobre o trabalho de Bohr no capítulo seguinte.

### O Mesmo, mas Diferente: O Conceito de Isotopismo

Mais ou menos por essa época estava-se tornando cada vez mais evidente que existiam átomos idênticos do ponto de vista químico, mas diferentes em termos de radioatividade. Já em 1906 Boltwood tinha demonstrado em Yale que o íonio não podia ser separado do tório. Em 1910, W. Marckwald, F. Soddy e O. Hahn tinham demonstrado a mesma inseparabilidade para o MsTh (descoberto por Hahn) e o rádio, e outros exemplos semelhantes também foram descobertos. Em 1912, Rutherford apresentou o problema da separação de RaD do chumbo a dois de seus pesquisadores, G. de Hevesy e F. A. Paneth, austro-húngaros que estavam visitando o laboratório de Rutherford. Disse-lhes o seguinte: "Se vocês forem químicos dignos desse nome, separem-os". Após dois anos de trabalho, durante os quais tentaram de tudo, os dois homens infelizmente tiveram de desistir.

Mas de Hevesy e Paneth transformaram sua derrota em vitória inventando a "técnica dos traçadores", que, enriquecida pela descoberta posterior



da radioatividade artificial, veio a ser uma das técnicas mais importantes da ciência moderna, talvez equivalente ao microscópio. Eis como funciona. Dadas substâncias que sejam idênticas do ponto de vista químico, mas distinguíveis por sua radioatividade, é possível realizar experiências em que os átomos radioativos podem sempre ser reconhecidos, mesmo após a ocorrência de reações complicadas. Por exemplo, se alguém comer sal comum misturado com sal que contenha sódio radioativo, um exame da radioatividade de uma gota de sangue ou de uma amostra de urina revelará a quantidade de sódio ingerida na amostra medida. A capacidade de reconhecer átomos classificados por sua radioatividade permite a solução de problemas bastante importantes que, caso contrário, permaneceriam inteiramente inacessíveis.

Estava-se, portanto, estabelecendo o conceito de isotopismo em substâncias radioativas; em 1913, Soddy cunhou esse nome, que significa "mesmo lugar" no sistema periódico. O isotopismo logo iria ampliar-se para núcleos estáveis. Em 1912, J. J. Thomson descobriu indícios de que o fenómeno do isotopismo não se limitava a elementos radioativos, mas era uma propriedade geral de muitos elementos. Mediu a razão entre massa e carga de íons positivos com o chamado método parabólico. Nesse método, as deflexões perpendiculares de um feixe de íons são produzidas por meio de um campo magnético e um campo elétrico que são paralelos entre si e perpendiculares à velocidade dos íons com uma carga  $e$  e massa  $m$ . Se o campo elétrico  $E$  e o campo magnético  $B$  seguem ao longo do eixo  $x$  e os íons estão-se movendo na direção  $z$ , os desvios são tais que íons com a mesma razão  $e/m$ , independente de sua velocidade, caem numa parábola localizada em um plano perpendicular à velocidade do feixe (vide Apêndice 8).

Quando J. J. Thomson aplicou esse método ao neon, descobriu que o elemento continha íons de massas 20 e 22 vezes àquelas do hidrogênio. Thomson considerou a possibilidade de que íons de uma massa 22 pudessem ser obtidos pelo composto  $\text{NeH}_2$ , mas descobriu que essa hipótese apresentava grandes dificuldades. Em 1913, várias tentativas de fracionar Ne em diferentes isótopos tiveram êxito apenas parcial. As pesquisas de Thomson abriram o campo da espectroscopia de massa, no qual se obteve grande êxito após a Primeira Guerra Mundial, graças a F. W. Aston (1877-1945), que aperfeiçoou espectroscópios que davam a massa iônica com uma precisão cada vez maior.

Um dos resultados importantes conseguidos por Aston foi a descoberta de que os pesos relativos de todos os átomos examinados, à exceção do hidrogênio e do lítio, eram um número inteiro comparado com a acuidade da medição, uma parte por mil, quando tomando-se  $1/16$  do peso de  $\text{O}^{16}$  como unidade. Pressupôs-se, então, que os núcleos eram constituídos de prótons e elétrons. Os prótons conferiam a massa; os elétrons ajustavam a carga e, sendo cerca de  $1/1840$  mais pesados do que os prótons, não alteravam grandemente a massa nuclear. As divergências originárias da "regra do número inteiro" foram interpretadas em razão da perda de massa que ocorre quando partículas livres se unem, segundo a lei de Einstein  $E = mc^2$  (vide também p. 140).

Mas voltemos a Manchester. O modelo atômico, depois de formulado por Rutherford, foi mais aperfeiçoado por Bohr do que pelo próprio Rutherford. Este, por seu lado, prosseguiu com o estudo dos raios beta e gama, chegando a resultados válidos, mas não revolucionários. Nesse meio tempo, a Inglaterra entrou na guerra e a população do Laboratório de Manchester diminuiu. Rutherford também foi-se envolvendo cada vez mais no trabalho para o Almirantado e com a defesa do Império. Esses compromissos o levaram à América, onde passou um período considerável em Washington. Enquanto isso, tornara-se Sir Ernest. Indício dos tempos ainda relativamente civilizados foi o fato de, durante a guerra, Rutherford ainda poder manter correspondência com Stefan Meyer na Áustria e com Geiger na Alemanha. Geiger, por seu lado, conseguiu que J. Chadwick, um dos melhores alunos de Rutherford, que tinha sido preso e internado na Alemanha durante a guerra, continuasse a realizar pesquisas naquele país.

### A Desintegração do Núcleo

Por volta de 1917, Rutherford era um dos poucos cientistas que permaneciam no Laboratório de Manchester, juntamente com seu técnico Kay. Falava-lhe, porém, a ajuda de estudantes capacitados a quem pudesse encarregar de experiências. Marsden, o fiel Marsden, antes de voltar como professor a seu país, a Nova Zelândia, em 1915, tinha observado um fenómeno estranho: a presença de algumas partículas com alcances excepcionalmente longos quando bombardeava o ar com partículas alfa. Uma possível explicação é que se tratava de núcleos de hidrogênio, porque aparecem recuos de longo alcance quando o hidrogênio é bombardeado com partículas alfa. Mas Rutherford suspeitou que fosse outra coisa de enorme importância e, em demorado e paciente estudo realizado sobretudo quando suas funções oficiais o permitiam, decidiu verificar a natureza da partícula projetada. Em um trabalho de novembro de 1917, perguntava se se tratava de átomos N, He, H ou Li.

Em junho de 1910, Rutherford já estava pronto para publicar um trabalho intitulado "Colisões de Partículas Alfa com Átomos Leves". A obra era composta de quatro partes. As três primeiras eram excelentes, mas abrangiam pesquisas mais ou menos rotineiras; a quarta, intitulada "Um Efeito Anômalo no Nitrogênio", afirma o seguinte:

"Devemos concluir que o átomo de nitrogênio se desintegra sob forças intensas liberadas na estreita colisão com uma partícula alfa rápida e que o átomo de hidrogênio que é liberado formava parte integrante do núcleo de nitrogênio... Os resultados, como um todo, indicam que, se se dispusesse de partículas alfa — ou de projéteis semelhantes — de mais energia ainda para experimentação, poderíamos ter certeza de decompor a estrutura nuclear de muitos dos átomos mais leves". [*Philosophical Magazine*, 37, 581 (1919).]

Era isso a desintegração nuclear, o sonho dos alquimistas em uma forma mais atualizada. Rutherford tinha realizado todas as experiências de controle possíveis antes de anunciar sua descoberta. Queria estar absolutamente certo dos resultados obtidos e isso custou-lhe cerca de três anos. A



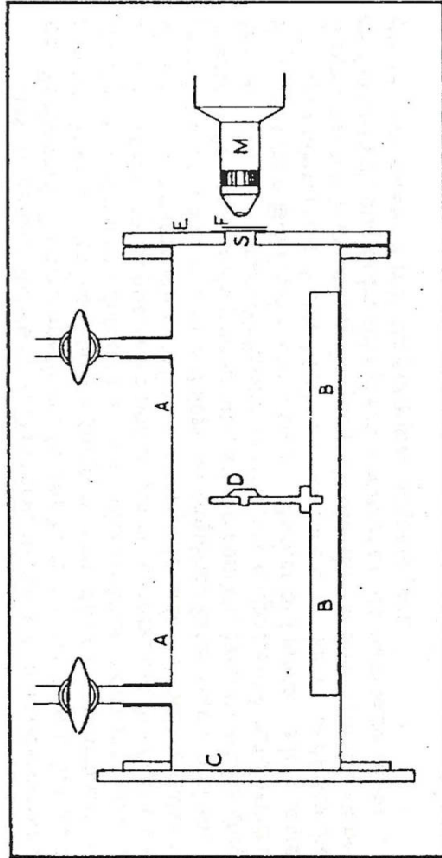


Figura 6.4. A aparelhagem usada por Rutherford para observar a primeira desintegração nuclear. A ilustração foi retirada de *Radiations from Radioactive Substances*, de Rutherford, Chadwick e Ellis (Cambridge University Press, 1931), onde na realidade aparece duas vezes! Mostra ela um recipiente sem ar que pode ser enchido de gás (nitrogênio) e contém uma fonte de partículas alfa colocadas em D. Visto que o alcance DS é maior que o das partículas alfa, pode-se concluir que partículas que causam as cintilações na tela F são emitidas na desintegração de núcleos do gás nitrogênio atingidos por partículas alfa. Um estudo detalhado mostra que os fragmentos são prótons.

Figura 6.4 mostra a aparelhagem usada por Rutherford. Trata-se de aparelhagem que custou menos de um milionésimo do que custa hoje em dia um acelerador; mas precisava do olho do cientista ao microscópio, exigência que nem sempre se pode preencher.

As experiências de Rutherford se repetiram em Viena e alguns cientistas austríacos descobriram maior número de desintegrações do que Rutherford havia descoberto. Levantou-se um debate acalorado, mas, no final, chegou-se à conclusão de que Rutherford estava certo. No Laboratório Cavendish, P. M. S. Blackett obteve imagens na câmara de bolhas de Wilson que confirmavam os resultados de Rutherford (Figura 6.5).

#### Diretor do Laboratório Cavendish

No final da guerra, J. J. Thomson aposentou-se do Laboratório Cavendish (Figura 6.6) e passou a ocupar a função de *Master* no Trinity College, de Cambridge. Procurou-se um sucessor à sua altura para o cargo de professor Cavendish e diretor do laboratório, mas não era tarefa fácil. O novo diretor teria de seguir uma impressionante linha de sucessão: Maxwell, Rayleigh e J. J. Thomson. Em termos de capacidade científica, o candidato óbvio era Rutherford. O sucessor também tinha de dispor de apreciável dose de autoconfiança em vista de possíveis comparações com seus antecessores. Rutherford não era homem dado a medos e não era nada modesto — nem tinha motivo para sê-lo. Mas queria ter certeza de que J. J. Thomson não procuraria exercer grande influência no Laboratório. Com toda a franqueza

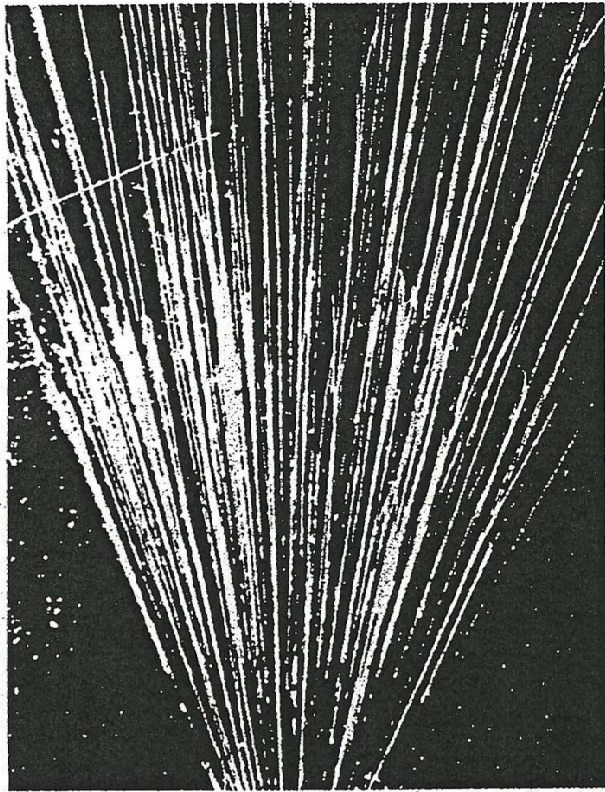


Figura 6.5. A desintegração de um núcleo de nitrogênio em uma câmara de nuvens, conforme observada por Blackett. A fonte contém  $Pb^{212} + Bi^{212} + Po^{212}$  em equilíbrio radioativo e emite partículas alfa com dois alcances: 8,6 e 4,8 cm. Uma das partículas com alcance mais longo atinge um núcleo de nitrogênio e rompe-o segundo a reação  ${}^7N^{14} + {}^4He^4 = {}^8O^{17} + {}^1H^1$ . O traço transverso mais longo é do próton, o outro o de  ${}^8O^{17}$ . [De P. M. S. Blackett e D. Lea em *Proceedings of the Royal Society*, Londres 196, 925 (1932).]

de que era capaz, escreveu a seu ex-professor e as duas autoridades esclareceram o assunto, evitando assim divergências que pudessem vir a ocorrer.

Rutherford foi convidado a pronunciar a Conferência Baker pela segunda vez em 1920. A semelhança da primeira ocasião (1904), resumiu o trabalho que havia realizado, dessa vez tratando do período em Manchester, isto é, a partir da formulação do modelo de átomo nuclear até a desintegração do núcleo. Ao descrever o átomo, citou detalhes de suas experiências sobre a dispersão de partículas alfa e depois citou trabalho de Barkla e Moseley, que estabeleciam a existência do número atômico. Ainda tinha muitas reservas quanto ao trabalho de Bohr. Depois, descreveu em pormenores seu trabalho sobre a desintegração. Nessa conferência, manifestou também algumas idéias tentativas sobre a possível existência de uma partícula neutra com uma massa similar à do próton (termo que tinha cunhado para referir-se ao núcleo de hidrogênio). Considerava essa partícula hipotética mais como um átomo de hidrogênio em que o elétron tivesse caído dentro do núcleo, neutralizando-o eletricamente. Essa especulação, no final das contas, mostrou sua importância, conforme veremos mais adiante. Também especulou sobre um possível isótopo de hidrogênio de massa 2 (deutério).



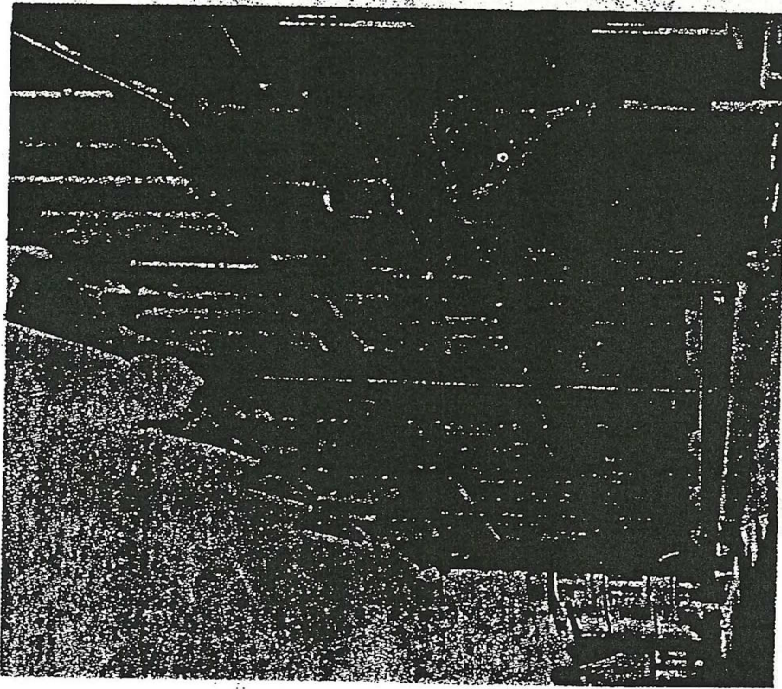


Figura 6.6. A fachada do Laboratório Cavendish em Cambridge, conforme se encontrava a partir do período de Maxwell. O prédio atual serve para outros usos da Universidade e o Laboratório Cavendish hoje em dia está instalado em outro local. (Laboratório Cavendish, Universidade de Cambridge.)

No Laboratório Cavendish, Rutherford já não trabalhava no velho estilo, ou seja, com as próprias mãos. Agora, na casa dos cinquenta anos de idade, estava cercado por uma nova geração de jovens cientistas que voltavam da guerra. Suas principais funções em Cambridge eram dirigir o laboratório e estimular e orientar muitos jovens físicos de alto nível, entre os quais estavam J. Chadwick, P. M. S. Blackett, C. D. Ellis, J. D. Cockcroft, E. T. Walton, M. Oliphant, C. E. Wynn-Williams, além de outros que faziam pesquisas sobre problemas de física nuclear (Figura 6.7).

No mesmo prédio, ou nas suas proximidades, encontravam-se outros físicos que não pertenciam ao círculo de Rutherford, como J. J. Thomson, que conservava seu próprio laboratório, F. Aston, C. T. R. Wilson e, mais tarde, o russo P. Kapitza. Embora o próprio Rutherford não estivesse realizando experiências, acompanhava o que se passava no laboratório e quase sempre dava idéias, inclusive detalhes de cálculos, para quem deles precisasse. Mas, acima de tudo, fornecia uma orientação geral ao laboratório e decidia quanto às linhas de pesquisas.

Lembro-me da atmosfera de 1934, quando eu e E. Amaldi passamos algumas semanas no Laboratório Cavendish. Nosso trabalho em Roma —

sobre nêutrons — proporcionou-nos calorosa receptividade e Rutherford demonstrou vivo interesse pelos resultados que tínhamos conseguido, questionando-nos a respeito de diversos pontos. Pedimos a ele que levasse nosso trabalho ao conhecimento da Royal Society. Pegou o original e no dia seguinte trouxe-o de volta com inúmeras correções que ele mesmo fizera por escrito, sobretudo para melhorar nosso inglês. Quando lhe perguntei sobre a possibilidade de publicação imediata, ele riu e respondeu de chofre: "Para que você acha que fui Presidente da Royal Society?"

Quando passava pelo laboratório, sentava-se, tirava do colete um toco de lápis e verificava os resultados da experiência que estivesse sendo levada a cabo. Quando fazia alguma pergunta aos pesquisadores, eles praticamente se colocavam em posição de sentido e mais corriam do que andavam. Essa reação certamente não se originava de uma disciplina formal, mas sim do respeito intrínseco que Rutherford inspirava. Em outros lugares já vi diretores de laboratórios famosos serem tratados por jovens cientistas quase que com condescendência, mas não era isso o que se dava com Rutherford. A Figura 6.8, onde aparecem Rutherford e J. A. Ratcliffe, é um pouco irônica, porque mostra também um amplificador para detectar partículas alfa que não suportaria o menor ruído. Para melhor funcionamento, exigia silêncio ou pelo menos vozes abafadas, o que não combinava com Rutherford.

A atitude de Rutherford em relação a físicos teóricos era bastante peculiar. Ele mesmo não era um teórico e caçoava de teorias e de teóricos. Não obstante, estava sempre muito atento a resultados teóricos e traduzia-os em termos concretos, que eram os de sua preferência: chegava ao ponto de dizer, de modo brincalhão, que as partículas alfa eram vermelhas, como todos sabiam. Bohr, que o respeitava muito, tinha sido seu protegido e os dois, sem sombra de dúvida, devem ter debatido juntos sobre questões de física, mas os meios que utilizavam para comunicar-se, dadas as diferenças que os caracterizavam, permaneceram um mistério.

Embora Rutherford fosse um excelente professor para cientistas pesquisadores que tivessem a sorte de trabalhar a seu lado, suas aulas não eram proeminentes. Ele se embaraçava no assunto ou facilmente caía em digressões, tendendo a falar a respeito de algum de seus temas preferidos. Certa vez, durante uma palestra, ao deparar-se-lhe uma integral que devia ter-se cancelado, mas o motivo lhe escapara, ele afirmou, com a maior seriedade, que essa integral se havia neutralizado porque a diferencial era infinitesimal.

A tradição guarda inúmeras histórias engraçadas a respeito de Rutherford. Algumas são encontradas nos livros de seus amigos A. S. Eve e Mark Oliphant relacionados na bibliografia. Relatarei apenas umas poucas que ajudam a caracterizar a excepcional personalidade do cientista.

De quando em vez, transbordando entusiasmo com a ciência, Rutherford dizia que sua era se comparava, em termos de vigor intelectual, à era elizabetana e não deixava dúvidas sobre quem seria o Shakespeare moderno.

Rutherford e um filósofo de renome conversavam sobre suas respectivas disciplinas. O primeiro proclamava que a filosofia não passava de ar



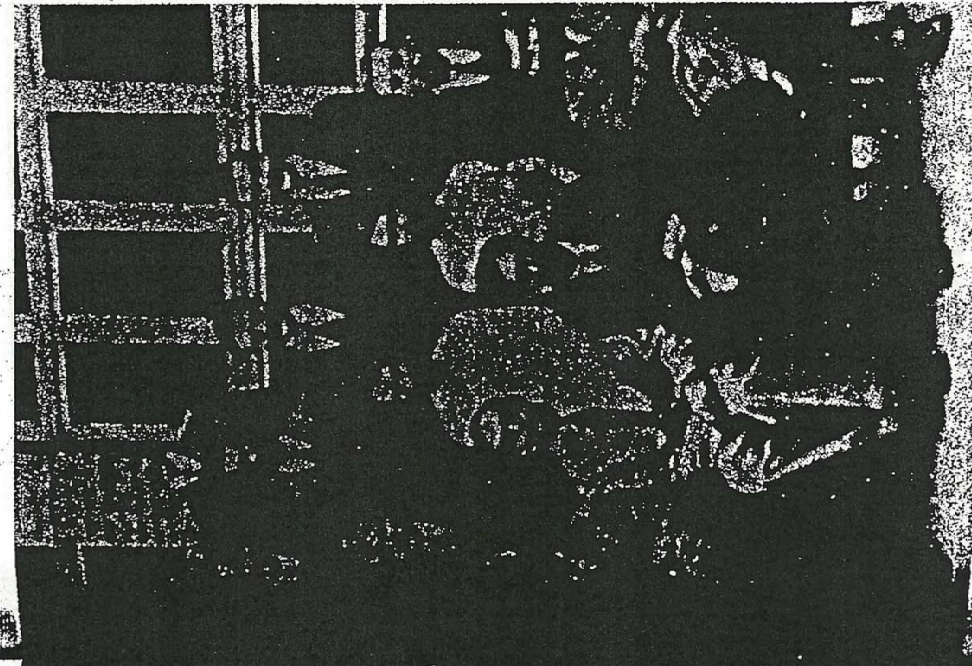
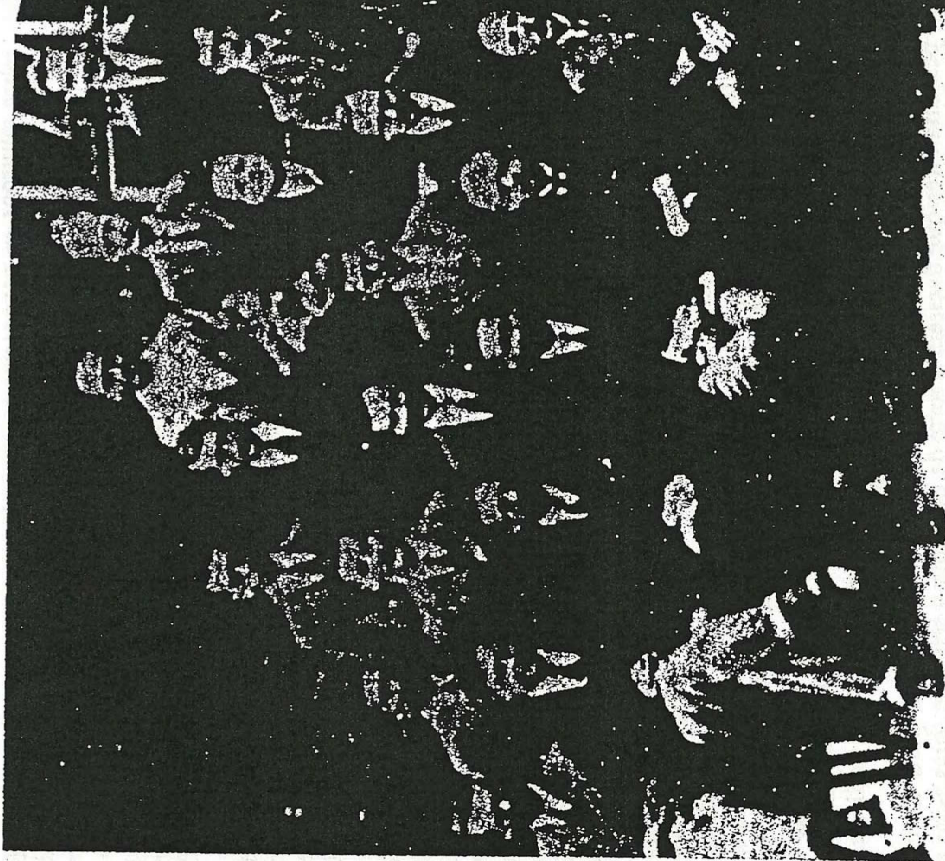


Figura 6.7. Um grupo de pesquisadores no Laboratório Cavendish em junho de 1932. Na fileira da frente, da esquerda para a direita: J. A. Ratcliffe, P. Kapitza, J. Chadwick, R. La-denburg, J. J. Thomson, E. Rutherford, C. T. R. Wilson, F. W. Aston, C. D. Ellis, P. M. S. Blackett e J. D. Cockroft. (Laboratório Cavendish, Universidade de Cambridge.)

quente. Ar quente! A isso o filósofo replicou que Rutherford era um selvagem. "Um selvagem nobre, admito, mas, mesmo assim, um selvagem!" O filósofo contou então uma história a respeito do Marechal McMahon, de Napoleão III: "O Marechal estava fazendo a revista de um regimento em que havia um cadete negro e tinham-lhe pedido que dissesse alguma coisa para encorajar o cadete. Tendo chegado ao pelotão onde se encontrava o negro, o Marechal parou, olhou-o e disse o seguinte: 'Cadete, você é negro', ao que o cadete replicou: 'Sim, senhor!' Após longa pausa, o Marechal disse: 'Está bem, continue sendo negro!' E é isso que lhe posso dizer, Rutherford: continue sendo o que é!"

Mark Oliphant, um dos últimos colaboradores de Rutherford, relata que, ao fazer uso de um dos primeiros aceleradores, eles tinham descoberto

algumas partículas que se originavam da reação de deutério-deutério, mas a natureza das partículas não estava nitida. Após um dia inteiro de trabalho, Oliphant foi para casa e, no meio da noite, foi acordado pelo telefone. A mulher de Oliphant atendeu e, um tanto alarmada ao ouvir a voz de Rutherford, chamou o marido. Lorde Rutherford disse: "Sei o que são as partículas. São hélio de massa 3". O sonolento Oliphant respondeu imediatamente: "Sim, senhor, mas por que acha que são hélio 3?" Rutherford replicou sem demora: "Tenho meus motivos, tenho meus motivos! Vejo tudo claro como água". Naturalmente, Rutherford estava certo, conforme Oliphant pôde constatar no dia seguinte.

Segundo Kapitza, amigo íntimo de Rutherford, a extraordinária aquisição do cientista pode ser em parte explicada pela enorme atividade



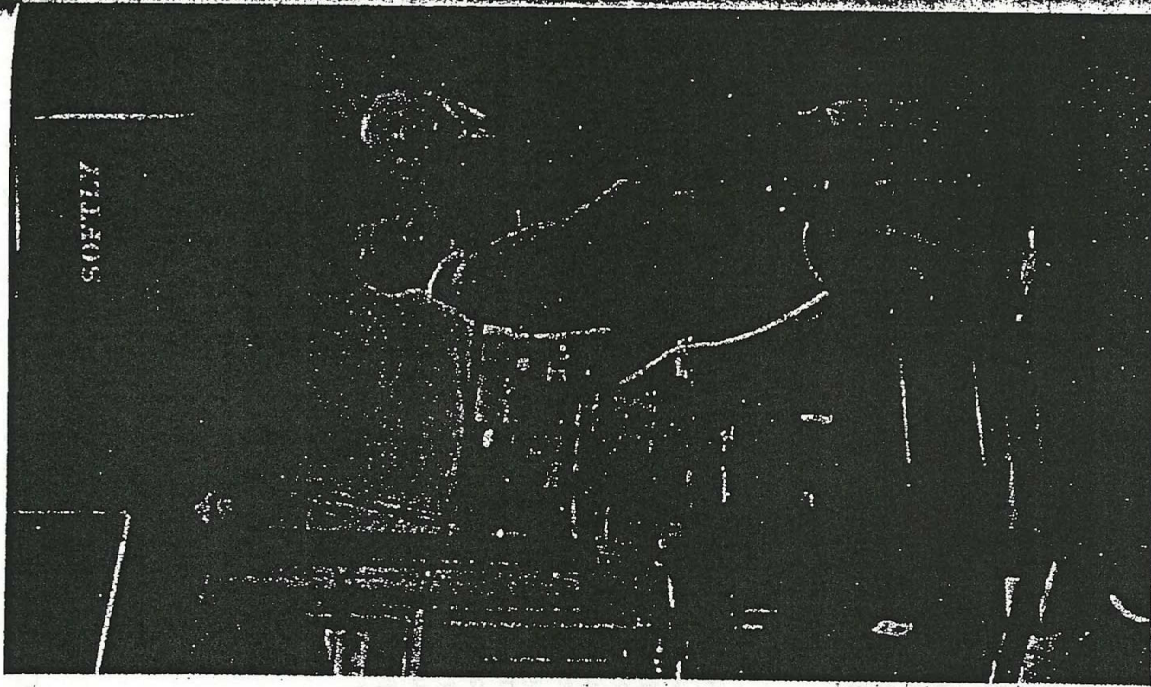


Figura 6.8. Rutherford e Ratcliffe no Laboratório Cavendish, por volta do ano de 1932. O painel "Por favor, fale baixo" refere-se à necessidade de evitar ruídos que perturbem a aparelhagem sobre a cartea, instrumento para detectar partículas alfa. (Foto de C. E. Wynn-Williams, de Evc, Rutherford.)

intelectual que ele exercia. Formulava hipótese atrás de hipótese, rejeitando-as ou modificando-as segundo as necessidades, e fazia tudo com uma energia inesgotável. Trabalhava todo o tempo e até mesmo seus amigos e colegas mal conheciam pequena parcela de seus conceitos científicos. As vezes, a parir de pequenos indícios, davam-se conta de que ele tentara alguma experiência,

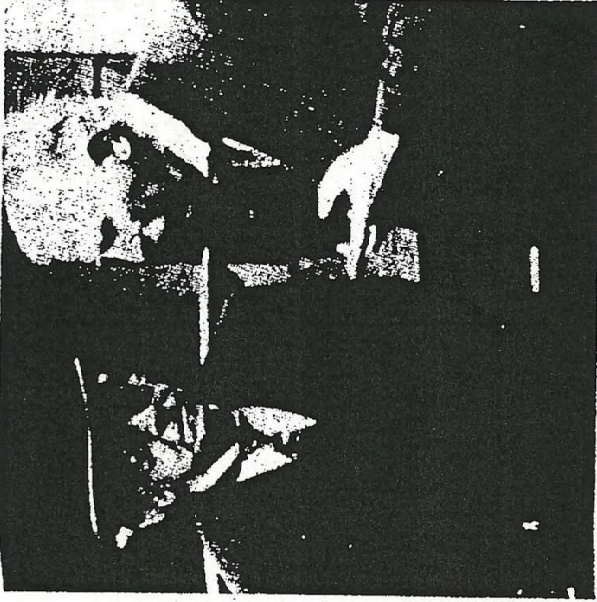


Figura 6.9. Ernest Rutherford (à direita), em seus últimos anos de vida, com J. J. Thomson, seu antecessor na direção do Laboratório Cavendish. Thomson morreu alguns anos depois de Rutherford. (Laboratório Cavendish, Universidade de Cambridge.)

mas sem sucesso. Essa explicação sobre sua "intuição" parece-me válida e tenho certeza de que também se aplica a outros grandes cientistas.

Rutherford tinha sido laureado com as mais altas homenagens científicas de diversos países do mundo e foi Presidente da Royal Society de 1925 a 1930. Em 1º de janeiro de 1931, foi tornado nobre. Enviou um telegrama à sua mãe, então com quase noventa anos de idade e que ainda vivia na Nova Zelândia, no qual dizia o seguinte: "Agora Lorde Rutherford. Essa honra é mais para você do que para mim. Ernest". O brasão de armas do novo Baronete Nelson mostra uma representação estilizada de suas curvas de decaimento e crescimento que remontavam ao período passado no Canadá (vide Figura 3.6-b). Em termos políticos, Rutherford era relativamente conservador, embora não muito ativo. Mas, quando Hitler começou a perseguição aos judeus, formou-se um Conselho de Assistência Acadêmica na Inglaterra, com a finalidade de auxiliar as vítimas dos nazistas, e Rutherford tornou-se seu presidente.

Em seus últimos anos (Figura 6.9), Rutherford presenciou mudanças na física que talvez não se adaptassem à sua natureza. As experiências estavam-se tornando cada vez mais complicadas, os aceleradores já tinham sido inventados e a teoria estava ficando cada vez mais abstrata. Essa nova era da física nuclear, que em parte começou no Laboratório Cavendish, será examinada mais adiante. Embora alguns dos protagonistas tenham sido alunos de Rutherford, muitos vieram de origens diversas e de um largo círculo científico.



Em 1937, durante uma reunião em Bolonha, em homenagem a Galvani, chegou a notícia de que Rutherford estava seriamente enfermo, com uma hérnia. Em 19 de outubro de 1937, ele morreu. Sua morte foi anunciada durante a reunião por Bohr com a voz embargada. Embora muitos dos participantes só conhecessem Rutherford através de obras científicas, as pessoas deixavam transparecer no rosto como estavam sentindo aquela perda. Rutherford foi enterrado na Abadia de Westminster, junto ao túmulo de Newton.

## Capítulo VII

### Bohr e os modelos atômicos

Quase todos os jovens físicos ao redor de Rutherford em Manchester eram experimentalistas. O próprio Rutherford tinha sentimentos mistos quanto à teoria: era muito inteligente para ignorar sua importância, mas pensava intuitivamente, usando modelos simples, seguindo a tradição inglesa. O enorme êxito que resultou de seus métodos experimentais e intelectuais simples talvez tenham reforçado excessivamente sua confiança em tal atitude. Aparentemente, Rutherford tinha um interesse muito limitado pelos *quanta* e pelas novas e grandes idéias que estavam revolucionando a física teórica: estava voltado para sua própria revolução. Mal se podia conceber uma troca de idéias entre Rutherford e Einstein relacionada com a física, pelo menos do ponto de vista de Rutherford. Não obstante, foi em seu laboratório em Manchester que teve início a outra revolução teórica, fomentada por um visitante que participava de maneira muito ativa da vida do laboratório: Niels Bohr (1885-1962).

#### O Jovem Bohr e o Átomo de Hidrogênio

Niels Bohr (Figura 7.1) nasceu em 7 de outubro de 1885 em Copenhague, filho do eminente fisiologista Christian Bohr e de Ellen Adler, sua esposa, filha de um rico banqueiro judeu. A família propiciou todas as possibilidades de uma educação plena, no sentido acadêmico e cultural, tanto a Niels quanto a seu irmão Harald, que veio a tornar-se um matemático de renome. Os dois meninos foram mimados pela mãe e pelas tias. Os Bohr eram uma família dinamarquesa de classe média alta e, num país tão pequeno, tinham acesso a todas as pessoas intelectualmente importantes da época, relacionando-se especificamente com filósofos e médicos. Não há indícios de que Niels tivesse sido um prodígio, embora tivesse sido um desenhista notavelmente acurado quando criança. Se o entendi corretamente, Bohr contou-me certa vez a respeito da dificuldade que teve para aprender a escrever.

Tanto Niels quanto seu irmão vieram a ser notáveis atletas ainda jovens. Jogaram futebol quase ao nível profissional e lembro-me de Bohr, já bem entrado nos sessenta, esquiando com habilidade nos declives próximos a Los Alamos. Na escola secundária, os irmãos começaram a sobressair em meio aos colegas e, em 1904, quando Niels tinha dezenove anos de idade e o irmão dezesete, um colega já se referia a ambos como gênios.