

MARIE CURIE : 9

RADIOATIVIDADE E ERA NUCLEAR

TÓPICO

Henrique E. Toma

9.1 Marie Curie: Radioatividade e era nuclear

9.1 . Marie Curie: Radioatividade e era nuclear

O final do século XIX trouxe grandes progressos para a química, com o nascimento da estereoquímica e da química de coordenação, através dos trabalhos de Alfred Werner. Esse período também foi marcado por avanços importantes na física, especialmente pela invenção do espectroscópio, em 1859, e pelos estudos sobre a luz emitida pelos corpos, três décadas depois. É interessante notar que, já em 1821, Davy havia feito experimentos sobre eletricidade em gases, mostrando que o ar torna-se melhor condutor quando rarefeito. Experimentos de descarga elétrica em gases também foram feitos depois por Michael Faraday (1791-1867), Heinrich Geissler (1814-1979) e outros. Geissler, um soprador de vidro (hialotécnico) talentoso, conseguiu aperfeiçoar os tubos com gás rarefeito, que despertaram a curiosidade por causa da luz fluorescente emitida, e pelo fato dos feixes poderem ser movidos por um ímã. Os estudos evoluíram até os trabalhos de William Crookes (1832-1919) com os tubos de raios catódicos, precursores dos tubos de televisão, e depois com Joseph John Thomson (1856-1940) com as descobertas que dariam origem à espectrometria de massa nos tempos modernos. Thomson observou o comportamento dos feixes ao aplicar campos elétricos, chegando muito próximo da relação carga/massa do elétron. Contudo, o melhor resultado de determinação da carga do elétron foi obtido por Roberto A. Millikan (1868-1953), no início do século XX, ao realizar o célebre experimento da gota de óleo. Os valores atuais de e/m são próximos de 1.7×10^7 esu/g. A massa do elétron corresponde a $1/1837$ da massa do átomo de hidrogênio.

Johann J. Balmer (1825-1898), ao observar a luz emitida pela lâmpada de hidrogênio através de uma fenda, concluiu que ela podia ser decomposta em quatro linhas espectrais, com suas frequências características. Seguiram-se os trabalhos de Paschen, Lyman, Brackett e Pfund, que foram englobados na famosa equação anteriormente proposta (1890) por Johannes R. Rydberg (1854-1919), da Universidade de Lund. As indicações de relações bem definidas de energia dentro do átomo ficavam aparentes na equação de Rydberg, e acabariam por comprovar o modelo atômico de Bohr que viria a surgir somente duas décadas depois.

Em 1895, Wilhelm K. Röntgen (1845-1923) estava estudando a emissão de luz ultravioleta em tubo de descarga elétrica em gás, utilizando cristais fluorescentes de $\text{Ba}[\text{Pt}(\text{CN})_4]$ como detectores, quando percebeu a luminescência dos cristais mesmo o tubo estando coberto com

papel preto. Descobriu, assim, um novo tipo de radiação, que chamou de raios X. Essa radiação era capaz de impressionar a chapa fotográfica, e de atravessar os tecidos orgânicos do corpo, sendo, porém, absorvida pelos ossos e metais (**Figura 9.1**). A aplicação médica foi quase imediata.

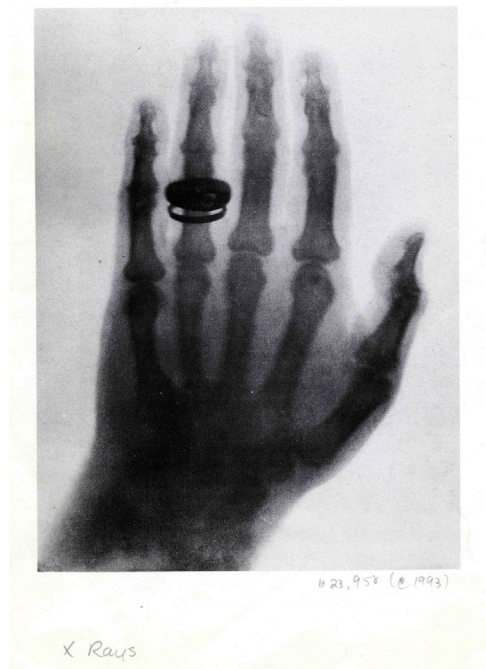


Figura 9.1: Foto histórica de raios X, tirada por Röntgen, da mão de uma colega de laboratório usando um anel de noivado.

Röntgen recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1901.

Mais tarde, George Gabriel Stokes demonstrou que os raios X são radiações eletromagnéticas de comprimento de onda muito curto. Em 1912, Max von Laue (1879–1960) mostrou que os cristais conseguiam difratar os raios X, gerando padrões de pontos simetricamente distribuídos sobre um filme fotográfico. A demonstração de que os cristais atuam como redes de difração para raios X foi feita por William H. Bragg (1862–1942), professor da Universidade de Londres, e seu filho, William Lawrence Bragg. Esses experimentos evoluíram para as técnicas modernas de difração de raios X, que permitem determinar a estrutura atômica dos materiais.

Na época da descoberta dos raios X também foram estudados o comportamento dos feixes ou raios canal que fluíam na direção do cátodo. Wilhelm Wien (1864–1928) mostrou que os campos elétricos eram capazes de defletir

os raios canal, revelando que estes tinham carga positiva, e seriam formados pelos gases ionizados.

Esses antecedentes são importantes para entender a descoberta da radioatividade por Antoine Henri Becquerel (1852–1908). Estudando os raios emitidos pelos pontos fluorescentes do tubo, Becquerel resolveu utilizar vários materiais fluorescentes e fosforescentes conhecidos como detectores. Em um experimento, os cristais desses materiais foram colocados sobre a superfície encapada e protegida da luz de uma placa fotográfica, e expostos ao sol. O sal de urânio foi capaz de sensibilizar a placa fotográfica. Os experimentos repetidos em dias nublados, e depois no escuro, revelaram que a sensibilização das placas fotográficas era uma propriedade inerente ao sal de urânio, e não precisava de fonte externa de excitação. Becquerel descobriu que o novo tipo de radiação emanado pelo sal de urânio era parecido com os raios X na capacidade de atravessar tecidos e impressionar as chapas fotográficas. Além disso, era capaz de ionizar

o ar e torná-lo condutor. Descobriu ainda que a intensidade da radiação era proporcional à quantidade de urânio presente. Após os descobrimentos de Becquerel, o assunto começou a ser investigado por **Marie Skłodowska Curie** (1867–1934) em seu plano de doutorado.

Manya Skłodowska (**Figura 9.2**) nasceu em Varsóvia, em 7 de novembro de 1867. Nessa época, a Polônia estava dividida entre Áustria, Prússia (Alemanha) e Rússia, e Varsóvia ficava sob o controle da Rússia. Seu pai, Vladislav Skłodowska, era professor secundário de Matemática e Física, e sua mãe era diretora de escola. Ambos foram bastante prejudicados com as pressões políticas, com rebaixamento de cargos e vencimentos. Manya, ou Marie (nome que adotaria mais tarde), tinha 10 anos quando sua mãe morreu de tuberculose. Para manter a família unida, Vladislav empenhou-se pessoalmente na educação dos filhos. Os instrumentos utilizados nas aulas de Física foram mantidos em sua casa, depois da proibição do ensino de Laboratório pelas autoridades russas. Dessa forma, Marie aprendeu a fazer experimentos e iniciou-se em estudos de física com seu pai. Tinha facilidade para aprender matemática, e era a aluna mais brilhante da classe. Na formatura, aos 15 anos, foi contemplada com a medalha de ouro de melhor aluna, porém declinou dessa honraria para não ter que recebê-la das mãos das autoridades russas.



Figura 9.2: Marie Curie (Manya)

O domínio da Rússia impunha restrições ao ingresso das mulheres nas universidades. Por isso, Marie juntou-se às suas colegas, incluindo sua irmã Bronya, e passou a frequentar a chamada universidade itinerante, que funcionava clandestinamente no período noturno, mudando de localidade com frequência, para fugir da vigilância russa. O objetivo era principalmente o autoaperfeiçoamento dos alunos e a manutenção da memória e dos valores pátrios. O espírito de luta para ter uma boa educação era imenso. Por isso, aos 17 anos, Marie fez um pacto com Bronya para trabalhar como tutora das crianças de um fabricante de açúcar nas redondezas de Varsóvia e, assim, custear seus estudos de Medicina em Paris. Como parte desse pacto, Bronya, depois de formada, sustentaria os estudos de Marie. Além de seu trabalho, Marie também passou a ajudar, de forma voluntária, na educação de crianças carentes. Retornando para Varsóvia dois anos depois, seu pai já estava restabelecido como diretor de uma escola e passou a custear os estudos de Bronya. Assim, com o apoio do pai, e dando continuidade ao seu trabalho de tutora e governanta, economizou o suficiente para prosseguir seus estudos em Paris. Nesse período,

Marie continuava estudando diversos assuntos, como autodidata, melhorando seu conhecimento de matemática e aprendendo física com seu pai. Seu primo, Joseph Boguski, discípulo de Dmitri Mendeleev (1834-1907), era responsável pelo Museu da Indústria e Agricultura. Em apoio à perseverança de Marie, Boguski e seus amigos deram-lhe treinamento no laboratório de química, além de aulas nos fins de semana. Finalmente, em 1891, aos 24 anos de idade, Marie estava pronta para perseguir os seus sonhos em Paris. Levou apenas o suficiente para a viagem, além de um apoio dobrável para se sentar, pois no vagão de quarta categoria o governo alemão não permitia o uso de assentos.

Em Paris, hospedou-se inicialmente na casa de Bronya, que já estava casada com Casimir Dluski, um polonês que conhecera na faculdade de Medicina. Casimir participava ativamente de movimentos em defesa da Polônia. Quando Manya entrou para a Sorbonne, em 1891, adotou o



Figura 9.3: Marie e Pierre Curie

nome Marie, e passou a estudar matemática e física. Preocupado que a proximidade com Casimir pudesse prejudicar sua vida em Paris, e com o desgaste de seu longo percurso até chegar à Sorbonne, seu pai a aconselhou a se mudar para o bairro Quarter Latin, próximo da universidade, frequentado por estudantes e artistas.

Marie percebeu que estava em desvantagem em relação a seus colegas, e precisava melhorar seus conhecimentos de física e matemática, assim como de francês. Por isso, dedicou-se aos estudos com muito afinho, e em 1893 já conquistava o mestrado em Física. Passava por sérias dificuldades econômicas, mas, com o apoio dos professores, conseguiu uma bolsa de estudos, e prosseguiu até concluir o mestrado em Matemática, no ano seguinte. Nesse período, aceitou um trabalho de uma entidade, voltada para o desenvolvimento da indústria francesa, para racionalizar o comportamento magnético dos diferentes tipos de aço em termos de sua composição. Para cumprir sua incumbência,

Marie precisava encontrar um laboratório onde pudesse realizar seus trabalhos. Foi assim que, através de amigos, chegou ao laboratório da Escola Municipal de Física e Química Industrial de Paris, chefiada por Pierre Curie (1859-1906), **figura 9.3**.

Marie foi bem recebida, e encantou-se com a postura séria e gentil de Pierre. O trabalho em conjunto aproximava-os cada vez mais, e assim o respeito inicial foi se transformando em um relacionamento afetivo. Pierre, 8 anos mais velho que Marie, não havia conseguido preencher sua vida afetiva desde a perda de sua companheira, cerca de 15 anos passados, principalmente por não encontrar alguém com quem pudesse compartilhar seu interesse científico. Marie concluiu seus trabalhos sobre o comportamento magnético dos aços e, com o pagamento recebido, devolveu voluntariamente os recursos para a fundação que a havia apoiado com a bolsa de estudo, durante o seu mestrado. Completada sua missão, Marie tinha aspiração de voltar para a Polônia, mas foi convencida por Pierre a realizar o doutorado em Paris, com Gabriel Lippmann, um cientista muito respeitado, responsável por estudos importantes sobre os efeitos elétricos em cristais. Lippmann abriu espaço em seu laboratório para os trabalhos de Marie.

Pierre Curie havia sido um aluno brilhante em Matemática, completando o mestrado com apenas 18 anos. Em seu laboratório, já havia feito várias descobertas relevantes, porém sem buscar o doutorado. Com 21 anos, juntamente com o irmão Jacques, que era mineralogista, descobriram o efeito piezoelétrico em cristais. Esse efeito envolve a produção de uma resposta elétrica quando determinados cristais são pressionados, e vice-versa. Atualmente, é a base de todo o sistema de produção de som em equipamentos elétricos para comunicação e reprodução musical. Os dois irmãos utilizaram esse efeito na construção de um eletrômetro de quartzo piezoelétrico, capaz de medir quantidades muito pequenas de corrente (**Figura 9.4**). Pierre Curie também realizou estudos pioneiros em magnetismo, descobrindo como o comportamento dos materiais magnéticos modificam-se com a temperatura. A temperatura em que a mudança é observada é denominada temperatura de Curie em sua homenagem. Pierre também desenvolveu uma balança magnética extremamente sensível, que leva o seu nome. Estimulado por Marie, Pierre concluiu a redação de sua tese em magnetismo, obtendo em março de 1895.

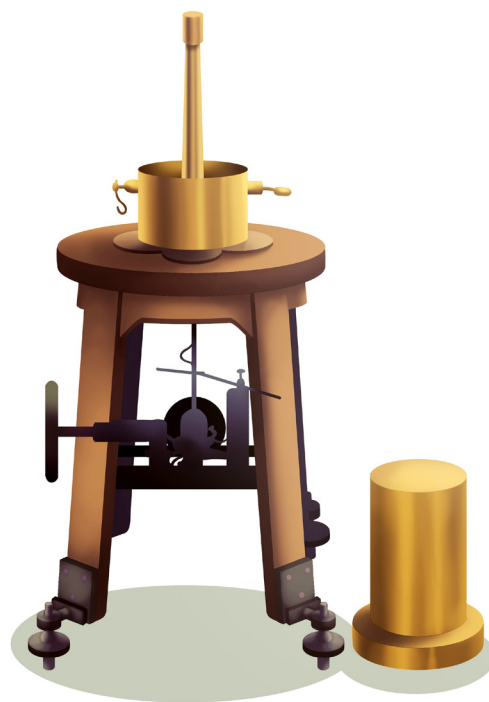


Figura 9.4: Eletrômetro inventado por Pierre Curie

Em julho de 1895, Marie e Pierre Curie oficializavam seu casamento civil. Em 1897, nascia sua primeira filha, Irène, sob os cuidados do pai de Pierre, que era médico. Logo depois, Pierre perderia sua mãe, e os Curie passariam a formar uma família bastante unida. O avô era muito apegado à Irène, e passou a dar suporte para que Pierre e Marie continuassem suas pesquisas no laboratório. Assim, Marie decidiu dar início às suas pesquisas, visando à obtenção do doutorado, cujo feito ainda era inédito para as mulheres na França.

Na escolha do tema do doutorado, Marie foi bastante influenciada pelas descobertas recentes (1895) dos raios X por Röntgen, e pelo relato de Henri Becquerel (1896), de que os minérios de urânio emitiam raios que também eram capazes de impressionar chapas fotográficas mantidas no escuro. Marie havia recebido uma grande variedade de minerais, e com o auxílio do eletrômetro inventado anteriormente por Pierre, observou que, além do urânio, os que continham tório também emitiam algum tipo de radiação capaz de ionizar gases. A natureza dos compostos de tório e urânio, assim como a temperatura, não tinha influência no fenômeno. Um dos minerais conhecidos como pitchblenda tinha até 80% de U_3O_8 e seu poder ionizante era muitas vezes maior que o do próprio urânio em estado puro. Sua composição, entretanto, era bastante complexa, contendo cerca de 30 elementos. Por causa da elevada radioatividade, Marie Curie suspeitou da existência de um novo elemento. b

O trabalho de fracionamento químico e de monitoração física das radiações era bastante extenuante. Por isso, Pierre passou a ajudar Marie em seu trabalho de busca de novos elementos. Conseguindo permissão para utilizar as instalações precárias de um galpão desocupado próximo do laboratório de Pierre, Marie começou o trabalho de fracionamento da pitchblenda. Através da Academia de Ciências de Viena, receberam do governo da Áustria toneladas de resíduos de pitchblenda, de onde o urânio já havia sido extraído para uso na fabricação de vidros. Enquanto obtinha as diversas frações, seu conteúdo radioativo era monitorado com o eletrômetro, para chegar a duas frações mais ativas: uma de concentrado de bismuto e outra de bário. Em julho de 1898, o casal Curie anunciava a descoberta de um novo elemento no concentrado de bismuto, o qual chamaram de polônio, em homenagem ao berço amado de Marie. Seu peso atômico foi determinado como 225. Concentrando-se nos resíduos de bário, observaram que, após a remoção do $BaCl_2$, a radioatividade ficava na parte insolúvel. Em julho de 1902, várias toneladas de pitchblenda haviam sido processadas para chegar a 0.1 g de $BaCl_2$. Esse material foi analisado pelo espectroscopista Eugène-Anatole Demarçay, revelando uma linha nova, distinta das do bário. A purificação do material, até chegar ao máximo de sua atividade radioativa, levava à uma intensificação da nova linha espectral, confirmando tratar-se de um novo elemento. Esse

material brilhava no escuro. Assim, em dezembro de 1898, o casal anunciava a descoberta do elemento que chamaram de rádio.

Em 1903, Marie Curie (**Figura 9.5**) finalmente defendeu sua tese de doutorado, **Pesquisas sobre substâncias radioativas**. Os examinadores consideraram a tese de Marie Curie como a mais importante contribuição científica registrada até então. Nesse ano, o casal foi convidado para uma homenagem na Instituição Real, em Londres. A tradição excluía a participação de mulheres como conferencistas, e Pierre proferiu o discurso, dando enorme crédito ao trabalho de Marie. A saúde de Pierre já estava se deteriorando rapidamente, e ele teve muita dificuldade de cumprir sua tarefa. Suas mãos estavam tão atacadas que acabou derrubando um pouco de rádio na sua demonstração sobre a luminescência desse elemento.

Em 1903, a Academia de Ciências da França indicou Henri Becquerel e Pierre Curie como candidatos ao Prêmio Nobel de Física. Através do matemático sueco Magnus Goesta Mittag-Leffler, membro do Comitê Nobel, Pierre tomou conhecimento da exclusão do nome de Marie Curie. Não tardou para alertar o comitê do grave erro que estariam cometendo ao ignorar o papel fundamental de Marie Curie nas descobertas sobre a radioatividade. Assim, à revelia da França, o casal Curie e Becquerel foram laureados



Figura 9.5: Marie Curie

com o Prêmio Nobel de Física em 1903. A importância da descoberta dos novos elementos, polônio e rádio, não foi destacada na premiação, o que deixou a comunidade de químicos pouco satisfeita. Pierre Curie foi convidado para ser professor da Universidade de Sorbonne, mas recusou por não poder contar com um laboratório adequado. Em 1904, acabou aceitando o convite, diante das promessas de construção de um laboratório. O Prêmio Nobel teve profundo impacto na vida do casal Curie, como perda de privacidade e surgimento de muitos compromissos. Em 1904, nascia a segunda filha do casal, Eve. Pierre, que já havia sido rejeitado pela Academia de Ciências, só foi eleito em 1905.

Em 1906, em um dia de muitos compromissos, quando saía apressadamente de uma reunião no período do almoço, debaixo de chuva, Pierre foi atropelado por um pesado carro-vagão puxado por cavalos. Sua morte foi instantânea. Marie passou a liderar a família com seu sogro e as duas crianças, e foi indicada como sucessora de Pierre em Sorbonne.

Ainda em choque com a morte de Pierre, Marie tomou conhecimento de um artigo na primeira página da revista *London Times*, escrito por Lord Kelvin (William Thomson), afirmando que o rádio não era um elemento, mas sim um composto de chumbo com cinco átomos de hélio. Ciente de que isso acabaria com toda a teoria da radioatividade, Marie voltou para suas pesquisas no laboratório, para mostrar que Lord Kelvin estava errado. Com o auxílio de um colega, André Debierne, ela purificou novas quantidades de cloreto de rádio e isolou o elemento em estado puro, através da eletrólise do sal fundido. Depois determinou o peso atômico como sendo 225, colocando o rádio definitivamente na tabela periódica.

Em 1910, publicou seu livro *Tratado sobre a radioatividade*, conquistando o direito de ter o seu nome como unidade internacional:

"Um curie é a quantidade de substância radioativa que decai a uma taxa de 3.7×10^{10} desintegrações por segundo"

Muito assediada pela imprensa após o recebimento do primeiro Prêmio Nobel, Marie Curie tornou-se alvo de intrigas quando se candidatou para uma vaga de física na Academia de Ciências da França, concorrendo com Edouard Branly. As circunstâncias favoreciam Branly, pois o Prêmio Nobel de 1909 havia sido concedido para o italiano Guglielmo Marconi, frustrando a esperança que a França depositara em Branly. Além disso, a ligação de Branly com a Igreja projetava um forte contraste com Marie Curie. Branly venceu a eleição por dois votos.

Marie Curie já estava bem estabelecida em Sorbonne, quando seu relacionamento com Paul Langevin (1872-1946) veio à tona. Langevin era um ex-aluno brilhante de Pierre Curie, que estava enfrentando uma séria crise no casamento, acusado pela esposa de trocar a família, ela e seus quatro filhos, pelo trabalho. Em 1910, Langevin havia deixado a família, para morar perto do laboratório de Marie Curie. Em 1911, os rumores do relacionamento de Curie com Langevin tornaram-se muito fortes quando a Sra.

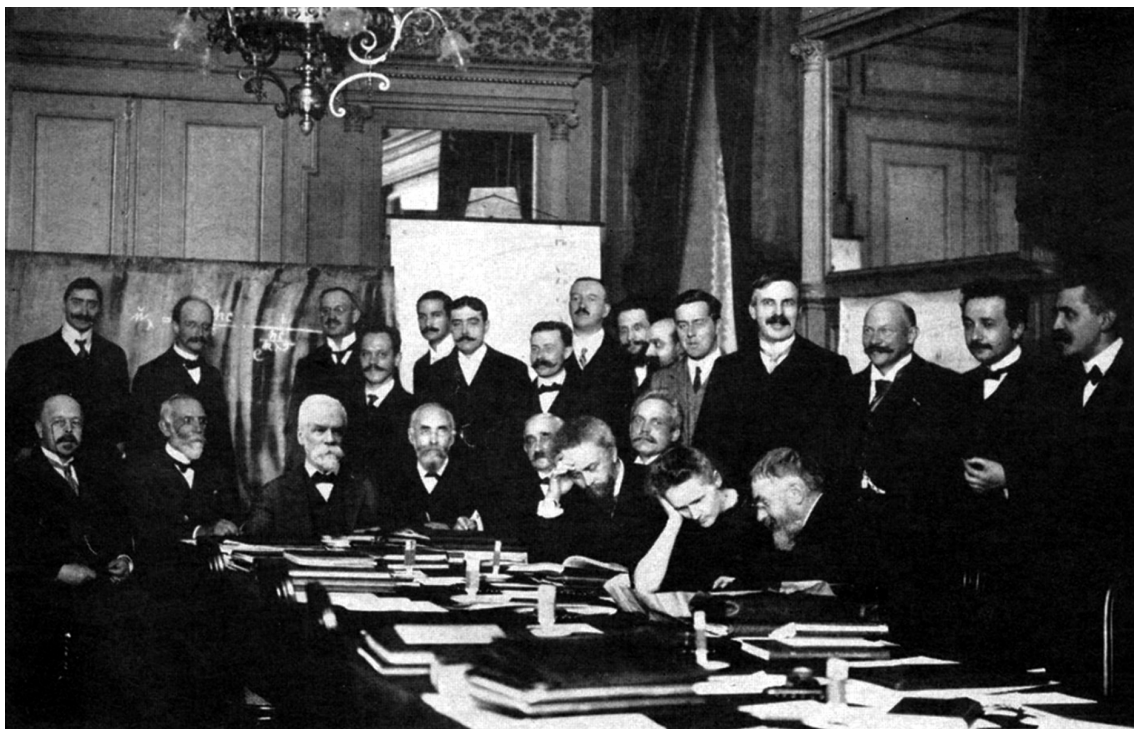


Figura 9.6: 7a Conferência Solvay (Bruxelas, 1911). Da esquerda para a direita (sentados): W. Nernst, M. Brillouin, E. Solvay, H. Lorentz, E. Warburg, J. Perrin, W. Wien, Marie Curie e H. Poincaré; (em pé): R. Goldschmidt, M. Plack, H. Rubens, A. Sommerfeld, F. Lindermann, M. de Broglie, M. Knudsen, F. Hasenöhrl, G. Hostelet, E. Herzen, J. H. Jeans, E. Rutherford, H. Kamerlingh Onnes, A. Einstein e P. Langevin

A Conferência de Bruxelas foi organizada e patrocinada pelo industrial belga Ernest Solvay, em 1911, para discutir as novas perspectivas da física após a relatividade, quantização e radioatividade. Marie Curie era a única cientista mulher na foto. Paul Langevin é o último à esquerda ao lado do jovem Albert Einstein. Enquanto o mundo noticiava esse importante evento, a imprensa francesa publicava as cartas trocadas entre Marie Curie e Paul Langevin, explorando o sensacionalismo e a infelicidade que se abatera sobre a família Langevin. No retorno a Paris, uma multidão furiosa impediu Marie de entrar em sua casa, onde as filhas estavam aterrorizadas, sem entender o que estava acontecendo. Depois de ser acolhida por amigos, Marie não mais voltou ao bairro onde morava.

Ainda em 1911, Marie Curie foi surpreendida com um telegrama comunicando seu Prêmio Nobel em Química. O recebimento de dois Prêmios Nobel era um fato inédito. O Nobel em Química foi anunciado pela contribuição de Marie aos avanços da química através da descoberta dos elementos rádio e polônio, pelo isolamento do rádio e pelo estudo da natureza e dos

compostos desse notável elemento. Bastante abalada com os escândalos da imprensa francesa, ela foi para a cerimônia de premiação, em 10 de dezembro de 1911, acompanhada de sua filha Irène e de sua irmã, Bronya. Passado esse período de intensa agitação em sua vida, Marie Curie entrou em depressão, tendo seu estado de saúde agravado por problemas nos rins. Recolheu-se em uma clínica, usando o nome de solteira, sentindo-se constrangida em relação à memória de Pierre. Depois, fugindo da imprensa, abrigou-se na casa de uma amiga em Londres, até sentir-se recuperada. Em dezembro de 1912, ela retornou à Sorbonne, usando novamente o sobrenome Curie.

Sua grande meta passou a ser o recém-criado Instituto do Rádio, que ela considerava um tributo à memória de Pierre Curie. Nele seriam desenvolvidas novas pesquisas e produtos, principalmente voltados para a aplicação da radioatividade na medicina. O Instituto foi inaugurado em agosto de 1914, mês em que a Alemanha declarava guerra à França. Em setembro de 1914, as bombas atingiram Paris. No Instituto do Rádio ficaram apenas duas pessoas: Marie Curie e um técnico que não podia fazer grandes esforços por problemas cardíacos. Com o agravamento da guerra, Marie percebeu que poderia contribuir com serviços de radiologia, chefiando uma divisão na Cruz Vermelha. Conseguiu convencer os fabricantes de veículos a adaptarem algumas unidades para uso em campo, colocando em operação 20 laboratórios móveis de radiologia ainda nesse ano.

Marie voltou sua atenção para o Instituto do Rádio, procurando angariar fundos e apoio para transformá-lo em uma instituição respeitada internacionalmente. Obteve o apoio de Henri Rothschild, e com isso estabeleceu uma equipe de alto nível. Em 1920, Curie foi entrevistada pela jornalista americana Meloney e declarou que o Instituto do Rádio já quase não dispunha desse elemento para pesquisa, o que provocou uma comoção generalizada. Realizou-se uma campanha nos laboratórios americanos para fornecer rádio para o instituto de Marie, com bastante sucesso. O nome de Marie Curie cresceu internacionalmente para tornar-se um mito. Na pesquisa feita pela revista *New Scientist*, Marie Curie foi eleita a mulher mais influente da ciência, de todos os tempos.

Marie Curie morreu perto de Salanches, França, em 1934, de leucemia, devido, seguramente, à exposição maciça a radiações durante o seu trabalho. Assim como Marie, sua filha, Irène Joliot-Curie (1897-1956), entrou para a vida científica juntamente com seu marido, o físico Frédéric

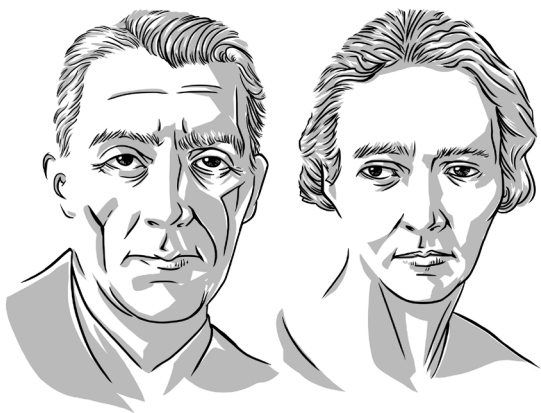


Figura 9.7: Frédéric Joliot e Irène Joliot-Curie

Joliot (1900–1958) (**Figura 9.7**). O casal descobriu a radioatividade artificial e demonstrou a existência do nêutron, recebendo o Prêmio Nobel de Química de 1935.

Em consideração ao centenário do Prêmio Nobel de Química concedido a Marie Curie em 1911, a ONU anunciou o ano de 2011 como o Ano Internacional da Química.

Bibliografia

CURIE, M. (Disponível em :<http://www.aip.org/history/curie/brief/01_poland/poland_1.html> Acesso em 1/2011.)

GREENBERG, A. **Um passeio pela história da química**. Tradução: H. E. Toma, P. Cório e V. K. L. Osório. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2010.

IHDE, A. J. **The development of modern chemistry**. New York: Harper & Row, 1966.