

---

## COMO BECQUEREL NÃO DESCOBRIU A RADIOATIVIDADE

---

*Roberto de A. Martins*

Depto. de Raios C3smicos e Cronologia

Instituto de F3sica "Gleb Wataghin" UNICAMP

Campinas – SP

### I. Introdu33o

Quase todos j3 ouviram falar sobre a descoberta da radioatividade. A radioatividade 3 um fen3meno pelo qual os n3cleos at3micos sofrem transforma33es e emitem radia33es, podendo, nesse processo, formar novos elementos qu3micos. Costuma-se dizer que Henri Becquerel foi quem descobriu, em 1896, o fen3meno da radioatividade; e que essa descoberta foi acidental – produzida por ter guardado, em uma gaveta, um composto de ur3nio juntamente com uma chapa fotogr3fica, havendo depois revelado a chapa e notado nela os sinais da radia33o.

A hist3ria n3o 3 bem assim. Dificilmente se poderia afirmar que Becquerel descobriu a radioatividade; e aquilo que ele de fato descobriu n3o foi fruto do acaso.

Este artigo mostrar3 qual foi o trabalho de Becquerel, o longo e tortuoso caminho que levou 3 descoberta da radioatividade e discutir3 as dificuldades de compreens3o dos fatos que eram observados. Esse epis3dio 3 muito instrutivo, por mostrar claramente como as expectativas te3ricas podem influenciar as pr3prias observa33es, levando o pesquisador a ver coisas que n3o existem.

Come3aremos por uma breve refer3ncia 3 descoberta dos raios X, pois esse evento, como veremos, foi o que estimulou o trabalho inicial de Becquerel.

### II. A descoberta dos raios X

Os raios X foram descobertos por Wilhelm Conrad Roentgen no dia 8 de novembro de 1895. Nesse dia, Roentgen observou que uma placa coberta com um material fluorescente (platinocianeto de b3rio) se tornava luminescente quando num tubo de raios cat3dicos (tubo de Crookes ou Lenard) era ligado em sua proximidade – embora o tubo estivesse envolto em papel opaco. Dedicando-se imediatamente e de modo muito intenso ao estudo do fen3meno, Roentgen

conseguiu, em menos de dois meses, determinar várias propriedades dos raios X e publicou, em 28 de dezembro de 1895, seu primeiro artigo sobre o assunto (ROENTGEN, 1895; 1896; reproduzido e traduzido em WATSON, 1945; traduzido em PAPP, **História de la física**, p. 371-6). Essa descoberta consistiu, basicamente, no seguinte: quando um tubo de vidro evacuado até uma baixíssima pressão é atravessado por uma descarga elétrica de alta tensão, produz-se em seu interior uma luminosidade e surgem os chamados “raios catódicos” (atualmente interpretados como constituídos por um fluxo de elétrons). Sabia-se que esses raios catódicos não atravessavam o vidro nem outros corpos (exceto folhas metálicas muito finas). Mesmo o ar absorve muito fortemente os raios catódicos, extinguindo-os após atravessarem apenas alguns centímetros de distância.

Aquilo que Roentgen observou parecia algo muito diferente dos raios catódicos. Alguma coisa produzida no tubo de raios catódicos era capaz não só de atravessar um papel opaco e grandes distâncias, no ar. Essa coisa não era visível, não tornava o ar luminoso, mas excitava a luminosidade de um material fluorescente e, como Roentgen observou depois, era capaz de sensibilizar chapas fotográficas, como se fosse luz. Ainda mais: esses novos tipos de raios eram capazes de atravessar madeira, um livro de mil páginas e placas metálicas. Essa radiação, batizada por Roentgen de “raios X”, era algo totalmente novo.

Analisando as propriedades dos raios X, Roentgen descreve, ainda em seu primeiro artigo, que não observou desvio dos mesmos em prismas nem em lentes de vários materiais; não eram, também, desviados pelo ímã (ao contrário dos raios catódicos). Tampouco eram sujeitos à polarização, reflexão regular ou interferência, de acordo com as observações de Roentgen.

Por haver notado várias semelhanças com a luz (formação de sombras, indicando propagação retilínea; ação fotográfica; fluorescência), Roentgen os compara à radiação ultravioleta; mas, depois, sugere que os raios X seriam ondas **longitudinais** do éter.

A descoberta de Roentgen teve repercussão imediata – tanto por parte de cientistas como também por parte da imprensa popular (ver JAUNCEY, 1945). A popularidade da descoberta deveu-se, em parte, à sua mais famosa aplicação: a observação de ossos de um ser vivo, através da sua radiografia (efeito já descrito no primeiro artigo de Roentgen). Todos os jornais e todas as revistas científicas publicaram, nos meses seguintes à descoberta, fotografias obtidas por meio dos raios X (ou “raios Roentgen” como ficaram conhecidos na época).

Na academia de Ciências de Paris, o trabalho de Roentgen suscitou quase instantaneamente um grande número de trabalhos. Três semanas depois que o artigo de Roentgen fora levado à Sociedade Física de Wirzburg, para publicação, ele havia lido, discutido e reproduzido por Oudin e Barthélemy, que levaram à Academia a radiografia de uma mão (20/02/1896). O trabalho foi apresentado por

Henri Poincaré, eminente matemático e físico. Na semana seguinte (27/01/1896), cinco trabalhos sobre os raios X foram apresentados à Academia. Jean Perrin testa e não encontra nesses raios os fenômenos de reflexão, refração e difração. Novas radiografias são apresentadas. Gustave le Bon apresenta experiências nas quais mostra que a radiação de uma lamparina de petróleo produz radiações invisíveis capazes de atravessar papel negro e outros corpos opacos e sensibilizar chapas fotográficas (radiação que chamou de “luz negra” e que consistia em radiação infravermelha). A cada dia parece surgir algo novo e excitante. A sucessão de trabalhos pode ser estudada nas páginas dos anais da Academia (“Comptes Rendus Hébdomadaires dès Séances de l’Académie des Sciences de Paris”).

Nesse mesmo dia (27/01/1896), Poincaré faz um comentário de enorme importância para nosso estudo. Os raios X eram produzidos, Como Roentgen havia mostrado, pelas paredes do tubo de vidro, no local onde elas são atingidas pelos raios catódicos. Nesse mesmo local, o vidro se torna fluorescente. Poincaré se pergunta se não haveria alguma conexão entre os dois fenômenos. Poucos dias depois, suas idéias são apresentadas em um artigo de revisão sobre o assunto (POINCARÉ, 1896). Nesse artigo, ele afirma que os raios X são “raios” porque se propagam em linha reta; não são da mesma natureza da luz, das ondas do rádio (“raios hertzianos”), do infravermelho e do ultravioleta porque não se refletem nem se refratam; não são raios catódicos porque não são desviados pelo ímã nem são absorvidos rapidamente pela matéria. Apresenta, sem negar, a conjectura de Roentgen sobre ondas longitudinais do éter; e afirma:

*Seja o que for, estamos diante de um agente novo, tão novo quanto o eram a eletricidade no tempo de Gilbert, ou o galvanismo no tempo de Volta. Todas as vezes que uma revelação semelhante nos surpreende, ela desperta em nós o sentimento do mistério que nos envolve, sensação perturbadora que se havia dissipado à medida que se dissolvera a admiração para com as maravilhas anteriores. (POINCARÉ, 1896, p. 56)*

Mais adiante, ele comenta:

*É, portanto, o vidro que emite os raios Roentgen, e ele nos emite tornando-se fluorescente. Podemos nos perguntar se todos os corpos cuja fluorescência seja suficientemente intensa não emitiriam, além dos raios luminosos, os raios X de Roentgen, qualquer que seja a causa de sua fluorescência. Os fenômenos não seriam então associados a uma causa elétrica. Isso não é muito provável, mas é possível e, sem dúvida, fácil de verificar. (POINCARÉ, 1896, p. 56)*

É a busca dessa relação entre fluorescência e raios X que irá levar aos estudos de Becquerel. Na verdade, de acordo com os nossos conhecimentos atuais, não existe relação direta entre a emissão de raios X e a luminescência. Mas é graças a essa pista falsa que muitas descobertas serão feitas.

### III. A radiação dos corpos luminescentes

Na sessão seguinte (03/02/1896) da Academia de Ciências de Paris, prossegue a proliferação de estudos sobre os raios X, mas Moreau comunica que eles são emitidos pela descarga de alta voltagem de uma bobina de indução, sem a utilização de um tubo de vácuo e, portanto, sem raios catódicos. Benoist e Hurmuzescu observaram que os raios X são capazes de descarregar um eletroscópio. Na outra semana (10/02/1896) aparece o primeiro trabalho destinados a testar a sugestão de Poincaré.

Nessa sessão, Poincaré apresenta à Academia um trabalho de Châlès Henry. Ele testa inicialmente se o sulfeto de zinco fosforescente é capaz de aumentar o efeito dos raios X e conclui que sim: se um objeto metálico é parcialmente recoberto com uma camada de sulfeto de zinco, a radiografia desse objeto fica mais forte e nítida na região recoberta do que na região sem sulfeto de zinco. Ainda mais: utilizando a luz produzida pela queima de uma fita de magnésio, em laboratório, Henry afirma ter conseguido obter efeitos iguais ao de uma radiografia, bastando recobrir o objeto com uma camada de sulfeto de zinco (HENRY, 1896). A hipótese de Poincaré parecia estar confirmada.

Na semana seguinte (17/02/1896), entre a já usual profusão de estudos sobre raios X, surge um trabalho de Niewenglowski que confirma e amplia os resultados de Henry. Ele utiliza um outro material fosforescente – sulfeto de cálcio. Eis sua descrição:

*Tendo envolvido uma folha de papel sensível ordinário (papel fotográfico) com diversas camadas de papel agulha negro ou de papel vermelho, coloquei acima dela duas moedas e recobri uma das metades (da folha) com uma placa de vidro com pó fosforescente (sulfeto de cálcio). Depois de quatro ou cinco horas de exposição ao Sol, a metade do papel sensível que havia recebido diretamente as radiações solares havia permanecido intacta e não apresentava nenhum sinal da moeda colocada acima dela, indicando assim que o papel negro ou vermelho não havia sido atravessado pela luz. A metade que só recebia os raios solares através da placa fosforescente estava completamente enegrecida, exceto pela*

*porção correspondente a uma das moedas, da qual foi produzida silhueta branca sobre [um fundo] negro. Colocando apenas uma camada de papel vermelho fina, permitindo a passagem dos raios solares, constatei que a porção do papel sensível que só recebia as radiações solares após sua passagem pela camada fosforescente enegrecida muito mais rapidamente do que a outra. (NIEWENGLOWSKI, 1896, p. 385)*



*Fig.1- A experiência de Niewenglowski*

As observações de Niewenglowski corroboravam as de Charles Henry: os materiais fosforescentes pareciam emitir raios X, quando iluminados. Ainda mais: Niewenglowski estuda o efeito da fosforescência do sulfeto de cálcio colocando em um local escuro, depois de ter recebido a luz do Sol, concluindo que também nesse caso o material continuava a emitir radiações capazes de atravessar o papel negro:

*Pude também observar que a luz emitida pelo pó fosforescente, previamente iluminado pelo Sol, na obscuridade, era capaz de atravessar várias camadas de papel vermelho e obscurecer um papel sensível que ele estava separado por essas camadas de papel. (NIEWENGLOWSKI, 1896, p. 385-6)*

Passa-se mais uma semana. Na sessão de 24/02/1896, piltchikof anuncia que, utilizando uma substância fortemente fluorescente dentro do tubo de Crookes, no local onde os raios catódicos atingem a parede do vidro, observou um grande aumento da intensidade dos raios X, permitindo a realização de radiografias em 30 segundos (anteriormente, eram necessários vários minutos). A sugestão de Poincaré já estava, portanto, resultando em importantes aplicações técnicas. Todos esses resultados espantarão a qualquer físico moderno. Não se conhece, atualmente, nenhum efeito semelhante a esse descrito por tais autores. As experiências não

deveriam ter proporcionado os resultados observados. O que aconteceu? Não se sabe.

Nessa mesma sessão da Academia, aparece o primeiro trabalho de Henri Becquerel sobre o assunto.

### **IX. A contribuição de Henri Becquerel**

Henri Becquerel pertencia a uma ilustre família de cientistas. Seu avô, Antoine Becquerel, nascido em 1788, foi um importante investigador dos fenômenos elétricos e magnéticos, tendo publicado um grande trabalho sobre o assunto. O pai de Henri, Edmond Becquerel (1821-1891), notabilizou-se por seus estudos a respeito das radiações ultravioleta e dos fenômenos de fosforescência e fluorescência. Especialmente de 1859 a 1861, estudara os sulfetos de cálcio, de bário, de estrôncio e outros. Entre os materiais que estudou estavam incluídos alguns sais de urânio (ver introdução de Cortés Pla, em: **BECQUEREL, El descubrimiento de la radioactividad**).

No laboratório de seu pai, Henri Becquerel desenvolveu seu treino científico e realizou suas primeiras pesquisas – quase todas sobre óptica e muitas delas, no período de 1882 a 1887, sobre fosforescência. Entre outras coisas, estudou a fosforescência invisível (no infravermelho) de várias substâncias. Estudou, em particular, os espectros de fluorescência de sais de urânio, utilizando amostras que seu pai havia acumulado ao longo dos anos.

Nada era mais natural do que o interesse de Henri Becquerel pelos raios X e, mais particularmente, pela conjectura de Poincaré e pelos trabalhos de Henry e Niewenglowski. De fato: parecia simplesmente que, além de poderem emitir radiações visível e infravermelha, os corpos luminescentes podiam também emitir raios X. Becquerel resolve fazer experimentos sobre o assunto. Reproduziremos, abaixo, o texto completo da primeira nota de Henri sobre o assunto, apresentada à Academia no dia 24/02/1896 (dois meses após a divulgação da descoberta dos raios X):

*Em uma reunião precedente [da Academia de Ciência francesa], Charles Henry notificou que, ao se colocar sulfeto de zinco fosforescente no caminho dos raios que saem do tubo de Crookes, aumentava a intensidade das radiações que penetram o alumínio.*

*Além disso, Niewenglowski descobriu que o sulfeto de cálcio fosforescente, comercial, emite radiações que penetram em substâncias opacas.*

*Esse comportamento se estende a várias substâncias fosforescentes e, em particular, aos sais de urânio, cuja fosforescência tem uma duração muito curta.*

*Com o sulfato duplo de urânio e potássio, de que possuo alguns cristais sob a forma de uma crosta transparente, fina, realizei a seguinte experiência:*

*Envolve-se uma chapa fotográfica de Lumière em duas folhas de papel negro muito expesso, de tal forma que a chapa não se escureça mesmo exposta ao Sol durante um dia. Coloca-se uma placa da substância fosforescente sobre o papel, do lado de fora, e o conjunto é exposto ao Sol durante várias horas. Quando se revela a chapa fotográfica, surge a silhueta da substância fosforescente, que aparece negra no negativo. Se for colocada uma moeda ou uma chapa metálica perfurada, entre a substância fosforescente e o papel, a imagem desses objetos poderá ser vista no negativo.*

*As mesmas experiências podem ser repetidas colocando-se uma chapa fina de vidro entre a substância fosforescente e o papel; e isso exclui a possibilidade de qualquer ação química por vapores que pudessem sair da substância ao ser aquecida pelos raios do Sol.*

*Pode-se concluir dessas experiências que a substância fosforescente em questão emite radiações que penetram um papel opaco à luz e reduzem sais de prata. (BECQUEREL, 1896a)*

Note-se que Becquerel conhece os trabalhos anteriores de Henry e Niewenglowski e que reproduz, sem grande alteração, o experimento do segundo. Apenas testou um nova substância – o sulfato duplo de urânio e potássio – confirmando, também nesse caso, a hipótese de Poincaré.

Na semana seguinte (02/03/1896), d'Arsonval descreve ter obtido radiografias utilizando uma lâmpada fluorescente e recobrimdo os objetos a serem radiografados com um vidro fluorescente contendo um sal de urânio. Conclui nesse artigo que todos os corpos que emitem radiações fluorescentes amarelo-esverdeadas são capazes de impressionar chapas fotográficas recobertas por papel opaco à luz (D'ARSONVAL, 1896).

É nessa mesma sessão da Academia que Becquerel apresenta uma segunda nota, que é comumente descrita como representando a descoberta da radioatividade. Cortés Pla é um dos que comete esse erro, apesar de haver lido (e traduzido) os artigos de Becquerel: “*Uma semana depois, no dia 2 de março, a Academia escuta o resultado de novas investigações que imortalizariam o nome de*

*Becquerel, já que nelas se descreve a existência de um novo fenômeno: a radioatividade...” (BECQUEREL, **El descubrimiento de la radioactividad**, p. 32)*

Nessa segunda nota, Becquerel prossegue o estudo dos efeitos produzidos pelo sulfato duplo de urânio e potássio. Varia o experimento anterior, observando que as radiações emitidas por esse material são menos penetrantes do que os raios X comuns. Nota também que a emissão da radiação penetrante ocorre tanto no caso em que o material fosforescente é iluminado diretamente pelo Sol quanto ao ser iluminado por luz refletida ou refratada. Observa-se também que, mesmo no escuro, o material estudado sensibiliza chapas fotográficas (como o sulfeto de cálcio de Nieweglowski). Eis a transcrição dessa parte do artigo:

*Insistirei particularmente sobre o seguinte fato, que me parece muito importante e alheio ao domínio dos fenômenos que se poderia esperar observar. As mesmas lamelas cristalinas, colocadas junto a chapas fotográficas, nas mesmas condições, isoladas pelos mesmos anteparos, mas sem receber excitação por incidência de radiação e mantidas na obscuridade, ainda produzem as mesmas impressões fotográficas. Eis de que maneira fui levado a fazer essa observação: dentre as experiências precedentes, algumas foram preparadas na quarta-feira, 26, e na quinta-feira, 27 de fevereiro; e como, nesses dias, o Sol apareceu apenas de modo intermitente, conservei as experiências que havia preparado e coloquei as placas com seus envoltórios na obscuridade de uma gaveta de um móvel, deixando as lâminas do sal de urânio em seu lugar. Como o Sol não apareceu de novo nos dias seguintes, revelei as placas fotográficas a 1º de março, esperando encontrar imagens muito fracas. Ao contrário, as silhuetas apareceram com grande intensidade. Pensei logo que a ação devia ter continuado na obscuridade e preparei a experiência seguinte: No fundo de uma caixa de cartão opaco coloquei uma placa fotográfica; depois, sobre o lado sensível, coloquei uma lamela do sal de urânio, lamela convexa [com a parte central mais alta] e que tocava a gelatina apenas em poucos pontos; então, ao lado, na mesma placa, coloquei outra lâmina do mesmo sal, separada da gelatina por uma fina lâmina de vidro. Após realizar essa operação, na sala escura, a caixa foi fechada, então colocada dentro de outra caixa de papelão e por fim dentro de uma gaveta.*



*Repeti o processo com um receptáculo fechado por uma folha de alumínio, em que coloquei uma chapa fotográfica, e, do lado de fora, uma lamela do sal de urânio. O conjunto foi fechado em uma caixa de papelão opaco e depois em uma gaveta. Após cinco horas, revelei as placas e as silhuetas das lâminas cristalinas apareceram em negro, como nas experiências precedentes, como se tivessem se tornado fosforescentes pela luz. Em relação à lamela colocada diretamente sobre a gelatina, praticamente não havia diferença entre os efeitos nos pontos de contato e das partes da lamela que estavam separadas da gelatina por cerca de um milímetro; a diferença pode ser atribuída às diferentes distâncias das fontes das radiações ativas. A ação da lamela colocada sobre o vidro estava um pouco enfraquecida, mas a forma da lamela foi muito bem reproduzida. Finalmente, através da folha de alumínio, a ação foi consideravelmente enfraquecida, mas apesar disso era muito nítida.*

*É importante notar que este fenômeno não parece dever ser atribuído a radiações luminosas emitidas por fosforescência, já que após 1/100 de segundo estas radiações se tornam tão fracas que são quase imperceptíveis.*

*Uma hipótese que surge muito naturalmente ao espírito seria a suposição de que essas radiações, cujos efeitos possuem uma forte analogia com os efeitos produzidos pelas radiações estudadas por Lenard e Roentgen, poderiam ser radiações invisíveis emitidas por fosforescência, cuja duração de persistência fosse infinitamente maior do que a das radiações luminosas emitidas por essas substâncias. No entanto, as experiências presentes, sem serem contrárias a essa hipótese, não permitem formulá-la. As experiências que estou desenvolvendo agora poderão, espero, contribuir com algum esclarecimento sobre esse novo tipo de fenômeno. (BECQUEREL, 1896b)*

Note-se que não há quase nada de novo nesse “novo tipo de fenômeno”. A única novidade é que a fosforescência invisível parecia durar muito mais do que a fosforescência visível (o que não era, de modo algum, contrário ao que se conhecia).

Em um outro artigo de revisão sobre os raios X, publicado nesse mesmo mês, Raveau descreve os estudos de Charles Henry, Niewenglowski, Piltchikof,

d'Arsonval e Becquerel como sendo, todos eles, casos especiais do fenômeno previsto por Poincaré e descoberto por Charles Henry (RAVEAU, 1896, p. 251).

Na semana seguinte (09/03/1896), em meio à quota usual de artigos sobre raios X, Battelli e Gambasso estudam o papel de substância fluorescentes no aumento do efeito dos raios de Roentgen. Troost estuda o sulfeto de zinco fosforescente (blenda) e repete e confirma as observações de Charles Henry, obtendo fortes imagens radiográficas ao excitar a fosforescência por meio da luz do magnésio. Troost cita também os trabalhos de Niewenglowski e Becquerel. Por sua vez, Henri Becquerel apresenta uma terceira comunicação. Nela, afirma que a radiação emitida pelo sal de urânio estudado é capaz de descarregar um eletroscópio (como os raios X). Era natural tentar repetir com essa radiação todos os tipos de experimentos já realizados com a radiação de Roentgen, para testar se eram iguais ou não. No entanto, a principal analogia que parecia atuar na mente de Becquerel era outra: o fenômeno era muito semelhante à fosforescência invisível (que ele havia estudado) na qual havia emissão de radiação infravermelha. Ora, a radiação infravermelha é da mesma natureza da luz e, ao contrário do que havia sido descrito no caso dos raios X, ela se reflete e refrata. Becquerel estuda a radiação do sulfato de urânio e potássio e conclui que ela se reflete em superfícies metálicas e se refrata no vidro comum (BECQUEREL, 1896c). Sabe-se, atualmente, que essa radiação não se reflete, nem se refrata no vidro.

No mesmo artigo, Becquerel descreve observações nas quais os sais de urânio continuam a sensibilizar chapas fotográficas mesmo quando o material fosforescente fica guardado na obscuridade durante 7 dias e observa: *“Talvez esse fato possa ser comparado a conservação indefinida, em certos corpos, da energia que absorveram e que é emitida quando são aquecidos, fato sobre o qual já chamei atenção em um trabalho (de 1891) sobre a fosforescência pelo calor”* (BECQUEREL, 1896c, p. 562-3). Nota-se que Becquerel continua a se basear nos fenômenos que já conhece, não reconhecendo nada de fundamentalmente novo naquilo que estuda.

No mesmo artigo, Becquerel estuda outros materiais fosforescentes. Alguns deles são sais de urânio. Com todos eles são observados os mesmos efeitos. Com o sulfeto de zinco, ao contrário do que Henry e Troost haviam observado, Becquerel não nota nenhum efeito. No entanto, Becquerel faz observações na obscuridade – e Henry e Troost haviam feito experimentos enquanto o sulfeto de zinco era iluminado. Outros materiais fosforescentes (sulfeto de estrôncio e de cálcio) são examinados. O primeiro não proporciona nenhum efeito, no escuro. Uma amostra de sulfeto de cálcio que produzia fosforescência alaranjada também não produz efeitos, mas dois sulfetos de cálcio com luminescência azul e azul-esverdeado *“produziam efeitos muito fortes, os mais intensos que já obtive nessas experiências. O fato relativo ao sulfeto de cálcio azul está de acordo com a*

*observação do Sr. Niewenglowski através do papel negro*". (BECQUEREL, 1896c, p. 563)

Por nossos conhecimentos atuais, é muito difícil compreender como podem ter ocorrido os efeitos descritos por Becquerel. As radiações emitidas pelos sais de urânio, na verdade, não se refletem nem se refratam; e o sulfeto de cálcio não deveria emitir radiações semelhantes às dos sais de urânio (e, pior ainda, mais fortes!) Ou existiram efeitos que não podem ser explicados por nossos conhecimentos, ou Becquerel se enganou em suas observações - e, neste caso, pode ter sido introduzido por suas expectativas teóricas a ver fenômenos inexistentes. A menos que essas experiências sejam repetidas, com os mesmos materiais por ele utilizados, não será possível, no entanto, excluir a existência de fenômenos físicos atualmente ignorados e diferentes da radioatividade.

Passam-se duas semanas e Becquerel publica novo trabalho (23/03/1896). Nele, descreve observações de que alguns compostos de urânio que não são luminescentes também produzem os efeitos antes descritos. Assim sendo, essa fosforescência invisível parece não ter ligação com a fosforescência ou fluorescência visível. Mas parece, segundo Becquerel, tratar-se realmente de um caso de fosforescência, pois ele afirma que a radiação aumenta quando os cristais que estavam no escuro são expostos à luz solar ou quando são iluminados por uma descarga elétrica (BECQUEREL, 1896d) – novamente, o fenômeno descrito não deveria ocorrer, pelo que sabemos. Há outra observação curiosa, neste artigo. Becquerel afirma que as amostras de sulfeto de cálcio, que haviam produzido efeitos no escuro, agora não impressionavam mais as chapas fotográficas.

Como já se viu, Becquerel acreditava que a radiação que estudava era semelhante à luz, pois se refletia e refratava, ao contrário dos raios X. No seu artigo seguinte (BECQUEREL, 1896e), descreve experiências com finas lâminas de turmalina e afirma haver notado efeitos de polarização de sua radiação (outro resultado estranho!). Continua também a afirmar que o efeito se torna mais forte quando o material é excitado pela luz (e repete isso também no trabalho seguinte).

Passam-se agora 7 semanas. Só então Becquerel apresenta nova comunicação. Depois de ter observado que todos os compostos de urânio (luminescentes ou não) emitiam essas mesmas radiações invisíveis, Becquerel resolve testar o urânio metálico. Obtém uma amostra preparada por Moissan (químico que nesse mesmo ano havia isolado o metal) e verifica que ele também emite a radiação. Ora, isso poderia ter mostrado que não se tratava de um fenômeno de fosforescência e sim algo de outra natureza. Mas Becquerel conclui que esse é o primeiro caso de um metal que apresenta uma fosforescência invisível (BECQUEREL, 1896f). Seria natural, a partir daí, pesquisar a existência de outros elementos que emitissem radiações semelhantes, mas Becquerel não o faz. Após esse trabalho, de 18 de maio, ele parece se desinteressar e abandona esse estudo.

## X. Os dois primeiros anos

Como se pode perceber pela descrição feita até aqui, os trabalhos de Becquerel não estabeleceram nem a natureza das radiações emitidas pelo urânio nem a natureza sub-atômica do processo. Seu trabalho, originado, como o de Charles Henry e outros, pela hipótese de Poincaré, era apenas um dos muitos, da época, que apresentavam resultados de difícil interpretação. Visto no contexto da época, eram pesquisas que não tiveram o impacto nem a fecundidade da descoberta dos raios X.

Poucos pesquisadores se dedicaram ao estudo dos “raios de Becquerel” ou “raios do urânio” até início de 1898. Por um lado, os próprios compostos luminescentes do urânio (ou urânio metálico) eram de difícil obtenção. Por outro lado, Becquerel parecia ter esgotado o assunto. Além disso, muitos outros fenômenos anunciados na mesma época desviavam a atenção e apontavam igualmente para aspectos delicados desse tipo de estudos (ver BADASH, 1965).

No Japão, em 1896, Muraoka investigou se certos vermes luminescentes eram capazes de emitir radiações invisíveis penetrantes, capazes de sensibilizar placas fotográficas. Parecia que sim, mas os resultados eram estranhos: o efeito só surgia quando os vermes eram mantidos úmidos e quando havia um cartão entre eles e a placa fotográfica. Concluiu-se, depois, que o efeito era devido apenas à umidade (pois papel umedecido produzia o mesmo resultado). No mesmo ano, observou-se que algumas placas metálicas recentemente polidas (de zinco, magnésio e cádmio) também sensibilizavam chapas fotográficas (ver STEWART, 1898). Um pesquisador norte-americano, McKissic, divulgou no mesmo ano que muitas outras substâncias pareciam emitir raios de Becquerel: cloreto de lítio, sulfeto de bário, sulfato de cálcio, cloreto de quinina, açúcar, giz, glicose e acetato de urânio. Várias outras alegações semelhantes surgiram no mesmo período – quase todas sem fundamento. Tudo isso ajudava a confundir a situação.

Em um artigo de revisão do assunto publicado em 1898, Stewart descreveu todos os tipos de trabalhos publicados na época. Chegou à conclusão (provavelmente a mais aceita, na época) de que os raios de Becquerel eram ondas eletromagnéticas transversais (como a luz) de pequeno comprimento de onda e que o processo de emissão era um tipo de fosforescência (STEWART, 1898). Repete os resultados de Becquerel relativos à reflexão, refração e polarização dos raios de urânio e o aumento da intensidade da radiação após exposição à luz. Adota, essencialmente, a mesma concepção que Becquerel. É verdade que, em 1897, Gustave Lê Bom havia repetido os experimentos de Becquerel e não havia notado nenhum sinal de reflexão, refração ou polarização (LE BOM, 1897). Mas ninguém lhe deu atenção. Todos imaginaram que se tratava de um tipo de radiação ultravioleta.

Pode-se dizer que, de maio de 1896 ao início de 1898, esse campo de estudos ficou estagnado. O único resultado novo, durante esse tempo, foi o de que a radiação do urânio permanecia forte ao longo dos meses, apesar de não haver recebido luz. Embora Becquerel ainda afirmasse que a excitação pela luz aumentava a radiação emitida, Elster e Geitel não encontraram esse efeito (que, é claro, não existe).

## **XI. A descoberta de novos materiais radioativos**

No início de 1898, dois pesquisadores, independentemente, tiveram a idéia de tentar localizar outros materiais, diferentes do urânio, que emitissem radiações do mesmo tipo. A busca foi feita, na Alemanha, por G. C. Schmidt e, na França, por Marie Sklodowska Curie. Em abril de 1898, ambos publicaram a descoberta de que o tório emita radiações, como o urânio. O método de estudo não foi fotográfico e sim com o uso de uma câmara de ionização, observando-se a corrente elétrica produzida, no ar, entre duas placas eletrizadas, quando se colocava um material que emita radiações entre as placas. Esse método de estudos era mais seguro do que o uso de chapas fotográficas, já que estas, como vimos, podem ser afetadas por muitos tipos de influências diferentes.

A radiação emitida pelo tório era observada em todos os seus compostos examinados, como ocorria com o urânio. Ela produzia efeitos fotográficos e era um pouco mais penetrante do que a do urânio. Schmidt afirmou ter observado a refração dos raios do tório (como Becquerel fizera anteriormente) mas não conseguiu notar nem reflexão nem polarização dos raios.

Marie Curie estudou vários minerais, além de substâncias químicas puras. Notou, como era de se esperar, que todos os minerais do urânio e do tório emitiam radiações. Mas observou um fato estranho:

*Todos os minerais que se mostraram ativos contêm os elementos ativos. Dois minerais de urânio – a pechblenda (óxido de urânio) e a calcolita (fosfato de cobre e uranila) são muito mais ativos do que o próprio urânio. Esse fato é muito notável e leva a crer que esses minerais podem conter um elemento muito mais ativo do que o próprio urânio. Reproduzi a calcolita pelo processo de Debray com produtos puros; essa calcolita artificial não é mais ativa do que outros sais de urânio. (CURIE, 1898, p. 1102)*

Nesse mesmo trabalho, Curie chama a atenção para o fato de que o urânio e o tório são os elementos de maior peso atômico (dos que eram conhecidos). Especula também sobre a causa do fenômeno. Diante da enorme duração da radia-

ção, parecia absurdo, na época, que toda a energia emitida (que parecia infinita) pudesse provir do próprio material. Curie supõe que a fonte seria externa, ou seja, que todo o espaço estaria permeado por uma radiação muito penetrante, imperceptível, que seria absorvida pelos elementos mais pesados e reemitida sob uma forma observável.

A descoberta do tório deu um novo impulso à pesquisa dos “raios de Becquerel”. Agora, percebia-se que esse não era um fenômeno isolado, que ocorria só no urânio. Marie Curie é quem dá a esse fenômeno o nome “radioatividade”:

*Os raios urânicos foram freqüentemente 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 de sua natureza. (CURIE, 1899, p. 42)*

Vê-se que Marie Curie estava consciente de que se tratava de um fenômeno muito mais geral.

Poucos meses depois da descoberta do tório, Marie e Pierre Curie apresentarão um trabalho de ainda maior importância (CURIE & CURIE, 1898). No trabalho anterior, Marie Curie havia sugerido que a pechblenda talvez contivesse outro material radioativo, desconhecido. Ela se dedica ao trabalho de tentar isolar essa substância. Para isso, dedica-se a um trabalho de química analítica, separando progressivamente os constituintes da pechblenda, testando-os pelo método elétrico, de modo a separar as frações radioativas das inativas. Primeiramente, partindo da pechblenda que era duas vezes e meia mais ativa do que o urânio, foi feita a dissolução do mineral em ácido. Depois, borbulhou-se ácido sulfídrico ( $H_2S$ ) pelo líquido, havendo formação de vários sulfetos insolúveis, que se precipitavam. O urânio e o tório permaneciam dissolvidos. O precipitado era muito ativo. Adicionando-lhe sulfeto de amônia, os sulfetos de arsênio e de antimônio (não ativos) se dissolvem. O resíduo passa por outros processos de separação. Por fim, o material ativo fica unido ao bismuto, não sendo separável dele pelos processos usuais. Não era, portanto, nenhum elemento conhecido. Através de processos de sublimação fracionada foi possível obter um material (ainda unido ao bismuto) que era 400 vezes mais ativo do que o urânio puro. O casal Curie sugere:

*Cremos portanto que a substância que retiramos da pechblenda contém um metal ainda não identificado, vizinho ao bismuto por suas propriedades analíticas. Se a existência*

*desse novo metal for confirmada, propomos dar-lhe o nome de polônio, nome do país de origem de um de nós. (CURIE & CURIE, 1898)*

Não se pode dizer que estivesse, de fato, estabelecida a existência de um novo elemento. O suposto novo metal se comportava como o bismuto e não tinha raias espectrais que pudessem ser notadas. Houve por isso certo ceticismo em relação a essa descoberta, inicialmente. Em artigo escrito após o trabalho relativo ao polônio, Marie Curie faz uma revisão dos conhecimentos sobre o assunto (CURIE, 1899). Nele, coloca em dúvida a existência de reflexão, refração e polarização dos raios de Becquerel e nega, com base nos estudos de Elster e Geitel, a possibilidade de intensificar a radioatividade pela exposição ao Sol. Curie defende claramente a idéia de que a radioatividade é uma propriedade **atômica**.

Na última reunião de 1898 da Academia de Ciências, os Curie e Bémont apresentavam um novo trabalho (CURIE, CURIE & BÉMONT, 1898). Nele, apresentam evidências de um novo elemento radioativo, quimicamente semelhante ao bário, extraído também da pechblenda. Também nesse caso, não foi possível separar o novo elemento do metal conhecido; mas foi possível obter um material 900 vezes mais ativo do que o urânio. Além disso, desta vez a análise espectroscópica permitiu notar uma raia espectral desconhecida. Os autores do artigo dão a esse novo elemento o nome de “rádio”, por parecer mais radioativo do que qualquer outro elemento.

## **XII. Etapas posteriores**

Faltava muita coisa, ainda, a ser compreendida. O que eram as radiações emitidas: iguais aos raios X, ou não? Até essa época, parecia que sim. De onde saía a energia desprendida desses materiais? Por que alguns elementos são radioativos e outros não? Nada disso havia sido esclarecido. Não havia, também, suspeita de que a radioatividade acarretava transformações de um elemento químico em outro. O nome “radioatividade” existia; mas não se conhecia ainda o complexo fenômeno ao qual damos hoje esse nome.

A história restante é longa e rica. Não é possível descreve-la em detalhes, aqui. O objetivo central deste artigo era mostrar que Becquerel ficou longe de estabelecer a existência da radioatividade, tal como a concebemos hoje. Vamos, por isso, apenas indicar alguns dos episódios posteriores, para dar uma idéia sobre o que faltava ainda descobrir (ver JAUNCEY, 1946).

A natureza e diversidade das radiações emitidas por materiais radioativos foi estabelecida gradualmente. No início de 1899, Rutherford notou a existência de dois tipos de radiação do urânio – uma mais penetrante e outra facilmente

absorvida. Chamou-as de  $\alpha$  (a menos penetrante) e  $\beta$ . No entanto, imaginou que ambas eram diferentes tipos de raios X. No final de 1899, Geisel observou que as radiações do polônio eram desviáveis por um ímã. Esses raios não podiam, portanto, ser raios X. O casal Curie verificou que alguns raios eram defletidos pelo ímã e outros não. Os que eram defletidos correspondiam à radiação  $\beta$  de Rutherford. O sentido da deflexão mostrou que eram semelhantes aos raios catódicos, ou seja, dotados de carga elétrica negativa. Posteriormente, o casal Curie observou, por medidas elétricas, que essa radiação transportava de fato uma carga negativa. A radiação não defletida foi identificada como radiação  $\alpha$  (que, na verdade, é pouco desviada, por sua grande massa/carga).

Becquerel, nessa fase, fez alguns estudos sobre a deflexão dessas radiações. Tentou defletir a radiação  $\beta$  por um campo elétrico, mas não conseguiu, inicialmente. Isso foi conseguido em 1900, por E. Dorn. No mesmo ano, Villard descobriu que os raios não desviáveis eram de dois tipos: os raios  $\alpha$  (pouco penetrantes) e outros raios muito penetrantes, que foram denominados “raios  $\gamma$ ”. Apenas em 1903 Rutherford observou que a radiação  $\alpha$  podia ser defletida elétrica e magneticamente, verificando então tratar-se de partículas com carga positiva. Só então ficou mais clara a noção a respeito da natureza dessas três radiações.

Outro aspecto da radioatividade – a transformação dos elementos radioativos – emergiu também aos poucos. Em 1899, Rutherford observou a existência de uma emanção radioativa do tório. Dorn verificou que o rádio também produzia uma emanção semelhante. Depois de vários meses, verificou-se tratar-se de um novo elemento químico, gasoso (radônio). Esse gás estava sendo produzido pelo material radioativo. Além disso, os Curie haviam notado, no final de 1899, que o rádio podia tornar radioativos os corpos próximos. No ano seguinte, Rutherford descobriu que a radioatividade induzida era devido a um depósito criado pela emanção gasosa. No entanto, esse depósito não era idêntico à emanção.

Descobriu-se também que a emanção e o depósito perdiam rapidamente suas radioatividades, o que mostrou tratar-se de uma mudança atômica gradual. Após esses e outros estudos, Rutherford e Soddy apresentaram a teoria das transformações radioativas em 5 artigos publicados de novembro de 1902 a maio de 1903. Com esses trabalhos, as linhas gerais da nova visão sobre a radioatividade haviam já sido estabelecidas. Muitos aspectos foram esclarecidos nos anos seguintes.



### **XIII. Conclusão**

Mais do que diminuir o papel de Becquerel na descoberta da radioatividade, o objetivo deste artigo foi mostrar a grande dificuldade existente no estabelecimento de fenômenos que não são esperados teoricamente. É fácil observar o que se prevê – aliás, como se viu, pode-se observar o que foi previsto até quando a previsão é falsa. Muito mais difícil é ver aquilo que contraria todas as expectativas.

O estudo aprofundado de episódios como esse deveria fazer parte da educação de todo cientista experimental, pois a visão estereotipada do experimentador rebaixa e banaliza o trabalho experimental – quando, na verdade, o bom trabalho experimental é extremamente difícil, criativo e instigante, desde que se tenha coragem de enfrentar, no laboratório, fenômenos que se recusam a respeitar as teorias estabelecidas.

### **Agradecimento**

Esta pesquisa recebeu o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

### **Referências Bibliográficas**

OBS.: As referências a artigos do periódico “Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l’Académie des Sciences de Paris” são indicadas como “Comptes Rendus”.

1. BADASH, L. Radioactivity before the Curies. **American Journal of Physics**, v. 33, p. 128-135, 1965.
2. BECQUEREL, H. **El descubrimiento de la radioactividad**. Introdução e trad. De Cortés Pla. Buenos Aires: espasa-Calpe, 1946.
3. \_\_\_\_\_. Sur les radiations émises par phosphorescence. **Comptes Rendus**, v. 122, p. 420-421, 1896(a).
4. \_\_\_\_\_. Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents. **Comptes Rendus**, v. 122, p. 501-503, 1896 (b).
5. \_\_\_\_\_. Sur quelques propriétés nouvelles des radiations invisibles émises par divers corps phosphorescents. **Comptes Rendus**, v. 122, p. 559-564, 1896 (c).
6. \_\_\_\_\_. Sur les radiations invisibles émises par les sels d’uranium. **Comptes Rendus**, v. 122, p. 689-694, 1896(d).

7. \_\_\_\_\_. Sur les propriétés différentes des radiations invisibles émises par les sels d'uranium, et du rayonnement de la paroi anticathodique d'un tube de Crookes. **Comptes Rendus**, v. 122, p. 762-767, 1896(e).
8. \_\_\_\_\_. Émission de radiations nouvelles par l'uranium métallique. **Comptes Rendus**, v. 122, p. 1086-1088, 1896(f).
9. CURIE, m. s. Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium. **Comptes Rendus**, v. 126, p. 1101-1103, 1898.
10. \_\_\_\_\_. Les rayons de Becquerel et le polonium. **Révue Générale des Sciences**, v. 10, p. 41-50, 1899.
11. CURIE, P.; CURIE, M. S. Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende. **Comptes Rendus**, v. 127, p. 175-178, 1898.
12. \_\_\_\_\_. Sur la radioactivité provoquée par les rayons de Becquerel. **Comptes Rendus**, v. 129, p. 714-716, 1899.
13. CURIE, P.; CURIE, M. S.; BÉMONT, G. Sur une nouvelle substance fortement radioactive, contenue dans la pechblende. **Comptes Rendus**, v. 127, p. 1215-1217, 1898.
14. D'ARSONVAL, A. Observations au sujet de la photographie à travers les corps opaques. **Comptes Rendus**, v. 122, p. 500-501, 1896.
15. DEBIERNE, A. Sur un nouvel élément radio-actif: l'actinium. **Comptes Rendus**, v. 130, p. 906-908, 1900.
16. HENRY, C. Augmentation du rendement photographique des rayons Roentgen par le sulfure de zinc phosphorescent. **Comptes Rendus**, v. 122, p. 312-314, 1896.
17. JAUNCEY, G. E. M. The birth and early infancy of X-rays. **American Journal of Physics**, v. 13, p. 362-379, 1945.
18. \_\_\_\_\_. The early years of radioactivity. **American Journal of Physics**, v. 124, p. 226-241, 1946.
19. LE BON, G. Nature des diverses espèces des radiations produites par les corps sous l'influence de la lumière. **Comptes Rendus**, v. 124, p. 755-758, 1897.

20. MANVILLE, O. **Les découvertes modernes en physique**. Paris: Hermann, 1909.
21. NIEWENGLOWSKI, G. H. Sur la propriété qu'ont les radiations émises par les corps phosphorescents, de traverser certains corps opaques à la lumière solaire, et sur les expériences de M. G. Le Bon, sur la lumière noire. **Comptes Rendus**, v. 122, p. 385-386, 1896.
22. PAPP, D. **Historia de la física**. Buenos Aires: Espasa-Calpe, 1945.
23. POICARÉ, H. Les rayons cathodiques et les rayons Roentgen. **Revue Générale des Sciences**, v. 7, p. 52-59, 1896.
24. RAVEAU, C. Les faits nouvellement acquis sur les rayons de Roentgen. **Revue Générale des Sciences**, v. 7, p. 249-253, 1896.
25. ROENTGEN, W. C. Ueber eine neue Art von Strahlen. **Sitzungsberichte der physikalisch-medicinische Gesellschaft von Würzburg**: 132-41, 1895 = **Annalen der Physik und Chemie**, v. 64, p. 1-12, 1898.
26. \_\_\_\_\_. Une nouvelle espèce de rayons. **Revue Générale des Sciences**, v. 7, p. 59-63, 1896.
27. ROMER, A. Accident and professor Roentgen. **American Journal of Physics**, v. 27, p. 275-277, 1959.
28. RUTHERFORD, E. Uranium radiation and the electrical conduction produced by it. **Philosophical Magazine**, v. 47, n. 5, p. 109-163, 1899.
29. \_\_\_\_\_. A radioactive substance emitted from thorium compounds. **Philosophical Magazine**, v. 49, n. 5, p. 1-14, 1900.
30. \_\_\_\_\_. Radioactivity produced in substances by the action of thorium compounds. **Philosophical Magazine**, v. 49, n. 5, p. 161-192, 1900.
31. STEWART, O. M. A résumé of the experiments dealing with the properties of Becquerel rays. **Physical Review**, v. 6, p. 239-251, 1898.
32. \_\_\_\_\_. Becquerel rays, a résumé. **Physical Review**, v. 11, p. 155-175, 1900.
33. WATSON, E. C. The discovery of X-rays. **American Journal of Physics**, v. 13, p. 281-291, 1945.