

ENTRE O INVISÍVEL E O DIVISÍVEL: MARIE CURIE E UM NOVO OLHAR SOBRE A NATUREZA DA MATÉRIA

Tânia de Oliveira Camel
EPSJV/ FIOCRUZ
tcamel@fiocruz.br

Cecília Cruz de Almeida
FIOCRUZ

Os físicos em 1890 acreditavam que os fundamentos da Física já estavam praticamente estabelecidos e assumiam que a maioria dos fenômenos já era conhecida. Todavia, quatro grandes descobertas no final do século XIX, entre 1895 e 1897, levaram ao entendimento da estrutura atômica. São elas: os raios X, o elétron, o efeito Zeeman e a radioatividade. Esse trabalho trata especificamente da elaboração do conceito de radioatividade por Marie Curie após a questionável descoberta do fenômeno por Becquerel.

1. Os novos raios

Em 1895, Wilhelm Röntgen (1845-1923), seguindo a inclinação da época, realizava experiências com raios catódicos, quando observou que outros raios (raios X) altamente penetrantes eram emitidos a partir da colisão dos raios catódicos com as paredes de vidro do tubo e que os novos raios velavam chapas fotográficas e provocavam fluorescência em vários materiais. Descobriu que os raios apresentavam algumas propriedades em comum com a luz, como: propagavam-se em linha reta e não eram influenciados por campos magnéticos. Todavia, ele não conseguiu verificar as propriedades de refração, reflexão ou polarização. Observou também seu poder de penetração superior quando comparados aos raios catódicos.

As fotografias serviram para corroborar a idéia de que os raios X eram um novo tipo de radiação luminosa, embora mais de uma década ainda fosse necessária para estabelecer sua real natureza. A discussão sobre a sua natureza continuou até que se acumulassem evidências de que eles eram ondas eletromagnéticas de curtíssimo comprimento de onda. A descoberta dos raios X alertou os físicos sobre a possível existência de outros tipos de radiação.

Henri Becquerel (1852-1908), que já havia publicado estudos sobre substâncias fosforescentes e fluorescentes¹, resolveu investigar se substâncias fosforescentes também emitiam os raios X. Colocou uma amostra de sulfato duplo de potássio e urânio sobre uma chapa fotográfica envolta em

um papel negro e grosso e expôs o conjunto à luz do sol por várias horas, observando então a silhueta da substância fosforescente escurecendo a chapa.

Em 24 de fevereiro de 1896, apresentou seu relatório *Sur les radiations émises par phosphorescence* à Academia das Ciências, no qual descreveu sua experiência, concluindo que a substância utilizada emitia raios que podiam penetrar o papel opaco à luz (MARTINS, 1990). Becquerel acreditava que os compostos de urânio emitiam algo semelhante à radiação ultravioleta. As observações pareciam indicar que a emissão de radiação pelo urânio se tornava mais forte após expor os compostos ao Sol, o que parecia ser um tipo de fosforescência. No entanto, segundo a lei de Stokes ² a radiação emitida tem comprimento de onda maior do que a radiação absorvida. Esse caso seria uma violação a essa lei, pois os raios luminosos absorvidos tinham um comprimento de onda maior do que a radiação ultravioleta emitida (MARTINS, 2004).

Uma semana mais tarde, Becquerel já tinha observado que o sal de urânio emitia raios independentemente de ter sido exposto previamente ao sol. Becquerel sugeriu que o fenômeno pudesse ser atribuído à radiação invisível emitida pela fosforescência, visto que a radiação luminosa emitida por fosforescência com o passar do tempo enfraquecia até se tornar imperceptível. A novidade era, portanto, que a fosforescência invisível parecia permanecer mais tempo que a fosforescência visível, talvez segundo Becquerel por uma “conservação indefinida, em certos corpos, da energia que absorvem” (BECQUEREL, 1896, apud MARTINS, 1990).

Becquerel investigou também o urânio metálico, que não é luminescente, observando que esse também produz os mesmos efeitos fotográficos que os sais de urânio luminescentes ou não. Mais uma vez, Becquerel atribuiu à causa do fenômeno a fosforescência invisível, sendo o urânio o primeiro metal a mostrar esse tipo de comportamento³. Em 2 de março de 1896, Becquerel apresentou o relato *Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents* que simbolizou, para muitos, a descoberta da radioatividade. Ressaltou o fato de que o material que preparara não fora submetido à radiação solar e mesmo assim ocorreram impressões fotográficas idênticas aos que foram submetidos. Deduziu, corretamente, que a causa do fenômeno se devia ao urânio presente na amostra e comparou suas radiações às produzidas por tubos de raios X, notando que as radiações em questão possuíam poderes de penetração diferentes (MARTINS, 2004).

Helge Kragh sugere que Becquerel tinha um interesse particular em compostos de urânio uma vez que já havia chamado a atenção para a regularidade mostrada pelas bandas espectrais de sais de urânio. É possível que essa regularidade especial em sais de urânio fosforescentes tenha levado Becquerel a supor que a luz visível do sol pudesse ser transformada em radiação de menor comprimento de onda, como supostamente característico dos raios X e, portanto, na possibilidade

desse tipo de emissão. Havia muitos relatos de fluorescências anômalas, isto é, exceções à lei de Stokes. Essas anomalias, segundo o físico germânico Eugen Lommel, eram observadas em substâncias que exibiam o tipo de espectro regular que Becquerel observou para os sais de urânio (KRAGH, 1999).

Os raios emitidos pelo urânio não causaram de imediato a mesma sensação que os raios de Röntgen e poucos físicos se dedicaram a sua investigação, porém, em março do mesmo ano, Becquerel já detectara o poder dos novos raios de ionizar gases e transformá-los em condutores. Como vimos, Becquerel restringiu o fenômeno ao urânio, talvez pelo tipo especial de espectro e em 1898 foi anunciado que o tório também emitia os *raios de Becquerel* por Gerhard Schmidt⁴ na Alemanha e pela Madame Curie na França.

2. A radioatividade – um fenômeno geral

Em 1897, Marie Curie iniciou a pesquisa para a sua tese de doutorado, cujo tema era o estudo da radiação emitida pelo urânio usando o método elétrico. Na época, em que fez essa escolha, os raios de urânio, descobertos por Becquerel dois anos antes, eram preteridos por outras descobertas como os raios X e o Efeito Zeeman (MARTINS, 2003). Essa decisão foi possivelmente motivada pelas pesquisas, sobre a condutividade do ar provocada por raios X, feitas por Jean Perrin e George Sagnac, pelos escritos de Sagnac a respeito da radiação do urânio e pela simplicidade da aparelhagem requerida para o estudo da condutividade do ar produzida pelos raios de urânio. Marie Curie pretendia medir com a maior precisão possível os raios de urânio e com o equipamento construído por Pierre Curie, pode estabelecer novos métodos de medição. Os efeitos elétricos da radiação mostraram-se úteis, pois o estudo da ionização do ar permitia medir indiretamente a intensidade da radiação, tornando a análise quantitativa (MARTINS, 2003). Além de descritivo, o trabalho de Marie Curie foi sistemático e racional, orientado por pressupostos teóricos, como veremos.

Marie Curie mensurou o poder de ionização dos raios de urânio e percebeu que nada os afetava, nem a luminosidade, nem a temperatura. No dia 10 de fevereiro de 1898, foram testados vários metais e nenhum deles provocava condutividade no ar. No dia 17 de fevereiro, Marie testou uma amostra de uraninita, que é composta por óxido de urânio e várias outras substâncias em pequena quantidade, inclusive o tório (MARTINS, 2003). A uraninita produzia uma corrente derivada da ionização do ar muito mais forte do que aquela gerada pelo urânio puro. Segundo Becquerel, a radiação do urânio metálico era mais intensa do qualquer um de seus compostos. Ao repetir os testes com vários compostos do urânio e com a uraninita, verificou que todos os compostos eram menos ativos que o urânio puro, mas a uraninita não. Descartada a possibilidade de

um erro experimental, Marie Curie comparou a uraninita a outras substâncias que provavelmente a compunham. Examinando, então, um mineral que continha tório e nióbio, ela constatou, em 26 de fevereiro de 1898, que as radiações emitidas por esse mineral se deviam ao tório. Como o tório mostrasse propriedades semelhantes às do urânio, Marie percebeu que se tratava de um fenômeno mais geral, e não restrito ao urânio como Becquerel havia tratado.

Percebe-se dos seus escritos que a rotina de pesquisa de Marie Curie se alternava entre o estudo dos minerais e o das respectivas substâncias puras, comparando suas medições. Estudando outros minerais do urânio, os Curie assumiram a hipótese de que a calcolita (fosfato duplo de urânio e de cobre) possuía um elemento desconhecido, responsável pelo grande poder de ionização desse minério, que emitia radiação mais forte do que o urânio. Com a intenção de confirmar essa hipótese os Curie decidiram sintetizar a calcolita no laboratório (QUINN, 1997). Deveria existir uma diferença entre a atividade da calcolita sintetizada e a da calcolita natural. A calcolita sintetizada não mostrou maior atividade do que o urânio, resultado que indicava que a calcolita natural, assim como a uraninita, possuía em sua composição um elemento mais ativo do que o urânio.

Em 12 de abril de 1898, o primeiro relatório de Marie Curie sobre *Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium* foi apresentado à Academia das Ciências. Como os Curie não eram membros da Academia, solicitaram a Gabriel Lippmann (1845-1921) que apresentasse o trabalho (QUINN, 1997).

Mais do que introduzir métodos quantitativos para o estudo do fenômeno, Marie inovou ao descobrir novas substâncias a partir de suas propriedades radioativas e ao propor que a atividade mensurada era uma propriedade atômica, uma vez que depende da presença de certos elementos e do teor do elemento no composto em questão (MARTINS, 2003).

Além de não poder ser membro da Academia por ser mulher, Marie também enfrentou outros obstáculos para divulgar suas pesquisas (PUGLIESE, 2007). A sugestão de um novo elemento não foi muito bem aceita pelos membros da Academia. Com o propósito de comprovar sua hipótese e convencer os cientistas foi necessário criar uma rigorosa rotina de química analítica com o objetivo de isolar o novo elemento. Submeteram cem gramas de uraninita a vários tratamentos químicos e mediram a atividade dos produtos. A substância resultante desse processo que se mostrou mais ativa foi novamente submetida ao ataque químico. Os Curie acreditavam ter um produto suficientemente puro para ser submetido a uma análise espectroscópica. Essa não revelou o que esperavam, isto é, que o novo elemento produzisse linhas espectrais características, confirmando dessa forma sua descoberta. Para alcançar resultados mais expressivos utilizaram o método de Gustave Bémont (1857-1937), com o qual obtiveram um produto mais ativo que a uraninita (QUINN, 1997).

Os Curie sugeriram que, na análise da uraninita, um elemento desconhecido acompanhava o bismuto, enquanto um segundo acompanhava o bário. Eles concentraram seu trabalho primeiramente no elemento que acompanhava o bismuto e mais uma vez recorreram à espectroscopia para confirmar suas descobertas. Mesmo com o auxílio de Eugène Demarçay (1852-1904), um perito no assunto, os resultados foram desapontadores. Apesar de não obterem uma confirmação através da espectroscopia, várias evidências sugeriam que o bismuto ativo abrigava um novo elemento, sugestão essa que eles assumiram e no dia 13 de julho de 1898, em meio aos símbolos do chumbo e do bismuto, havia no caderno de laboratório, a abreviatura Po, que se referia a *polonium*. Cinco dias após nomear o novo elemento, o artigo *Sur une substance nouvelle radioactive, contenue dans la pechblende* foi apresentado, no qual os Curie admitiam que não conseguiram isolar a substância ativa, denominada de *polonium* e argumentaram que apesar de não observarem nenhuma indicação espectroscópica do novo elemento no produto, a substância obtida era 400 vezes mais ativa do que o urânio, algo totalmente incomum se comparado aos elementos conhecidos (MARTINS, 2003). Eles inferiram, portanto, a existência de um novo elemento a partir de uma propriedade ainda desconhecida.

Os termos *radioatividade* e *radioativas* foram introduzidos por Marie Curie no *Les rayons de Becquerel et le polonium*. Nas próprias palavras de Marie Curie:

Os raios urânicos foram frequentemente chamados raios de Becquerel. Pode-se generalizar esse nome, aplicando-o não apenas aos raios urânicos, mas também aos raios tóricos e a todas as radiações semelhantes. Chamarei de radioativas as substâncias que emitem raios de Becquerel. O nome de hiperfosforescência que foi proposto para o fenômeno, parece me dar uma falsa idéia da sua natureza (CURIE, 1899 apud MARTINS, 1990).

Em 11 de novembro de 1898 iniciaram a busca do segundo elemento radioativo. Uma série de tentativas e erros levou-os a um produto muito ativo, associado ao bário. Novamente com o apoio de Gustave Bémont, foram capazes de concentrar cada vez mais a amostra, fazendo com que a radioatividade do produto do bário, se elevasse 900 vezes mais do que a do urânio. Desta vez, os resultados foram animadores. Demarçay encontrou uma linha espectral distinta, não podendo ser atribuída a nenhum elemento conhecido. Em torno de 20 de dezembro de 1898, Pierre registrou um nome para o novo elemento: Rádio (QUINN, 1997). Para confirmar a existência do novo elemento, o procedimento seguinte deveria ser o de isolá-lo e definir o seu peso atômico, requisito para sua colocação na tabela periódica⁵. O artigo de 26 de dezembro de 1898, *Sur une nouvelle substance fortement radioactive, contenue dans la pechblende* redigido pelos Curie juntamente com Gustave Bémont, além das próprias evidências, possuía a nota de Demarçay - *Sur le spectre d'une substance*

radio-active - anexada, em que afirmava que captara uma linha espectral que se intensificava, conforme a radioatividade aumentava. Esse fato conferiu credibilidade ao trabalho dos Curie.

Durante 1899, Marie se empenhou em isolar o rádio, condição necessária para provar a existência de suas descobertas. Extrair o rádio por processos químicos comuns era muito difícil, em face do seu teor reduzido no minério, o que a levou a outras técnicas de extração, que se baseavam na radioatividade como uma propriedade atômica da matéria, análoga à análise espectral. Em julho de 1902 ela obteve sucesso, ao isolar um decigrama de rádio. Marie Curie anunciou o peso atômico do rádio e o inseriu na tabela periódica depois do bário, na coluna de metais alcalinos terrosos (QUINN, 1997). No que concerne ao polônio, essa dificuldade mostrou-se ainda maior, em virtude do seu teor na uraninita e de sua meia-vida muito menores do que os do rádio. O polônio se concretizou como elemento com a extração de uma pequena quantidade, 50 vezes mais ativo que a mesma quantidade de rádio puro, e com linha espectral característica, que desaparecia conforme seu tempo de atividade (QUINN, 1997). Isolar o rádio foi a primeira evidência material da radioatividade e foi decisivo para tornar o campo digno de crédito. O urânio e o tório já eram elementos estabelecidos na tabela periódica com peso atômico e linha espectral definidos, já o rádio ainda era um elemento muito questionado, alguns cientistas argumentavam que se tratava de bário ativo (CORDEIRO; PEDUZZI, 2009).

A fonte de energia envolvida nos processos radioativos formava matéria estável a partir de matéria instável. Esse fato apoiava a teoria da transmutação em elaboração por Ernest Rutherford (1871-1937), que presumia a formação de gás hélio (partícula alfa), um elemento químico bem definido, a partir da transmutação do rádio, outro elemento químico bem definido. A teoria da transmutação apoiava-se na certeza de que o rádio é um elemento químico, e não uma molécula constituída de hélio associado a outro elemento, o que demonstra a importância do isolamento do rádio (CORDEIRO; PEDUZZI, 2009).

3. Considerações Finais

Os trabalhos iniciais em radioatividade consistiam em trabalhos experimentais e as questões que surgiram na virada do século podem ser resumidas por “Quais substâncias são radioativas? Como elas serão encaixadas no sistema periódico dos elementos? Qual a natureza dos raios emitidos?”. Essas questões eram dirigidas não só aos Físicos, mas também aos Químicos. Quer para os químicos ou físicos, a abordagem foi inicialmente fenomenológica concentrando-se em recolher e classificar dados, porém não estava isenta de pressupostos.

É possível perceber nos escritos de Becquerel, dos Curie e de Rutherford que cada um deles conhecia os resultados obtidos pelos outros e que eventualmente trocavam idéias sobre seus

trabalhos. As pesquisas de Marie Curie se somaram a outras da mesma época, que contribuíram para o conhecimento da estrutura atômica da matéria. Marie Curie explorou os raios de urânio de tal modo que foi possível diferenciá-los de outros, como os raios X e a luminescência. Ao tentar compreender o fenômeno, ela comparou os resultados obtidos pelo método elétrico para as diferentes substâncias e seus respectivos minerais. Percebeu, então, que um dos minerais apresentava atividade anômala. Esse fato a intrigou e a fez mudar o rumo de sua pesquisa, se detendo ao resultado inesperado. Marie elaborou uma nova hipótese ao sugerir uma explicação de natureza atômica para o processo, conduzindo sua pesquisa experimental a partir desse pressuposto que se mostrou muito útil à descoberta e confirmação dos novos elementos.

Outros cientistas também contribuíram para a construção desse conhecimento além de Henri Becquerel, temos: Eugène Demarçay, André Debierne, Pierre Curie e Frederick Soddy (1877-1903) que, junto com Rutherford, propôs a teoria da transmutação dos elementos a partir dos fenômenos radioativos.

¹ Fluorescência é a capacidade de uma substância de emitir luz quando exposta a radiações do tipo ultravioleta (UV), raios catódicos ou raios X. As radiações absorvidas (invisíveis ao olho humano) transformam-se em luz visível, ou seja, com um comprimento de onda maior que o da radiação incidente. A diferença relativamente à fosforescência, é que, geralmente, a fluorescência dura apenas enquanto houver estímulo e na fosforescência a espécie química tem a capacidade de emitir luz, mesmo no escuro.

² George Stokes (1819-18903) foi o primeiro a estabelecer claramente que a fluorescência era um processo de emissão, e propôs o princípio que hoje conhecemos como Lei de Stokes, em 1852.

³ Na mesma época em que Henri Becquerel fazia seus primeiros experimentos, Silvanus Thompson também detectou o fenômeno e o interpretou exatamente do mesmo modo que Becquerel. Thompson nomeou o fenômeno de hiper-fosforescência (MARTINS, 2004).

⁴ Gerhard Schmidt além de descobrir a emissão de radiação pelo tório utilizando o método elétrico, também diferenciou a radiação do urânio de fosforescências comuns.

⁵ Naquela época a tabela periódica era organizada em ordem crescente do peso atômico.

REFERÊNCIAS

CORDEIRO, Marinês Domingues; PEDUZZI, Luiz O. Q. **A radioatividade através das conferências Nobel de Marie e Pierre Curie**. 2009. Disponível em: www.foco.fae.ufmg.br/pdfs/1708.pdf. Acesso em: março de 2011.

KRAGH, Helge. **Quantum Generations: A History of Physics in the Twentieth Century**, New Jersey, Princeton University Press, 1999.

MARTINS, Roberto de Andrade. Como Becquerel não descobriu a radioatividade.

Caderno Catarinense de Ensino de Física 7, 1990, 27-45.

MARTINS, Roberto de Andrade. As primeiras investigações de Marie Curie sobre elementos radioativos, **SBHC**, 1, n.1, 2003, 29-41.

MARTINS, Roberto de Andrade. Hipótese e Interpretação Experimental: a conjectura de Poincaré e a descoberta da hiperfosforescência por Becquerel e Thompson. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, 2004, 501-516.

PUGLIESE, Gabriel. Um sobrevôo no "Caso Marie Curie": um experimento de antropologia, gênero e ciência. **Antropol.**, 50, n.1, 2007, 347-385.

QUINN, Susan. **Marie Curie: Uma vida**. Tradução de Sonia Coutinho. 1ed. São Paulo: Scipione, 1997.