

H. Becquerel, os Curie e a descoberta da radioatividade

Os anos imediatamente anteriores e posteriores a 1895 maracaram um ponto de reviravolta na física, não apenas em virtude da descoberta dos raios X, do elétron e do efeito Zeeman, mas também da descoberta mais revolucionária, que foi a da radioatividade.

No final de 1895, Röntgen enviou informações preliminares sobre seus “novos raios” a vários colegas, entre os quais Henri Poincaré, o matemático que sempre demonstrara grande interesse por pesquisas básicas de física. Poincaré tinha participado dos debates relativos à natureza dos raios catódicos, tentando confirmar a constituição corpuscular de tais raios. A descoberta de Röntgen talvez o tenha entusiasmado mais do que a qualquer outro cientista francês (embora, no primeiro semestre de 1896, somente na *Comptes-rendus*, da Académie des Sciences, tivessem sido publicados 135 estudos e comentários).

Poincaré era membro da Académie des Sciences e tinha o hábito de freqüentar as sessões semanais daquela instituição. Na sessão de 20 de janeiro de 1896, mostrou as primeiras fotografias dos raios X que lhe haviam sido enviadas por Röntgen. Quando Henri Becquerel, um de seus colegas da Academia, perguntou-lhe de que parte da válvula emergiam os raios, Poincaré respondeu que aparentemente os raios eram emitidos da área da válvula oposta ao catodo, a área em que o vidro se tornara fluorescente. Becquerel imediatamente pensou na possibilidade de uma relação entre raios X e fluorescência e no dia seguinte começou a fazer testes para verificar se substâncias fluorescentes emitiam raios X, iniciando assim uma série de experiências que, em algumas semanas, levaram à descoberta da radioatividade.

A Descoberta “Predestinada” de Becquerel

O interesse pela fosforescência e pela fluorescência estava arraigado na família Becquerel. O pai de Henri Becquerel, Edmond, era filho de Antoine César Becquerel e Henri Becquerel era pai de Jean Becquerel. Esses representantes de quatro gerações foram físicos de renome; dessa forma, durante quase oitenta anos, de 1828 a 1908, sempre houve um — às vezes até dois — Becquerel na Academia. Vale a pena dizer alguma coisa a respeito dessa notável dinastia, em parte porque a história mostra como Henri

Becquerel estava predestinado a descobrir a radioatividade — e ele mesmo declarou isso.

Devemos começar pelo avô de Henri, Antoine César Becquerel (1788-1878) nasceu na época própria que lhe permitiu, quando jovem, servir sob o comando de Napoleão. Foi um dos primeiros oficiais a graduar-se na École Polytechnique, que durante muitos anos representou para a França uma rica fonte de especialistas nas áreas técnica, científica e militar. Muitos dos grandes nomes da ciência francesa se aperfeiçoaram nessa escola, que obrigava os estudantes a usarem uniforme militar, para apagar qualquer indício de classe social, e transmitia uma disciplina rígida e um profundo espírito patriótico. Certa vez, tive a oportunidade de dar uma aula na École Polytechnique e lembro-me de ter lido, acima da cátedra de onde eu falava, os nomes de ex-professores: Arago, Ampère, Poisson, Fourier, Cauchy, Fresnel, Monge, Becquerel e vários outros. A lista era suficiente para intimidar qualquer professor que viesse de fora. Praticamente era pré-requisito para uma carreira técnica, científica ou militar na França ser um *polytechnicien*, isto é, portador de diploma da École Polytechnique, e Pierre Curie enfrentou dificuldades por não possuir tal diploma.

O *polytechnicien* Antoine César Becquerel participou da guerra napoleônica na Espanha, em 1810-1812, mas em 1815, após a queda de Napoleão, pediu baixa do Exército. Fora ferido nas campanhas e, por causa disso, comunicaram-lhe que sua saúde estava muito precária e lhe restava pouco tempo de vida (mas chegou aos noventa anos de idade). Voltou-se então para a física e em breve era professor dessa matéria no Musée d'Histoire Naturelle de Paris, do qual, mais tarde, veio a ser diretor. Escreveu quinhentos e vinte e nove artigos e seis manuais, um deles em sete volumes. Fez pesquisas sobre fosforescência e tratou desse assunto extensivamente em dois de seus livros. Também é conhecido por estudos sobre eletricidade e eletroquímica, quando descobriu alguns dos efeitos eletrotérmicos. Ao mesmo tempo, era homem famoso e bastante respeitado. Lembro-me de que quase sempre topava com seu nome quando, em criança, lia a velha edição do manual de Ganot, que me despertou para a física.

Edmond, o filho de Antoine César, que viveu de 1820 a 1891, praticamente seguiu as pegadas do pai, exceto quanto ao serviço militar. Foi admitido na École Polytechnique, tornou-se assistente do pai e depois professor no Musée. O cargo de professor do Musée estava-se tornando uma espécie de *trust* hereditário, passando de pai para filho, pois mais tarde o bisneto de Antoine César, Jean (1878-1953), também ocupou a mesma cadeira. Quatro gerações dos Becquerel viveram, conforme escreveu Jean em um artigo, na *même maison, même jardin, même laboratoire* ("mesma casa, mesmo jardim, mesmo laboratório"), no *Jardin des Plantes*, em frente à casa de Cuvier. Edmond Becquerel estudou a ação química da luz e foi um dos primeiros a fotografar o espectro solar. Era também grande especialista em fluorescência e a substância que melhor conhecia era o urânio. Projetou um fluoroscópio e mediu intensidade e duração da fluorescência do urânio sob a ação de diferentes luzes.

À época da descoberta de Röntgen, o filho de Edmond Becquerel, Henri (1852-1908), tinha sucedido ao pai na direção do Musée d'Histoire

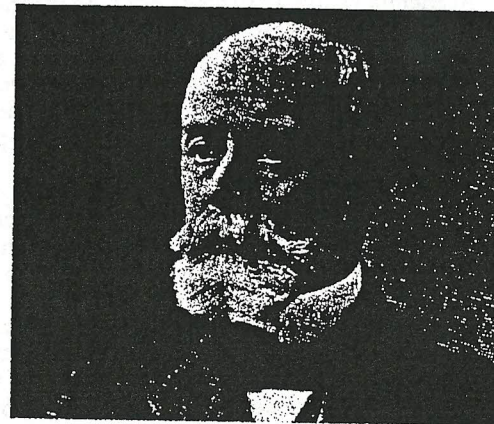


Figura 2.1. Henri Becquerel (1852-1908). Três gerações dos Becquerel, todos físicos, foram membros da Academia Francesa, às vezes como contemporâneos. (Ciccione, Rapho.)

Naturelle, fora nomeado professor da École Polytechnique e publicara estudos sobre fosforescência e fluorescência (Figura 2.1). Hoje em dia sabemos por que, ao ouvir Poincaré falar sobre a descoberta dos raios X, ele imaginou que os dois fenômenos podiam estar relacionados entre si. Mas as primeiras experiências de Henri tiveram resultados negativos: as substâncias fosforescentes ou fluorescentes que ele testou não emitiram raios X. Enquanto isso, em 30 de janeiro de 1895, a *Revue Générale des Sciences* publicou um artigo de Poincaré sobre os raios X, no qual ele fazia a seguinte indagação: "Será que todos os corpos cuja fluorescência é suficientemente intensa emitem tanto raios luminosos quanto raios X de Röntgen, qualquer que seja a causa de sua fluorescência?" "Em caso positivo" — afirmava ele — "os fenômenos desse tipo não estariam associados a uma causa elétrica".

Becquerel retomou suas experiências e, dessa vez, tentou o sal de urânio, sulfato de potássio de urânio, que antes tinha estudado com o pai. Em 24 de fevereiro, fez um relatório à Academia:

"Cobri uma... chapa fotográfica... com duas folhas de papel negro grosso, tão grosso que a chapa não ficou manchada ao ser exposta ao sol durante um dia inteiro. Coloquei sobre o papel uma camada de substância fosforescente e expus tudo ao sol por várias horas. Quando revelei a chapa fotográfica, percebi a silhueta da substância fosforescente em negro sobre o negativo... A mesma experiência pode ser feita com uma lâmina de vidro fina colocada entre a substância fosforescente e o papel, o que exclui a possibilidade de uma ação química resultante de vapores que poderiam emanar da substância quando aquecida pelos raios solares. Portanto, podemos concluir dessas experiências que a substância fosforescente em questão emite radiações que penetram no papel que é opaco à luz..." [*Comptes-rendus de l'Académie des Sciences, Paris, 122, 420 (1896).*]

É como se os raios X fossem efetivamente emitidos pelo composto de urânio enquanto fluorecia. Mas, uma semana mais tarde, quando a

Academia voltou a reunir-se em 2 de março, Becquerel já estava ciente de outras coisas. A razão pela qual estava ciente de outras coisas é que o tempo em Paris tinha mudado! Tentara ele repetir as experiências anteriores, mas nos dias 26 e 27 de fevereiro o tempo estava ruim e o Sol mal aparecia. Assim, ele colocou tudo em uma gaveta escura, deixando as amostras de sal de urânio no lugar, sobre as chapas envoltas em papel. E dessa vez fez o seguinte relatório à Academia:

“Como o Sol não voltou a aparecer durante vários dias, revelei as chapas fotográficas, a 1º de março, na expectativa de encontrar imagens muito deficientes. Ocorreu o oposto: as silhuetas apareceram com grande nitidez. Pensei imediatamente que a ação poderia ocorrer no escuro”. [*Comptes-rendus*, 126, 1086 (1896).]

A Figura 2.2. mostra uma das “silhuetas” que Becquerel percebeu ao revelar suas chapas. Deu-se conta imediatamente de que tinha descoberto alguma coisa de muito importante: o sal de urânio emitia raios capazes de penetrar no papel negro, tivesse ou não sido exposto previamente à luz do Sol.

Eis uma situação em que o acaso, a sagacidade e a vivacidade constituíram elementos fundamentais. Henri Becquerel afirmava que também seu pai e seu avô mereciam crédito por essa descoberta. Segundo ele, o trabalho desenvolvido durante cerca de sessenta anos em seus laboratórios fatalmente, e no momento adequado, levaria à descoberta da radioatividade. Mas, à época, a descoberta de Becquerel aparentemente não se comparava à de Röntgen e não provocou a excitação que a de Röntgen havia provocado. Os cientistas continuavam a falar a respeito dos raios X e a testá-los — e deixaram que os “raios de Becquerel” ficassem por conta de seu descobridor. Em 9 de março de 1896, Becquerel já descobrira que a radiação emitida pelo urânio não apenas escurecia as chapas fotográficas protegidas, como também ionizava gases, transformando-os em condutores. A partir daí, era possível medir a “atividade” de uma amostra simplesmente medindo a ionização que ela produzia. O instrumento usado para essa medição foi um rústico eletroscópio de lâminas de ouro.

Os Curie e um Grande Salto à Frente

Nesse ponto de nossa história, cerca de dois anos após a descoberta de Becquerel, Pierre e Marie Curie entraram em cena. Não que Becquerel não tenha dado continuidade a sua obra, ao contrário: prosseguiu nela com entusiasmo. Mas restringiu-se ao urânio como fonte de seus raios, pois o urânio era a substância que ele melhor conhecia. Anos mais tarde escreveu o seguinte:

“Mas, visto que os novos raios tinham sido identificados com o urânio, parecia improvável *a priori* que a atividade de outros corpos conhecidos pudesse ser consideravelmente maior, e as pesquisas sobre a generalidade do novo fenômeno pareciam então menos urgentes do que o estudo físico de sua natureza”.

E assim, não foi Becquerel mas os Curie que deram o salto à frente: pesquisaram outros elementos e, ao descobrirem primeiramente o polônio e

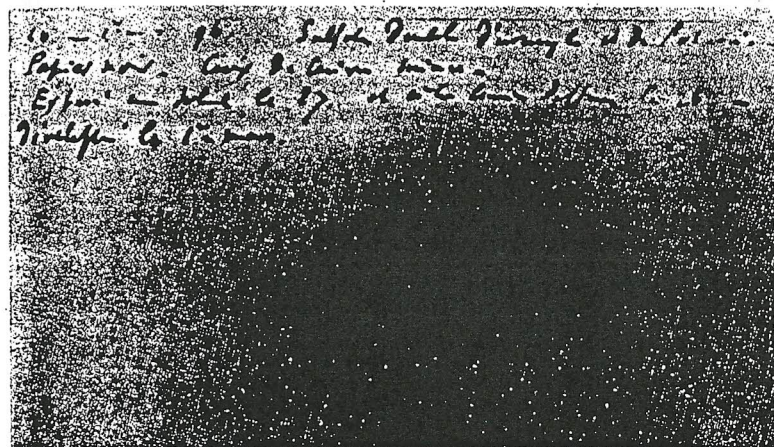


Figura 2.2. A primeira chapa marcada pelos “raios Becquerel”. Sobre ela foi colocado um pouco de sulfato de potássio de urânio em 26 de fevereiro de 1896; depois que a revelou, em 1º de março, Becquerel percebeu que o urânio emitia uma radiação de natureza desconhecida que não dependia da fosforescência do sal de urânio, conforme se acreditava. A descoberta dos “raios Becquerel” foi publicada nos *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences de Paris* [122, 501 (1896)]. (CEA.)

o rádio, prepararam poderosas fontes que revolucionaram completamente a nova ciência da radioatividade.

Madame Curie (1867-1934), em solteira Marie Sklodowska, nasceu em Varsóvia em 7 de novembro de 1867 (Figura 2.3). Por parte de mãe, sua família pertencia à nobreza menor. Seu pai, Vladislav Sklodowski, um cavalheiro culto que estudara em São Petersburgo, era professor de matemática e física; pouco depois do nascimento de Marie, veio a ocupar o cargo de professor e inspetor-assistente de um ginásio, uma espécie de escola secundária. Madame Sklodowska era diretora de uma escola de meninas, função que desempenhou até que Marie crescesse um pouco. Era católica praticante e como tal criou os filhos; mas, logo após sua morte, a filha Marie, então adolescente, abandonou a religião e a ela nunca mais retornou. A família incluía um filho, Josef, e três filhas, Hela, Bronya e Marie.

Era uma família extremamente patriota e as crianças chegavam a participar de atividades culturais clandestinas no território dominado pela Rússia, sob o risco de serem presas ou de lhes acontecer algo pior. Por toda a sua história, a Polônia quase sempre foi oprimida pelos vizinhos e então era oprimida principalmente pela Rússia. As escolas polonesas eram obrigadas a usar o idioma russo e a adotar livros que não queriam. O antagonismo da população polonesa em relação aos dominadores russos tinha base religiosa, política e linguística. Os sentimentos eram fortes e a situação era tensa. Marie ficou profundamente chocada quando um dos amigos de seu irmão foi enforcado por questões políticas. Para reagir a essa pressão, os

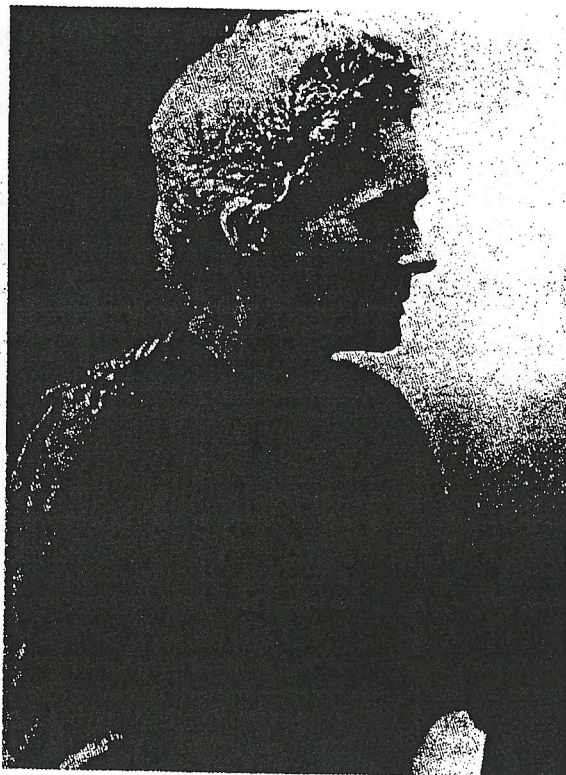
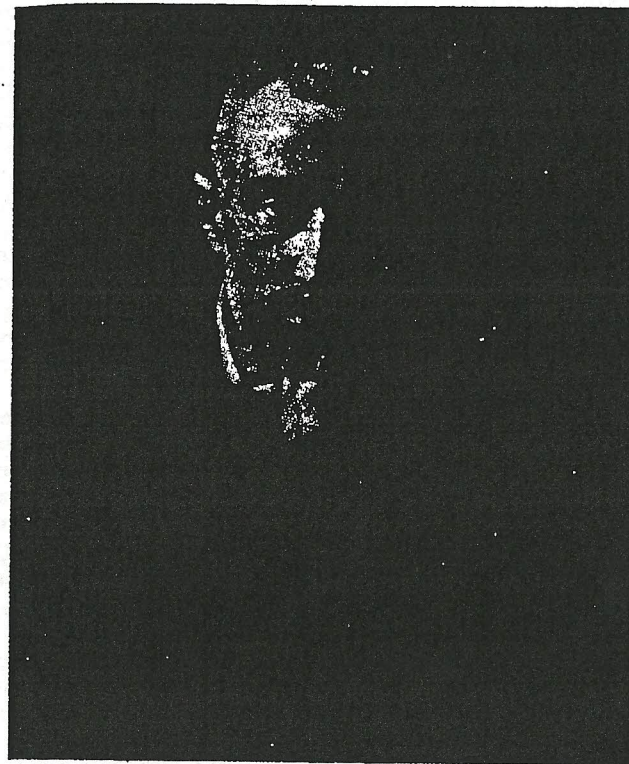


Figura 2.3. Marie Skłodowska Curie (1867-1934) e Pierre Curie (1859-1906), o mais famoso dos casais de cientistas. [Oeuvres de Pierre Curie (Paris: Gauthier-Villars, 1908).]

poloneses se transformaram em patriotas fanáticos e, ironicamente, se tornaram cruéis opressores de minorias inocentes quando tiveram a oportunidade — foi o que experimentaram os alemães e os judeus quando se reconstituiu uma Polônia livre após a Primeira Guerra Mundial.

Marie concluiu com distinção o curso secundário aos dezesseis anos. Nesse meio tempo, o pai perdera a fortuna e as filhas tiveram de procurar meios de sustentar-se. Bronya e Marie tinham ambições e eram muito ligadas uma a outra. Eram voluntárias, muito inteligentes e muito polonesas. Bronya seguiu para Paris, a fim de estudar Medicina, por sua própria conta e com algum auxílio de Marie, que durante cerca de cinco anos trabalhou como governanta — emprego que não estava muito acima do de empregada doméstica — de várias famílias, primeiro em Varsóvia e depois no interior. Suas parcas economias eram enviadas a Bronya, no entendimento de que, tão logo a irmã concluísse os estudos, lhe daria apoio. Foi assim que, em 1891, Marie abandonou a Polônia, com uma passagem de 4ª classe para Paris e 4 rublos (20 dólares) no bolso. Imagine-se uma jovem polonesa chegando a Paris em 1891 para estudar Física! Era uma situação totalmente romântica em



uma época em que estavam na moda histórias de heroínas eslavas. O que dá um particular realce a essa heroína é que ela era um gênio e queria realmente estudar Física.

Em Paris, Marie matriculou-se na Faculdade de Ciências e frequentou cursos de Física, Química e Matemática com os Professores Lippmann, Bouty e Appell, este o autor do famoso tratado *Mécanique Rationnelle* (sobre mecânica teórica). Fora da universidade ela vivia entre os imigrantes poloneses, um dos quais era um jovem e talentoso pianista chamado Paderewski. A vida de Marie foi um tanto boêmia na sua pobreza, mas sua extrema disciplina e seus hábitos rígidos de trabalho não eram nada boêmios. Ela estudava e trabalhava com fanatismo, quase sem dinheiro e com muito pouca coisa para comer. Em 1893, recebeu a bolsa de estudos Alexandrowitch, pequena doação de 600 francos concedida por uma organização polonesa. Como era característico nela, alguns anos mais tarde guardou seus primeiros salários para ressarcir o dinheiro da bolsa de estudos. Em 1894, um físico polonês em visita a Paris, Joseph Kowalski, apresentou-a a Pierre Curie (1859-1906).

Pierre Curie (Figura 2.3) era o segundo filho do físico Eugène Curie. O pai, oficialmente de religião protestante, era um livre-pensador de ten-

dências esquerdistas. Em 1871, participou da Comuna, não como combatente, mas como médico, instalando um hospital em sua própria casa. Pierre parece ter sido um menino estranho, considerado mentalmente retardado, mas o pai teve suficiente discernimento para deixar que ele sozinho desenvolvesse livremente seus talentos e não o forçou a frequentar as escolas francesas da época. Quando tinha cerca de quatorze anos, contrataram um tutor para Pierre, que lhe ensinou matemática e ajudou-o a aprender latim. Pierre tinha grande facilidade para matemática e seu aprimoramento intelectual foi muito rápido: aos dezesseis anos, já era bacharel em ciências. Em 1883, aos vinte e quatro anos, foi nomeado chefe do laboratório da École de Physique et de Chimie de Paris, cargo modesto que ocupou durante vinte e dois anos. Tinha uma natureza difícil e um orgulho quase que patológico. O fato de não ter estudado na École Polytechnique, de onde se recrutava a maior parte dos cientistas franceses, constituiu obstáculo a uma carreira mais brilhante.

Seu primeiro trabalho foi sobre a simetria dos cristais e piezeletricidade, descoberta sua e de seu irmão Jacques. Depois, ampliou o princípio da simetria e aplicou-o ao estudo de muitos fenômenos físicos; a esse respeito, seu trabalho sobre magnetismo ainda pode ser considerado bastante interessante. Ao que eu saiba, Pierre Curie foi o primeiro a introduzir, na física, idéias que hoje em dia são chamadas de *teoria de grupos*, que incluíria nítidas distinções entre vetores polares e axiais, e a importância da simetria para decidir que fenômenos são possíveis. Em conjunto, os primeiros trabalhos de Curie dão a estranha impressão de que ele foi precursor de Eugene Wigner e o tempo ampliou a importância dessa suposição. À época em que conheceu Marie Sklodowska, no início de 1894, Pierre Curie desfrutava de boa reputação científica. Lord Kelvin, entre outros, já tinha reconhecido suas qualificações.

Alguns meses após seu primeiro encontro com a estudante polonesa, Curie tinha tomado a decisão de casar-se com ela. Da parte de Marie, não havia a menor dificuldade. Pierre era oito anos mais velho do que Marie, diferença de idade que não era comum para um casal naquela época; ela, entretanto, nunca tinha pensado em casamento e o obstáculo mais sério era que, se casasse, nunca voltaria a viver na Polônia, conforme tinha planejado. Mas, quando Marie foi passar as férias de verão em seu país, as eloquentes cartas de Pierre Curie acabaram por convencê-la. Ele era um escritor talentoso, quase um poeta. Casaram-se em julho de 1895 e passaram a lua-de-mel pedalando pelo interior da França em bicicletas que tinham comprado com o dinheiro dado a Marie para seu enxoval. Por toda a sua vida em comum, o principal lazer de ambos consistiu em explorar a natureza em viagens de bicicleta.

Quando de seu casamento, Madame Curie já tinha passado o que poderíamos chamar de exame de habilitação. Pouco depois do nascimento de sua primeira filha, Irène, em 12 de setembro de 1897, ela pediu ao marido sugestões sobre um tema para a tese de doutorado. Ele lhe aconselhou o estudo do "novo fenômeno" descoberto por Becquerel. Primeiramente, ela repetiu as experiências de Becquerel. Mas, para medir o fenômeno com maior precisão em vez de usar o eletroscópio de Becquerel, usou a

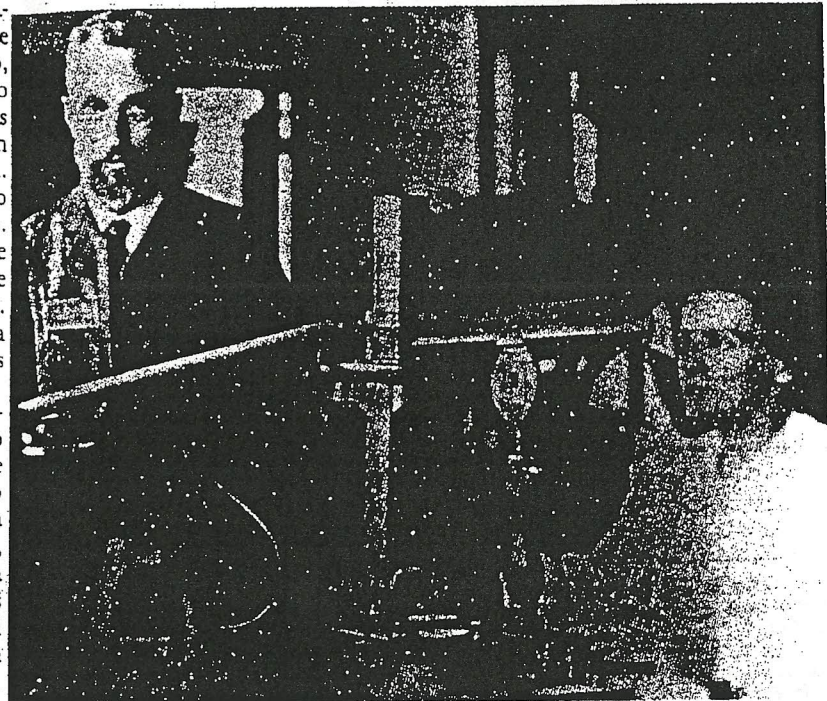


Figura 2.4. Pierre e Marie Curie em seu laboratório com o eletrômetro de quartzo. (Cortesia de J. Hurwic.)

aparelhagem mostrada na Figura 2.4, que havia sido projetada por Pierre Curie. O aspecto mais digno de nota dessa aparelhagem é o sistema compensador, cuja parte essencial é um quartzo piezeletrico (lembramos que a piezeletricidade tinha sido estudada por Pierre e Jacques Curie). Todos os eletrômetros usados pelos Curie em suas experiências posteriores e todos os eletrômetros usados no laboratório de Madame Curie, após a morte de Pierre, tinham essas mesmas características. Por outro lado, para ela, eles "não eram corretos". Mas, na verdade, eram instrumentos bons e funcionavam satisfatoriamente.

Usando o eletrômetro (Figura 2.5), Marie Curie verificou a constatação de Becquerel de que a intensidade da radiação do urânio era proporcional ao total de urânio existente no composto e independente de sua forma química; não fazia diferença se a amostra era de sal de urânio, um óxido, ou de metal de urânio. Em consequência, Marie Curie confirmou a descoberta de Becquerel de que a emissão dos raios é uma propriedade atômica do urânio. Decidiu, assim, examinar "todos os elementos então conhecidos" e descobriu que somente o tório emitia raios "semelhantes aos do urânio". Nesse ponto, depois de descobrir que o urânio não era o único

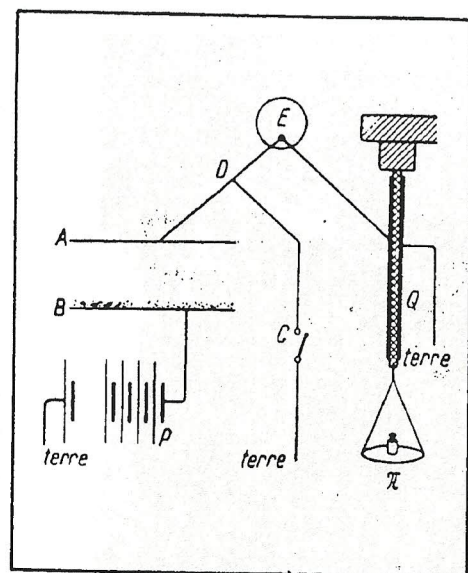


Figura 2.5. Um desenho esquemático do eletroscópio, extraído do artigo publicado por Marie Curie em *Revue Générale des Sciences* [10, 41 (1899)]. O instrumento foi usado para medir a ionização do ar provocada por radiações emitidas pelas substâncias radioativas colocadas em B. O condensador AB continha a substância radioativa em sua chapa inferior. O eletroscópio E confirmava que o potencial produzido pelo peso no quartzo piezoeletrico Q correspondia exatamente ao potencial produzido pela corrente de ionização.

elemento que emitia radiação espontânea, Madame Curie propôs a palavra *radioatividade* para esse fenômeno. Foi também aí que lhe ocorreu um lampejo de gênio e ela decidiu não limitar suas pesquisas a simples compostos de urânio e tório, mas também a examinar os minérios naturais. Conseguiu muitas amostras de minerais da coleção do Musée e pôs-se a trabalhar. Conforme esperava, os minerais que continham urânio e tório eram radioativos. Para sua surpresa, entretanto, a radioatividade de alguns deles era muito maior — três ou quatro vezes maior, de acordo com seu método de medição — do que se poderia atribuir ao conteúdo de tório ou de urânio desses minerais.

A conclusão estava correta: aquelas amostras de minérios deviam conter um elemento muito mais radioativo do que o urânio ou o tório. Antes de divulgar essa hipótese, ela fez um teste. Observou que um determinado mineral de urânio, a calcolita, era bastante radioativo quando extraído do solo. Reproduziu a calcolita a partir de substâncias puras em laboratório e descobriu que a calcolita artificial não era mais ativa do que qualquer sal de urânio. Tal descoberta provou que o minério natural continha uma impureza altamente radioativa. Em 12 de abril de 1898, seu amigo G. Lippmann apresentou a primeira comunicação de Marie Curie à Académie des Sciences, que foi publicada no *Comptes-rendus* como de autoria de M. Sklodowska-Curie. Nesse trabalho era descrita, de forma resumida, sua experiência, bem como apresentada a hipótese da existência de um novo elemento radioativo (a palavra *radioativo* ainda não era usada no documento) e exposta a maneira como ela havia testado essa hipótese.

Se efetivamente existia um novo elemento, Madame Curie iria com certeza encontrá-lo. Mas como? Elaborou o que ela mesma considerou mais tarde de método básico da radioquímica. Como não sabia de nenhuma propriedade química desse elemento — apenas que ele emitia raios espontaneamente —, teria de começar pela busca desses raios. Procuraria tomar uma amostra de minério, dissolvê-lo, se fosse possível, separá-lo em seus componentes segundo padrão de análise química, e determinar para onde a radioatividade se dirigia, fazendo uso de seu eletroscópio. Madame Curie sabia que as análises quantitativas feitas com minérios de urânio tinham, na época, deixado margens de dúvida de aproximadamente 1% em termos de peso. Se esse 1% contivesse a substância radioativa desconhecida e se a radioatividade do minério fosse três vezes maior do que a radioatividade que podia ser atribuída a seu conteúdo de urânio, a substância desconhecida tinha de ser umas trezentas vezes mais radioativa do que o urânio. Ela subestimou essa radioatividade: de fato, a substância com a forte radioatividade não era 1% da amostra, mas talvez uma parte por milhão, e sua radioatividade por unidade de peso não era trezentas vezes, mas muitos milhões de vezes maior que a do urânio.

Sem se deixar abater pela magnitude da tarefa que estava empreendendo, dispôs-se a isolar o novo elemento e começou a estudar minuciosamente cada amostra de minério. Logo deu-se conta de que não poderia prosseguir sozinha e sugeriu ao marido que unissem as forças nesse sentido. Juntos, Pierre e Marie Curie começaram a tratar a uraninita e a concentrar-se nos produtos mais radioativos, fazendo uso do engenhoso método de análise de Marie Curie.

Uma vez que se tinha concentrado na parte altamente radioativa em um resíduo muito pequeno, chegaram à conclusão de que tinham descoberto um novo elemento. Estava longe de ser um elemento puro e, de fato, o elemento era apenas uma impureza saída de uma das amostras, mas sua radioatividade indicava a existência de um novo elemento. Chamaram-no de *polônio* — Marie Sklodowska-Curie não poderia ter escolhido outro nome. Em julho de 1898, os Curie apresentaram um trabalho conjunto à Académie des Sciences anunciando a descoberta e explicando o método pelo qual tinham chegado a ela. As datas são importantes: em fevereiro de 1896, Becquerel descobriu a radioatividade. No final de 1897, Marie Curie passou a interessar-se pelos “raios de Becquerel”. Em abril de 1898, ela já tinha determinado que elementos conhecidos eram radioativos e suspeitara da existência de novos elementos mais intensamente radioativos. Em julho do mesmo ano, Pierre e Marie descobriram o polônio. Também descobriram que a substância desapareceria espontaneamente, reduzindo-se à metade em um período característico chamado de *meia-vida*.

Quando Marie Curie pediu a Pierre que trabalhasse junto com ela, ele estava engajado no estudo do magnetismo, mas passou-se para a radioatividade, campo em que permaneceu até a morte, em 1906. Quanto a Madame Curie, todo o seu trabalho, de 1898 até seus últimos dias — trinta e seis anos de trabalho —, seguiu a mesma linha: mais minérios, níveis mais elevados de purificação, maiores concentrações, e assim por diante. Era uma

tarefa decidida que exigia incrível entusiasmo, muita inteligência e obstinação que caracterizavam Madame Curie.

Quando os Curie conseguiram seu primeiro produto altamente radioativo, a partir da uraninita, utilizaram uma análise química do mineral segundo o método padrão. No grupo dos sulfetos, insolúveis em soluções ácidas, descobriram o polônio. Mas depois descobriram também a radioatividade no grupo do bário (bário, estrôncio e cálcio). De início, não conseguiram isolar a radioatividade do bário; quando, finalmente, tiveram êxito, mediante a cristalização fraccional, descobriram uma nova substância intensamente radioativa, à qual deram o nome de *rádio*. Em setembro de 1898, anunciaram a descoberta do rádio em seu terceiro trabalho, em colaboração com G. Bémont, químico francês que os auxiliou nas pesquisas que levaram à identificação do rádio. Bémont também tinha ajudado os Curie a achar um laboratório; esse laboratório era pouco mais do que um barracão com goteiras, úmido no inverno e muito quente no verão (Figuras 2.6 e 2.7). Não tinha nenhuma das características de um laboratório químico que hoje são consideradas indispensáveis, tais como uma cúpula fumívora, e era totalmente inadequado para a tarefa do ponto de vista da saúde. Mas naquela época ninguém sabia dos efeitos da radioatividade e nada havia de melhor em disponibilidade.

O Professor Eduard Suess, grande geólogo vienense, cedeu gratuitamente aos Curie uma tonelada de resíduos das minas de uraninita de Joachimstal, na Tchecoslováquia, que era então praticamente o único centro ativo de mineração de urânio. O urânio tinha sido extraído dos minérios e o que os Curie ganharam foram resíduos que não tinham interesse para ninguém, mas que eles sabiam conter rádio. Para aqueles que sabem o que significa dissolver cem quilos de um minério à mão, usando métodos rústicos parecerá inacreditável que duas pessoas tenham conseguido fazê-lo. Levando-se em conta os vapores existentes em um laboratório sem cúpula fumívora, além do trabalho físico de misturar os solventes e do aquecimento de substâncias, por métodos primitivos, apenas o espírito indomável daquela mulher polonesa poderia ter superado tais obstáculos. Ela encarregou-se da tarefa física mais árdua, enquanto Pierre, que não era tão forte quanto ela, se encarregava das outras. Dois anos mais tarde, já tinham uma quantidade de rádio suficiente em sua amostra para poderem detectar uma mudança no peso atômico aparente da substância. O bário comum tem um peso atômico de 137. As frações mais ricas no rádio da amostra dos dois cientistas mostravam um peso atômico de 174. Madame Curie estava em busca do rádio puro, que como sabemos hoje em dia, tem um peso atômico de 226. Levou mais doze anos para consegui-lo, mas já em 1900 estava no caminho certo e tinha feito um progresso substancial pelo menos nos métodos, senão na execução.

Em 1900, Marie e Pierre Curie apresentaram uma comunicação a uma conferência internacional de física, realizada em Paris, sobre "As novas substâncias radioativas e os raios que emitem". Na mesma conferência, Henri Becquerel também apresentou um trabalho que tratava sobretudo das radiações emitidas. A ele parecia claro que, pelo menos no que diz respeito a uma parte da radiação, havia uma íntima analogia com os raios X e com os

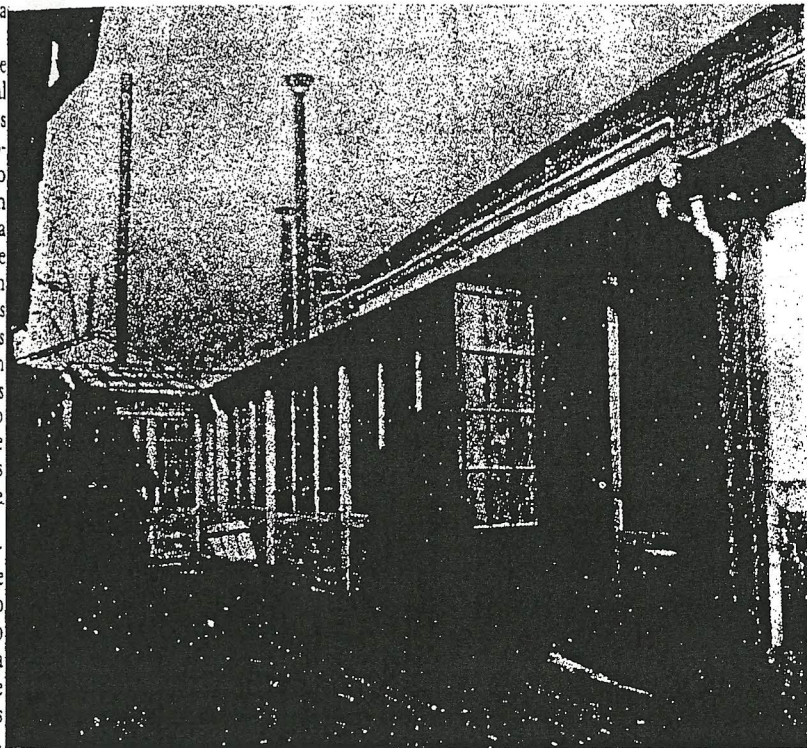


Figura 2.6. O laboratório da École de Physique et de Chimie de la Ville de Paris, onde os Curie realizaram as pesquisas que levaram à descoberta e isolamento do rádio. (De *Oeuvres de Pierre Curie*, Paris, 1908.)

raios catódicos. Os Curie, basicamente, estavam interessados nas próprias substâncias radioativas. Descreveram os métodos de medição da radioatividade e as razões pelas quais a radioatividade deveria ser considerada uma propriedade atômica e não uma propriedade molecular. Tinham estudado as substâncias radioativas comuns, urânio e tório; e depois os novos elementos, polônio, rádio e actínio, o último dos quais tinha sido descoberto por André Debierne, um amigo e companheiro dos Curie, em 1899. Depois falaram a respeito da natureza química das substâncias, de seus espectros ópticos, dos efeitos das radiações e da chamada radioatividade induzida (aqui, pela primeira e única vez, citaram Rutherford). Finalmente, fizeram referência aos grandes problemas não resolvidos: a origem da energia emitida e a natureza das radiações emitidas.

Já vimos que o novo elemento, o polônio, emitia partículas e, naturalmente, energia. Era mesmo possível medir o calor e isso apresentava uma outra dificuldade para os físicos. Em 1898, a conservação da energia já

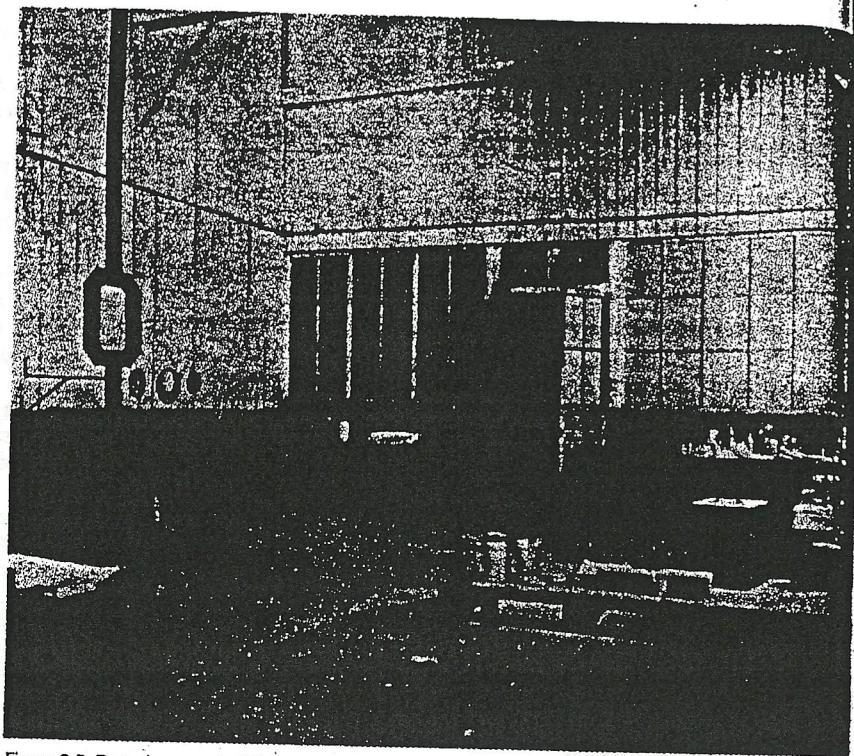


Figura 2.7. Parte interna do laboratório dos Curie. (De *Oeuvres de Pierre Curie*, Paris, 1908.)

estava bem definida e os cientistas não demonstravam muita vontade quanto a desistir dela. De onde vinha a energia do polônio? Foram apresentadas as hipóteses mais absurdas. Uma idéia incorreta, embora não de todo irracional, foi exposta por Marie Curie em seu primeiro trabalho sobre a radioatividade (1898). Pressupunha a existência de raios que encobrissem todo o mundo, em todas as direções, algo semelhante aos neutrinos. Por alguma razão misteriosa, esses raios só eram absorvidos por substâncias radioativas, que os capturavam e produziam calor. Ernest Rutherford apresentou a idéia de que a radioatividade poderia depender da possibilidade de a amostra ser ou não bastante fracionada. Os próprios Curie tinham pesquisado se o aquecimento ou o resfriamento de uma amostra aumentaria ou diminuiria sua radioatividade — a química sugeria tal experiência, mas nada aconteceu. Também tentaram comprimir tal amostra, mas nada do que fizessem alterava a radioatividade. Era um grande mistério. De fato, a taxa de decaimento dos elementos radioativos só veio a ser alterada após a Segunda Guerra Mundial, e então por sutis influências químicas em

que C. Wiegand e eu usamos o que tínhamos entendido da essência acumulada na década anterior.

O Relatório Curie foi um pequeno tratado sobre a radioatividade conforme era conhecida em 1900; em 1904, Marie finalmente escreveu sua tese de doutoramento, um tratado semelhante, porém atualizado.

Até 1902 Marie já havia perdido cerca de dez quilos em conseqüência de seu trabalho, mas ainda tinha rádio suficiente para ajudá-la a medir o peso atômico. Descobriu que era de 225, uma resposta quase correta. Também tinha uma quantidade suficiente de rádio para observar as linhas espectrais. O relatório apresentado em 1900 continha alguns erros no espectro, mas dava corretamente as duas linhas mais intensas, e não há dúvida de que ela as havia observado. Não espanta que o casal tenha começado a sofrer de doenças estranhas e de difícil diagnóstico. É muito provável que tenham recebido radiação e ingerido substâncias radioativas em quantidades suficientes para deixá-los enfermos. Embora Pierre tenha morrido de acidente, Marie chegou aos sessenta e sete anos de idade, mas ficou doente durante muito tempo e, finalmente, morreu de anemia aplástica, uma das conseqüências da superexposição à radiação. Seu genro, F. Joliot, examinou os livros de anotações de Marie e constatou que estavam intensamente contaminados de radioatividade. Além disso, Marie cozinhava em casa e seus cadernos de receitas ainda estavam contaminados cinquenta anos após terem deixado de ser usados.

Enquanto isso, como progrediu a carreira dos Curie? Poder-se-ia imaginar que teriam recebido algum auxílio após os anos de incansável labuta durante os quais fizeram memoráveis descobertas e perderam a saúde. Grandes nomes das ciências, como Lorde Kelvin, tinham reconhecido as contribuições feitas pelo casal de cientistas, mas a burocracia oficial francesa, responsável pelo sustento mínimo dos dois, não o tinha feito. Algumas autoridades mais chegadas arranjaram a Legião de Honra para Pierre, mas ele recusou-a, dizendo que precisava era de um laboratório, não de uma condecoração. Os amigos insistiram em que aceitasse a homenagem, ressaltando que isso o ajudaria a conseguir um laboratório. Mas Pierre continuava o orgulhoso e obstinado de sempre e não recebeu nem a condecoração nem o laboratório. Em 1898, candidatou-se à cátedra de física e química da Sorbonne, mas não a conseguiu. Naquela época, seu salário era modesto — cerca de 500 francos por mês. Ele tinha duas filhas para educar, Irène (Figura 2.8), que veio a ser uma cientista digna dos pais, e Eve, que se tornou pianista e mais tarde ficou conhecida por uma famosa biografia da mãe.

Em 1900, os Curie foram bafejados pela sorte. A Universidade de Genebra ofereceu a Pierre uma cátedra em condições bastante favoráveis. Ele hesitou, mas acabou cedendo. Tal fato, entretanto, chegou ao conhecimento das autoridades francesas, que finalmente, lhe deram um cargo na Sorbonne em 1904. Pierre ficou muito satisfeito, sobretudo porque, ingenuamente, julgou que, como professor de física, teria direito a um laboratório. Mas estava enganado. A cátedra não dava direito a nenhum laboratório e, na época de sua morte, Pierre Curie ainda não conseguira um laboratório adequado. Na medida em que os Curie continuavam a trabalhar em

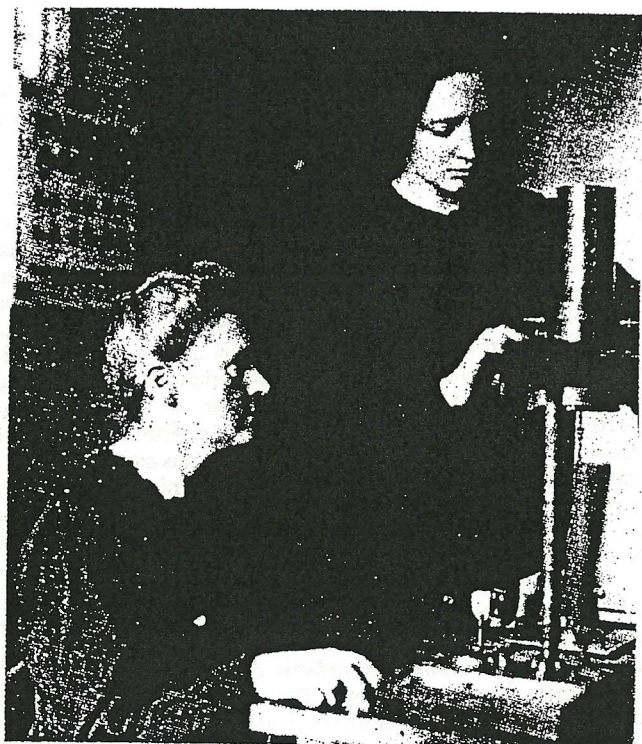


Figura 2.8. Marie Curie com a filha Irène. A mãe treinou a filha em pesquisas científicas e, durante a Primeira Guerra Mundial, levou-a como assistente no serviço de ambulâncias equipadas com aparelhos radiológicos que ela mesma criara. (Arquivos do Instituto do Rádio.)

condições deploráveis, o problema do laboratório foi-se transformando em obsessão. Em 1902, Pierre apresentou sua candidatura à Academia francesa. Era obrigação dos candidatos fazer visitas aos membros e cumprir outras formalidades o que Curie desprezava. Com alguma relutância, fez o que era necessário. Mas a cadeira foi destinada a E. H. Amagat, conhecido pela liquefação de gases; hoje sabemos que Amagat não pode ser comparado a Curie. Após essa derrota, Curie desistiu de procurar reconhecimento na França. Em 1905, porém, um ano antes de sua morte, foi eleito para a Academia.

Em 1903, os Curie receberam o Prêmio Nobel juntamente com Henri Becquerel. Esse fato contribuiu bastante para melhorar a situação financeira do casal, mas nem o Prêmio Nobel nem o Prêmio Osiris, de 25.000 francos, que receberam mais tarde, propiciaram a eles o ansiado laboratório.

Quando da apresentação do Prêmio Nobel, Pierre Curie encerrou seu discurso com as seguintes palavras:

"On peut concevoir encore que dans des mains criminelles le radium puisse devenir très dangereux et ici on peut se demander si l'humanité a avantage à connaître les secrets de la nature, si elle est mûre pour en profiter ou si cette connaissance ne lui sera pas

nuisible. L'exemple des découvertes de Nobel est caractéristique, les explosifs puissants ont permis aux hommes de faire des travaux admirables. Ils sont aussi un moyen terrible de destruction entre les mains des grands criminels qui entraînent les peuples vers la guerre. Je suis de ceux qui pensent avec Nobel que l'humanité tirera plus de bien que de mal des découvertes nouvelles" (Lex Prix Nobel en 1903).

["Pode-se ainda conceber que, em mãos criminosas, o rádio venha a tornar-se bastante perigoso, e aqui podemos indagar-nos se é vantajoso para a humanidade conhecer os segredos da natureza, se está madura para usufruir desses segredos ou se esse conhecimento lhe será nocivo. O exemplo das descobertas de Nobel é característico, os poderosos explosivos têm permitido aos homens executar tarefas admiráveis. São também um meio terrível de destruição nas mãos dos grandes criminosos que arrastam os povos para a guerra. Estou entre aqueles que pensam, como Nobel, que a humanidade extrairá mais bem do que mal das novas descobertas."]

As palavras de Curie são dignas de nota porque mostram também uma conscientização dos problemas que debatemos hoje em dia. Demonstram ainda que o otimismo das décadas anteriores estava começando a esvanecer-se.

Na época em que foram laureados com o Prêmio Nobel, Pierre tinha quarenta e quatro anos e Marie trinta e seis; ambos já tinham a saúde precária e estavam cansados. Viviam em grande isolamento, procurando usufruir da vida no campo o máximo que podiam. Seu círculo social era composto, na maior parte das vezes, de velhos amigos da área das ciências: J. Perrin, P. Langevin, G. Urbain, A. Cotton, A. Debierne, G. Gouy e outros, todos físicos ou químicos. Durante certo tempo interessaram-se pelo espiritismo, mas logo desistiram. Também conheciam alguns artistas: na casa dos Curie podia-se encontrar tanto o escultor Rodin quanto alguma famosa dançarina do Folies Bergères.

Em 19 de abril de 1906, uma terrível tragédia desabou sobre Marie. Ao atravessar uma rua de Paris, à tarde, Pierre foi atropelado por uma carruagem cujo cavalo tinha-se soltado das rédeas. A morte de Pierre perturbou Marie profundamente e ela passou a sentir-se extremamente só e sobrecarregada de responsabilidades e trabalho e, além do mais, envolta numa aura de fama que não era de seu agrado. Afastou-se de tudo, realçando sua personalidade reservada e sua inclinação para o isolamento. De 1900 a 1906, Marie deu aula na École Normale Feminine, em Sèvres, e depois ocupou o cargo de *Chef de Travaux* na Faculdade de Ciências — isto é, assistente do marido. Em seguida, foi indicada para o lugar de professora da Sorbonne, em substituição a Pierre. Sem fazer qualquer comentário, Marie deu prosseguimento às aulas de Pierre sobre radioatividade, partindo exatamente do ponto onde ele as interrompera.

Em 1911, foi laureada com um segundo Prêmio Nobel. Também por essa mesma época teve um caso com P. Langevin, questão particular que foi assunto de muitos comentários escandalosos, pois Langevin era casado e tinha filhos. Sua mulher abandonou-o por um certo período e é um dos filhos de Langevin que relata esses episódios em uma biografia do pai.

Já citei o nome de Langevin (1872-1946) diversas vezes. Trata-se de um brilhante físico francês que exerceu grande influência em sua época. Como

estudante, trabalhara com Pierre Curie e, na Inglaterra, com J. J. Thomson. Suas principais realizações ocorreram no campo da teoria, onde sua análise das propriedades magnéticas dos materiais é um clássico de valor eterno. Durante a Primeira Guerra Mundial, devotou-se a problemas práticos de detecção de submarinos e aperfeiçoou osciladores elétricos de quartzo, os ancestrais daqueles usados em relógios modernos. A extrema clareza de seu pensamento e sua capacidade de expressão fizeram dele um professor bastante conceituado. Íntimo amigo dos Curie e de Einstein, Langevin estabeleceu vínculos internacionais e, sob muitos aspectos, tornou-se um representante semi-oficial das ciências francesas. Também dedicou-se a idéias libertárias e mais tarde tornou-se um militante comunista. Durante a ocupação alemã na França, participou de movimentos de resistência e no final fugiu do país. Voltou após a guerra, quando tinha perdido todos os parentes com as perseguições nazistas.

Como iniciante em estudos de física, vim a conhecer Langevin na casa de um famoso matemático, em Roma, onde ele era hóspede de honra. Langevin imediatamente traçou para mim um eloquente paralelo entre a física que eu estava estudando e a que era estudada em sua época. A termodinâmica, que lhe parecia bastante abstrata, era um dos principais assuntos de seu tempo. Hoje em dia podemos considerar-nos afortunados pelo fato de a física lidar com belíssimos modelos concretos e, ao mesmo tempo, destruir tantos conceitos abstratos. Pouco podia ele suspeitar a respeito do que viria a acontecer nos próximos anos com o desenvolvimento da mecânica quântica. Senti-me lisonjeado com a atenção que um homem tão famoso dava a um estudante insignificante, com a gentileza de ter-se dirigido a mim quase como a um colega. Certamente era um homem encantador.

Por ocasião da Primeira Guerra Mundial, Marie era uma celebridade mundial, e o Governo francês finalmente destinara verbas para o laboratório almejado havia tanto tempo; mas esse laboratório só terminou de ser construído após a guerra e foi usado apenas durante um período menos ativo da vida de cientista de Marie Curie. No início da guerra, Marie Curie mostrou-se indignada com a falta de equipamento radiológico dos hospitais de campo, onde poderia ser de grande utilidade e, pessoalmente, tentou remediar a situação organizando um serviço de ambulâncias equipadas com aparelhos de raios X. Levou consigo, na qualidade de assistente, a filha de dezoito anos de idade. Mal posso imaginar um general francês discutindo com Marie Curie.

Após a guerra, uma jornalista norte-americana, a Sra. W. B. Meloney, conseguiu entrevistar Marie Curie. Trata-se de um fato memorável, pois Madame Curie escondia-se de repórteres, de caçadores de autógrafos e, de maneira geral, de qualquer tipo de publicidade. A Sra. Meloney aparentemente conseguiu cair nas graças de Marie Curie. Prometeu-lhe que as mulheres norte-americanas forneceriam a ela uma grande amostra de rádio. Surpreendentemente, embora tivesse aperfeiçoado os processos técnicos usados no isolamento do rádio, Marie Curie dispunha de muito pouco rádio para seu uso próprio ou no laboratório. Em 1921, fez uma triunfal viagem



Figura 2.9. Marie Curie conversando com R. A. Millikan no Congresso Volta realizado em Roma em 1931. Atrás de Millikan está R. Fowler; à direita, W. Heisenberg.

aos Estados Unidos, onde o Presidente Harding ofereceu-lhe de presente o rádio adquirido com contribuições feitas por cidadãos norte-americanas.

Bem no início, foi possível perceber que o rádio poderia ter efeito sobre o tecido biológico. Um dos primeiros a queimar-se foi Henri Becquerel, ao carregar no bolso do colete um pouco de rádio preparado pelos Curie. Os Curie também sofreram lesões provocadas pelo rádio. Espalhou-se a idéia de que essa nova substância podia ser útil para controlar tumores e, assim, evidenciou-se que teria um valor comercial. Mas os Curie resolveram não patentear qualquer um dos processos que tinham aperfeiçoado para isolar a substância, resolução essa que se enquadrava em suas crenças e que tem sido frequentemente citada como prova de grandeza de espírito e de superioridade. Em minha opinião, embora possa haver diferentes pontos de vista sobre a ética do patenteamento de descobertas científicas, não há nenhuma virtude específica em recusar os benefícios que podem advir da própria obra.

Mais tarde Marie Curie participou ativamente da cooperação intelectual internacional através da Liga das Nações. Em 1929, fez uma outra

viagem aos Estados Unidos. Enquanto isso, no novo laboratório, prosseguia com o trabalho de sua vida sobre o velho tema de isolar as famílias radioativas. Preocupava-se também com o aperfeiçoamento de jovens colaboradores inclusive sua filha Irène.

Mas a saúde de Marie estava cada vez mais cambaleante. Sofreu duas operações de catarata que a deixaram com a visão bastante deficiente. Quando a conheci, em 1931, ela parecia frágil e pálida (Figura 2.9). Suas mãos envoltas em gaze, cheias de queimaduras provocadas por radiação, contorciam-se nervosamente. Afinal, conseguiu o laboratório, mas já era tarde demais. Também tinha uma aposentadoria aprovada pela Assembléia Nacional francesa e duas casas, uma em Paris e outra na Riviera. No final, o destino foi amável com ela, permitindo-lhe assistir, nos últimos meses de vida, à grande descoberta de sua filha e de seu genro: a radioatividade artificial. Morreu em 1934 num sanatório nos Alpes franceses.

Rutherford no mundo novo: a transmutação dos elementos

Embora Ernest Rutherford (1871-1937) tenha sido um gigante na área da física, devemos lembrar que ele não trabalhou sozinho e que seu nome também tem um significado simbólico. Os progressos ocorridos na física dependem de muitas contribuições feitas por vários cientistas num determinado período de tempo até que, finalmente, se chegue à fruição total. O último pesquisador é que quase sempre recebe o maior crédito. Nessas condições, para não perder o fio da meada deste livro, devo omitir certos nomes importantes. Não é fácil seguir todas as interações entre pesquisadores e mostrar até que ponto um físico se inspirou em outro. Por exemplo, Becquerel, os Curie e Rutherford leram os resultados dos trabalhos de cada um e ocasionalmente trocavam idéias sobre esses trabalhos, mas é difícil seguir — e até mais difícil descrever com eficiência — esses intercâmbios tão importantes. As citações contidas nos trabalhos científicos de cada um dão uma idéia do intercâmbio intelectual entre os cientistas.

Além do mais, certos cientistas criaram “escolas” em torno de si. O relacionamento entre mestre e discípulo varia segundo o caso, mas quase sempre as personalidades se complementavam umas às outras e tornavam a obra mais produtiva. Outros cientistas são solitários; todos os estágios intermediários entre esses extremos não deixam de existir. Rutherford foi um dos mais famosos criadores de uma escola e seus colaboradores fizeram muitas descobertas oriundas dos laboratórios por ele dirigidos. Basta mencionar O. Hahn e F. Soddy, no Canadá; H. Geiger, E. Marsden, N. Bohr, G. Hevesy e H.G. Moseley em Manchester; e J. Chadwick, P. M. S. Blackett, J. D. Cockcroft, E. T. S. Walton, M. Oliphant, M. Goldhaber, C. E. Wynn-Williams e outros em Cambridge. É fácil perceber como a inspiração e a liderança de Rutherford se ampliaram e se suplementaram com o intercâmbio entre seus discípulos.

Início da Carreira de Rutherford

Rutherford (Figura 3.1) nasceu em 13 de agosto de 1871, perto de Nelson, na South Island da Nova Zelândia, no seio de uma família escocesa que havia emigrado para aquela região. Sua mãe era professora primária e pianista. Tocar piano nas condições que predominavam na Nova Zelândia em 1870 era forte indício não só de cultura como também de perseverança. O pai de Rutherford era um homem engenhoso e enérgico que mudou de