

A experiência de Ernest Rutherford sobre a estrutura da matéria: Uma visita aos textos originais.

*Deividi Marcio Marques^{1(PG)}, João José Caluzi^{2(PQ)}.

¹ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência – Faculdade de Ciências – Unesp – Bauru deivid@fc.unesp.br

² Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência – Unesp – Bauru

Palavras Chave: Ernest Rutherford, Modelo Atômico de Rutherford, núcleo atômico.

Introdução

Os estudos acerca da estrutura da matéria no início do século XX são considerados um dos grandes acontecimentos que marcaram o cenário do mundo científico da época. Tais estudos não só revolucionaram o mundo científico nas primeiras décadas daquele século como também deram espaço aos estudos acerca dos constituintes da matéria, bem como base para os estudos da Física Nuclear.

Esses fatos da Física logo influenciaram a Química, o que resultou numa visível ruptura com as noções da Química Clássica, ou seja, as idéias que os cientistas da época construíram sobre os átomos, tiveram que ceder espaço as novas concepções sobre os constituintes que compõem a estrutura da matéria. Em contribuição a essas descobertas encontramos o trabalho do físico Ernest Rutherford que o conduziram na elaboração de um modelo de átomo onde toda a sua carga estava concentrada num único ponto, o qual denominou de núcleo.

Isso foi muito importante, pois rompe com o modelo atômico proposto por J. J. Thomson (modelo pudim de passas) e as contradições internas do modelo de Rutherford conduzem Niels Bohr a propor seu modelo do átomo quantizado.

A importância de se estudar o tema está no fato dos livros didáticos de Ensino de Química, em sua grande maioria, apresentarem erros históricos ao abordarem os trabalhos de Ernest Rutherford acerca de suas investigações sobre a estrutura da matéria e conseqüentemente na elaboração do seu modelo atômico nuclear.

Os professores em sua maioria utilizam o livro didático como um único instrumento de ensino e fonte de informação. Muitos desses professores consideram o conteúdo desses livros como algo acabado, verdadeiro, longe de qualquer tipo de crítica ou objeção ao texto apresentado. Inferindo daí uma imagem equivocada da Ciência e da Química.

A figura 1, extraída do livro *Química – série Brasil*, dos autores Antonio Sardella e Marly Falcone¹, mostra a conhecida figura da experiência de Rutherford. Acompanhando a ilustração há no livro em questão a seguinte informação:

“Vamos ver a descrição de uma experiência fundamental para o desvendamento da estrutura atômica e que só foi possível graças a utilização das formas de radiação. Essa experiência foi realizada em 1911 e consistia em bombardear uma lâmina de ouro com partículas alfa provenientes do elemento polônio, protegido por um bloco de chumbo...” (SARDELLA & FALCONE, 2004, p. 65).

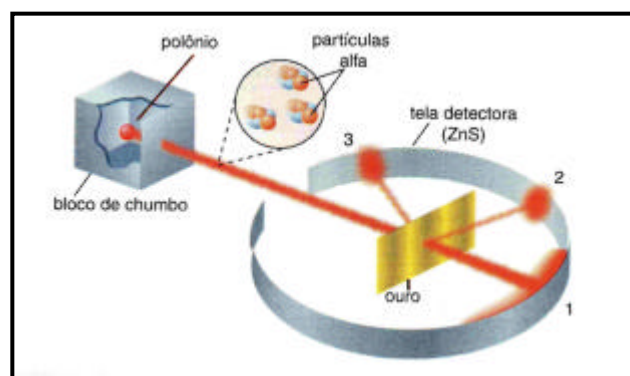


Figura 1 Experiência de Rutherford (SARDELLA & FALCONE, 2004, p. 65).

Diante deste fato nos perguntamos, quais foram os passos seguidos por Rutherford para a elaboração de seu modelo atômico? O que diz seu artigo de 1911 sobre experiência e conseqüentemente a elaboração do seu modelo atômico?

Utilizamos para essa pesquisa os artigos escritos por Rutherford e outros cientistas que de alguma maneira tiveram influência em seu trabalho. Achamos que a utilização da História da Ciência, ou seja, o resgate dos fatos através da análise das fontes primárias facilita a descrição sistemática e coerente das bases

¹ SARDELLA, A. & FALCONE, M. *Química – série Brasil, Ensino Médio – vol. único. 1ª Edição. Editora Ática. São Paulo, 2004.*

e dos fundamentos experimentais do trabalho de Rutherford. Além disso, teremos uma visão mais ampla sobre os conhecimentos físicos, e conseqüentemente químicos, daquela época. Os estudos daquele período exercem influência nos dias atuais, por exemplo, o desenvolvimento de aceleradores de partículas, a descoberta de partículas sub-atômicas, a fissão e fusão nuclear, bem como, um amplo conhecimento do mundo quântico.

Resultados e Discussão

Ernest Rutherford, após passar nove anos na Universidade McGill, no Canadá onde pesquisou muitos dos aspectos da radioatividade, retorna para a Inglaterra para ocupar um cargo na Universidade de Manchester. Uma vez estabelecido, Rutherford encontrou como assistente o jovem alemão Hans Geiger (1882-1945), hoje famoso por ter criado o Contador Geiger, instrumento utilizado para detectar radioatividade. Ambos publicaram vários trabalhos associados aos estudos das partículas alfa.

Geiger publicou um artigo na *Proceedings of the Royal Society of London*, em julho de 1908, intitulado Sobre o Espalhamento das Partículas Alfa através da Matéria² (*On the Scattering of the α -Particles by Matter*). Nesse estudo Geiger relata que no decorrer das pesquisas realizados por ele e Rutherford sobre a contagem de partículas alfa a partir de um grama de rádio, havia um interesse no espalhamento sofrido pelas partículas alfa ao atravessarem a matéria.

Na realidade esse tipo de observação já havia sido feito por Rutherford, em 1906, sobre esse tipo de espalhamento. Geiger também faz referências a outros cientistas que também discutem esses espalhamentos como Kucera e Masek (1906), W. H. Bragg (1907), L. Meitner (1907) e E. Meyer (1907). No entanto, Geiger não faz nenhuma citação sobre os resultados obtidos desses pesquisadores no decorrer do artigo.

Esse efeito de espalhamento também ocorria com as partículas beta. Um estreito feixe de partículas beta após atravessar uma folha de metal emerge em um feixe não definido, que era observado numa chapa fotográfica de sulfeto de zinco. Rutherford no seu estudo de 1906 percebeu que quando as partículas alfa atravessavam uma estreita fenda coberta com uma fina folha de mica produzia uma imagem estendida na chapa fotográfica. No entanto, quando não havia nenhuma cobertura na fenda, a imagem produzida era bem definida.

Geiger também utilizou uma folha de alumínio, mas “a folha de alumínio mostrou claramente o efeito do espalhamento, mas em uma extensão muito menor que folha de ouro, se equivalentes espessuras

fossem usados” (GEIGER, 1908, p. 176, tradução nossa).

Geiger concluiu que as observações dão uma evidência direta que há um espalhamento muito acentuado das partículas alfa ao atravessarem a matéria. Adiante ele encerra o artigo dizendo que:

“As experiências estão sendo realizadas com todas as substâncias para as quais é possível adquirir uma estreita prova na tentativa do estabelecimento de alguma conexão entre o poder de espalhamento e o poder de interrupção destes materiais. Uma investigação mais profunda nos permitirá também tratar do assunto de um ponto de vista teórico.” (Geiger, 1908, p. 177, tradução nossa).

A explicação para tal efeito pode ser entendida admitindo que, na época, tinham em mente o modelo atômico de Thomson. Quando uma partícula alfa atravessa o metal sofre um grande número de pequenos desvios em direções aleatórias, ou seja, ao encontrar um átomo da folha do metal, no caso ouro, cada encontro provoca um pequeno desvio. Quanto mais fina é a folha de ouro, menor a probabilidade da partícula alfa encontrar um átomo no decorrer do seu percurso e, conseqüentemente, apresentar pequenos desvios. Essa probabilidade de encontros aumenta quanto maior o número de folhas forem utilizadas.

Os grandes ângulos de dispersão – As pesquisas de Geiger e Marsden.

No ano seguinte além de Geiger continuar seus estudos sobre as partículas alfa ele teve como assistente o Ernest Marsden (1889 – 1970). Naquela época, Marsden tinha apenas 20 anos de idade. Andrade³ (1964, p. 111) relata um fato interessante sobre essa época. Segundo o autor, Rutherford em uma de suas últimas palestras narrou o seguinte fato:

“Um dia Geiger veio até mim e disse ‘Você não acha que o jovem Marsden, que eu estou treinando em métodos radioativos, deveria começar uma pequena pesquisa?’ [...] Eu respondi ‘Por que não o deixe ver se alguma partícula alfa pode se espalhar por um grande ângulo?’ Eu posso lhe falar com confiança, eu não acreditei que haveria. Desde que nós soubemos, a partícula alfa era uma partícula maciça muito rápida, com muita energia, e você poderia mostrar que se o espalhamento ocorresse era devido ao efeito acumulado de vários pequenos espalhamentos e a chance de uma partícula alfa se dispersar para trás era muito pequena. Então eu me lembro que dois ou três dias mais tarde, Geiger veio com grande excitação ao meu encontro dizendo, ‘Nós conseguimos algumas partículas alfa se dispersando

² GEIGER, H. On the Scattering of the α -Particles by Matter, *Proceedings of the Royal Society of London*, Jul/ 1908, p. 174-177.

³ ANDRADE, E.N. da C., *Rutherford and the Nature of the Atom*. Published by Anchor Books, Doubleday & Company Inc. Garden City, New York, 1964.

para trás.... ' Definitivamente era o evento mais incrível que já havia acontecido em minha vida. Era quase tão incrível quanto se você arremessasse um projétil de 15 polegadas em um pedaço de pano de seda e ela voltasse e atingisse você." (ANDRADE, 1964, p.111, tradução nossa).

O fato a que Rutherford estava se referindo resultou o artigo publicado na *Philosophical Magazine*, intitulado *Sobre a Reflexão Difusa das Partículas α* ⁴ (*On a Diffuse Reflection of the α -Particles*). Como Rutherford disse, era possível ocorrer tais espalhamentos, ou dispersões, para trás, mas o número encontrado por Geiger e Marsden foi muito grande. O método utilizado era o de cintilações; ao chocarem na tela de sulfeto de zinco as partículas produziam um ponto luminoso que era observado por um microscópio cujo poder de aumento era 50 vezes, cada ponto luminoso era chamado de cintilação. No artigo eles fazem considerações sobre o já conhecido espalhamento ocorrido pelas partículas beta. Com relação às partículas alfa eles observaram:

"Uma pequena fração de partículas alfa incidindo sobre uma placa metálica tem sua direção mudada em tal grau que elas emergem no ponto de incidência". (GEIGER E MARSDEN, 1909, p. 495, tradução nossa).

A sequência de experimentos para desvendar o modo de como ocorria tais fatos tiveram como objetivos: a) A quantidade relativa de reflexões em diferentes metais; b) A quantidade relativa de reflexões variando a espessura do metal e c) A fração de partículas alfa incidentes que são refletidas.

Pelos dados obtidos eles concluem que quanto maior o peso atômico do elemento maior o número de cintilações. No caso do chumbo, no entanto, isso não ocorre. Geiger e Marsden acreditam que isso ocorreu devido a leves impurezas presentes no chumbo.

Com relação ao segundo ponto de investigação, sobre a quantidade relativa de reflexões variando a espessura do metal, Geiger e Marsden constataram que o número de partículas refletidas varia com a espessura do metal utilizado como refletor. Para isso eles dispuseram de finíssimas folhas de ouro. O ouro foi utilizado porque ele pode ser obtido em folhas uniformes e muito finas. Muitas folhas foram utilizadas e cada uma, em relação ao poder de interrupção pelo ar, era equivalente a 0,4 mm de ar.

Por fim, Geiger e Marsden encontraram que a fração de partículas alfa incidentes que são refletidas é de aproximadamente 1 em 8000.

Outro dado levantado por eles é que parecia provável que o número de partículas refletidas dependia também da velocidade com que as partículas alfa atingiam o refletor. No caso do experimento, cujas

partículas eram provenientes do rádio C tiveram que percorrer poucos centímetros pelo ar antes de atingir o refletor. As partículas refletidas, ainda sim, tiveram uma velocidade apreciável mesmo colocando uma folha de alumínio de espessura equivalente a 0,5 cm de ar em termos de poder de interrupção pelo ar como anteparo, o número das cintilações contadas não foi alterado.

Nesse artigo surge algo interessante. Ambos tinham em mente o modelo atômico de Thomson. Contudo, grandes ângulos de desvios não eram compatíveis com o modelo. Rutherford analisou os dados obtidos por Geiger e Marsden. Eles encontraram que as partículas alfa ao atravessarem uma folha de ouro, de aproximadamente 6×10^{-5} cm de espessura, espalharam as partículas num ângulo de 90° ou mais. Para que isso ocorra, deve-se assumir que existem pequenos desvios a cada encontro. Então, para que fossem possíveis tais ângulos, as partículas teriam que encontrar pelo caminho algo em torno de 10.000 colisões para produzir tal efeito. Esse era o ponto que Rutherford não concordava. Grandes ângulos de desvios não eram possíveis levando em consideração a espessura da folha de ouro utilizada.

Explicação Dada por Rutherford: O Artigo de 1911.

No intuito de explicar os fatos experimentais observados por Geiger e Marsden, Rutherford publica na *Philosophical Magazine* seu famoso artigo intitulado *O Espalhamento das Partículas alfa e beta pela Matéria e a Estrutura do Átomo*⁵ (*The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom*). Esse artigo, publicado em maio de 1911, é citado em inúmeros livros didáticos como sendo aquele em que Rutherford apresenta a nova estrutura atômica. De início ele retoma o trabalho de seus dois alunos:

"... algumas experiências sobre dispersão indicam que uma partícula alfa ou beta ocasionalmente sofre uma deflexão de mais do que 90° num único encontro. Por exemplo, Geiger e Marsden encontraram que uma fração pequena das partículas alfa incidentes numa película fina de ouro sofre uma deflexão superior a um ângulo reto. [...] Para explicar este e outros resultados, é necessário supor que a partícula eletrizada passa por um campo elétrico intenso dentro do átomo. A dispersão de partículas eletrizadas é considerada para um tipo de átomo que consiste de uma carga elétrica central concentrada num ponto e rodeada por uma distribuição esférica uniforme de eletricidade oposta igual em grandeza". (RUTHERFORD, 1911, p. 669).

⁴ GEIGER, H & MARSDEN, E., On a Diffuse Reflection of the α - Particles: *Philosophical Magazine*, Jun/1909.

⁵ RUTHERFORD, E., The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom: *Philosophical Magazine*, series 6, volume 21, Abril/1911.

Rutherford faz uma breve referência ao trabalho de Thomson publicado em 1910 na qual elabora uma teoria que explicava o espalhamento sofrido por partículas elétricas na matéria. Esse trabalho foi um dos marcos iniciais para Rutherford elaborar a sua teoria atômica.

Segundo Rutherford (1911), a teoria de Thomson supunha que o átomo consiste em um número N de corpúsculos negativamente carregados (elétrons), acompanhado uniformemente por uma quantidade igual de eletricidade positiva distribuída ao longo de uma esfera. A deflexão de uma partícula eletrificada negativamente atravessando o átomo é devido a duas causas: (1) pela repulsão dos corpúsculos distribuídos no átomo, e (2) a atração da eletricidade positiva no átomo. Mas isso com relação a um único encontro de uma partícula com um átomo da matéria. Segundo Thomson (*apud* Rutherford, 1911), a estrutura particular assumida para o átomo não admitia um ângulo de deflexão muito grande devido ao diâmetro da esfera de eletricidade positiva ser minúscula quando comparado com o diâmetro da esfera de influência do átomo.

Thomson em 1910 (*apud* Rutherford, 1911) propôs que espalhamentos com ângulos dessa magnitude (mais de 90°) ocorriam porque as partículas elétricas chocavam com vários átomos, ou seja, Thomson assumiu que o ângulo de divergência sofrido por uma partícula carregada era causado por um número grande de colisões com muitos átomos que compõem a matéria. Qualquer colisão (única) causava apenas um ângulo mínimo de divergência.

Além disso, como salienta Boorse *et al*⁶ (1989, p. 181), a divergência total não é a soma das divergências produzida em uma única colisão multiplicada pelo número total de colisões: o valor do ângulo de divergência, ou de desvio, é a raiz quadrada desta soma de colisões, por exemplo, se cada colisão resultasse em média em uma divergência de 1° , 100 colisões dariam origem a uma divergência de apenas 10° .

Esse era o ponto que Rutherford não concordava. Pelos dados de Geiger e Marsden, de 1909, se uma folha de ouro com espessura de aproximadamente 6×10^{-5} cm poderia espalhar partículas em ângulos maiores que 90° , e se pequenos desvios ocorressem a cada encontro, então seria necessário que cada partícula sofresse algo em torno de 10.000 colisões para espalhar em tais ângulos. Segundo Rutherford (1911) isso era improvável em virtude da espessura do material utilizado. Cada partícula que sofreu um desvio dessa magnitude colidiu com apenas um único átomo. Para que isso seja possível, ou seja, para explicar essa teoria de que a partícula encontra apenas um único átomo, o modelo atômico deveria então sofrer algumas mudanças.

Aqui se percebe, portanto a questão de pesquisa de Rutherford. Havia o espalhamento de partículas carregadas eletricamente que, ao atravessarem a matéria, sofriam desvios de até 90° , no entanto a estrutura atômica que tinham em mente, a estrutura de Thomson, não permitia que desvios desse porte ocorressem. Então, deveria haver um estudo aprofundado nesse fato: um estudo sobre a natureza de tais espalhamentos (tanto para as partículas alfa quanto para as partículas beta) para formar uma idéia sobre a constituição dos átomos que esteja coerente com os fatos observados.

Num primeiro momento Rutherford examinou quando uma partícula tem apenas um único encontro com o átomo que compõe a matéria, mas que esse único encontro seja capaz de produzir um grande ângulo de reflexão.

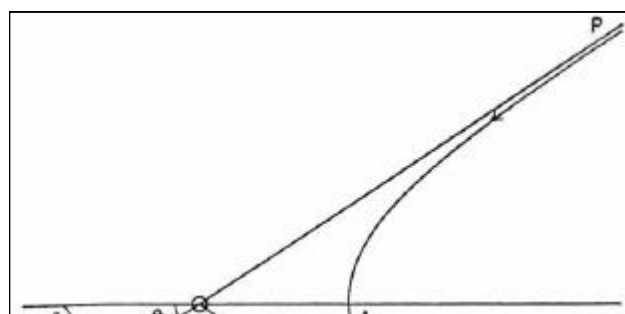
Rutherford considera um átomo que contenha uma carga $\pm Ne$ (e nesse artigo de 1911, tem o valor de $4,65 \times 10^{-10}$ unidades eletrostáticas) no seu centro cercado por uma esfera de eletrificação que contém uma carga $\pm Ne$ distribuída uniformemente ao longo de uma esfera de raio R . Esse centro teria um raio de aproximadamente 3×10^{-12} cm. Entre o centro e a esfera de eletrificação teria um raio menor que 10^{-8} cm. Essa estrutura também era válida para as partículas alfa, uma vez que as partículas beta eram considerados elétrons de alta velocidade.

Um fato interessante aparece nesse artigo. A carga central poderia ser positiva ou negativa:

"Será mostrado que as principais deduções da teoria são independentes se a carga central é positiva ou negativa. Será assumido que o sinal é positivo por conveniência. A questão sobre a estabilidade do átomo proposto não necessita ser considerada nesta fase, para isto obviamente dependerá da minúscula estrutura do átomo, e no movimento dos componentes que constituem as partes com carga." (RUTHERFORD, 1911, p. 671. Tradução nossa).

Achamos convenientes não entrarmos em detalhes nos cálculos matemáticos que envolveram o trabalho de Rutherford visto que são cálculos complexos que necessitaria tempo para descrevê-los, no entanto vamos nos concentrar nos resultados obtidos através desses cálculos.

Primeiramente ele considera a passagem de uma partícula positiva próximo ao centro de um átomo. Supondo que a velocidade da partícula não é apreciavelmente alterada pela sua passagem pelo átomo, o caminho da partícula sob a influência de uma força repulsiva descreve uma hipérbole, como mostra a Figura 2.



⁶ BOORSE, H. A. *et al.* *The atomic Scientists – A Biographical History*. Wiley Science Editions. John Wiley & Sons Inc. New York, 1989.

FIGURA 2 Esquema do trajeto de uma partícula alfa em direção ao centro de um átomo, segundo Rutherford (RUTHERFORD, 1911, p. 672).

Sendo o centro do átomo S como foco externo. Espera-se que a partícula, para entrar no átomo, percorre o sentido PO e o sentido de saída, num movimento de “escapar” do átomo, é OP' e os ângulos formados (OP e OP') sejam iguais com a linha o AS, onde A é a ápice da hipérbole e p (SN) a distância perpendicular do centro em direção ao movimento inicial da partícula. Na realidade a partícula não choca com o centro do átomo, mas a medida que vai se aproximando desse centro, sofre ação repulsiva.

Rutherford também admitiu através de seus cálculos que as partículas alfa e beta tem sua velocidade alterada ao sofrerem um único encontro atômico. Havia uma crença de que elas não alteravam sua velocidade, mas seus cálculos mostraram o contrário. Por exemplo, uma partícula alfa após atravessar uma finíssima folha de alumínio, ainda percorria uma distância de sete centímetros antes de ser neutralizada, no entanto, quando uma partícula alfa atravessa essa mesma folha e é defletida num ângulo 90°, tem uma redução de 4,5cm. É bom deixar claro que essa análise foi realizada apenas matematicamente, e experiências nesse sentido ainda seriam realizadas.

Uma das conclusões de Rutherford, ao final do seu artigo de 1911, era que comparando a sua teoria com os resultados experimentais, era previsível, portanto que o átomo consiste de uma carga central supostamente concentrada em um ponto e que os grandes ângulos de desvios sofridos pelas partículas alfa e beta são principalmente devido à passagem delas por um forte campo central.

“Considerando a evidência como um todo, parece mais simples supor que o átomo contém uma carga central distribuída através de um volume muito pequeno, e que os grandes ângulos de desvios são devido a carga central como um todo, e não a seus constituintes. Ao mesmo tempo, evidências experimentais não são precisas o bastante para negar a possibilidade que uma pequena fração da

carga positiva possa ser carregada por “satélites” estendendo a alguma distância do centro. Evidência neste aspecto poderia ser obtida examinando se a mesma carga central é exigida para explicar uma única grande deflexão de partículas alfa e beta; para partícula alfa deve haver uma aproximação muito maior ao centro do átomo que a partícula de beta de velocidade proporcional para sofrer a mesma grande deflexão.” (RUTHERFORD, 1911, p. 687. Tradução nossa).

Interessante notar que em nenhum momento em seu artigo ele menciona a palavra “núcleo” para nomear a carga central do átomo. Embora, ao longo de seu artigo, Rutherford não, especificamente, menciona a teoria planetária do átomo, mas faz uma referência ao trabalho do físico japonês Hantaro Nagaoka (1865-1950), que propôs um modelo planetário do átomo denominado de *sistema saturniano*.

Segundo Rutherford (1911, p. 688), Nagaoka considerou matematicamente as propriedades do átomo saturniano, suposto consistir em uma massa central cercada por anéis de elétrons giratórios. Ele mostrou que esse sistema era estável se a força de atração fosse grande. Do ponto de vista de Nagaoka, a chance de uma grande deflexão estaria praticamente inalterada, se o átomo é considerado como um disco ou uma esfera.

Outro ponto que deve ser destacado é a natureza da carga elétrica central, ou seja, se é positiva ou negativa. Rutherford não deixa isso claro, ele apenas lança uma hipótese.

“As deduções da teoria são independentes do sinal da carga central, e está próximo de se obter uma evidência definida para determinar se é positiva ou negativa. Pode ser possível resolver a pergunta de sinal por consideração da diferença das leis de absorção das partículas beta. Pelo efeito da redução da velocidade da partícula beta deveria ser marcado muito mais por um centro positivo que com um centro negativo. Se a carga central é positiva, é fácil perceber que uma massa positivamente carregada [partícula alfa] se libertou do centro de um átomo pesado e adquiriria uma grande velocidade atravessando o campo elétrico. Pode ser possível dessa maneira definir a alta velocidade de expulsão de partículas sem supor que elas estão, inicialmente, em rápido movimento dentro do átomo.”(RUTHERFORD, 1911, p. 688. Tradução nossa).

Geiger e Marsden lançaram-se na pesquisa para testar essa teoria. Os resultados dessa pesquisa foram publicados num artigo em abril de 1913 na *Philosophical Magazine*. O artigo intitulado *As Leis de Deflexão das Partículas a Através de Grandes*

Ângulos⁷ (The Laws of Deflexion of α -Particles through Large Angles).

Por sugestão de Rutherford, Geiger e Marsden pesquisaram diversos pontos dessa teoria. Para o nosso trabalho, o primeiro ponto nos parece ser mais interessante, que objetivava investigar a variação do espalhamento com o ângulo.

Analisando o trabalho experimental desenvolvido pelos pesquisadores podemos fazer uma analogia com aquele esquema da experiência de Rutherford retratado nos livros didáticos. As evidências indicam que pode ser esse o experimento elaborado que faz parte dos livros didáticos e que, erroneamente, é tido como elaborado por Rutherford.

Para estudar a variação dos espalhamentos com o ângulo, Geiger e Marsden dispuseram equipamento mostrado na Figura 3.

O instrumental usado consistia numa espessa caixa cilíndrica de metal B, o qual continha a fonte R de partículas alfa. Essa fonte de radiação consistia em um pequeno tubo de vidro de aproximadamente um milímetro de diâmetro, contendo uma grande quantidade de emanção de rádio (gás radônio). As partículas alfa emitidas pela emanção e pelos seus produtos radioativos poderiam atravessar as paredes do tubo sem muita dificuldade. Foram utilizados aproximadamente 100 miligramas de emanção de rádio.

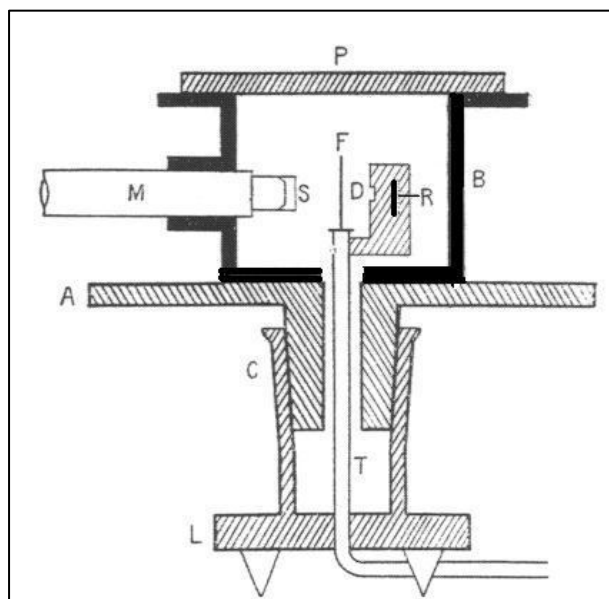


FIGURA 3. Equipamento elaborado para investigar os espalhamentos das partículas alfas (GEIGER E MARSDEN, 1913, p. 607).

O metal a ser utilizado como “espalhador” de partículas era afixado em F, e um microscópio M o qual uma tela de sulfeto de zinco S estava

rigidamente presa. Eles utilizaram nesse experimento como metal espalhador ouro e prata. A caixa foi firmada em uma plataforma circular graduada em graus A que poderia ser girada por meio de uma junta cônica hermética C. Girando a plataforma, a caixa B e o microscópio moviam-se também, no entanto o suporte F e a fonte R permaneciam em posição, sendo prendido ao tubo T que foi fixado em uma plataforma L. A caixa B estava fechada por um vidro opaco P, e poderia ser esvaziado pelo tubo T.

Por meio de um diafragma colocado em D, um feixe de partículas alfa se dirigia a folha de metal colocado em F, girando o microscópio as partículas alfa que se espalharam em diferentes direções poderiam ser observadas na tela S. Embora aproximadamente 100 miligramas de emanção de rádio estavam disponíveis para as experiências, a pequenez do efeito para os ângulos maiores de deflexão necessitou curtas distâncias entre a tela, a fonte e a folha de metal. Em algumas experiências a distância entre a fonte e a folha de metal era de 2,5cm e a tela de sulfeto de zinco rotacionava numa circunferência de 1,6cm de raio. Em outras experiências foram aumentadas estas distâncias.

O número de partículas que foram defletidas diminuía rapidamente com o aumento dos ângulos, e como não era possível contar com certeza mais de 90 cintilações por minuto (apenas aproximadamente 5 por minuto), só poderiam ser feitas, ao mesmo tempo, medidas em cima de um intervalo relativamente pequeno de ângulos. O número de partículas defletindo por ângulos grandes foi o primeiro a ser medido. Interessante dizer que a experiência não foi executada de imediato, o material radioativo permaneceu em R durante 51 horas. Ambos se revezavam nas observações. Abaixo, a Figura 4 que mostra o equipamento original montado por Geiger e Marsden.

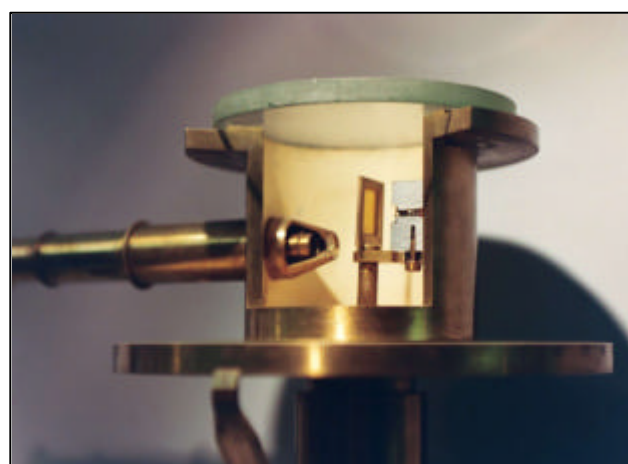


FIGURA 4 Instrumental original utilizado por Geiger e Marsden (TURNER, 2005⁸).

⁷ GEIGER, H & MARSDEN, E., The Laws of Deflexion of α Particles through Large Angles: *Philosophical Magazine*, April/1913.

⁸TURNER, D. *Nuclear Physics*. Furman University, Greenville, South Carolina. Disponível em

Uma das conclusões extraídas dos experimentos foi que o número de partículas defletidas em uma direção definida é diretamente proporcional à espessura da folha de metal utilizada. Quanto menor a espessura mais definida é a direção das partículas, o que confirmava a teoria de Rutherford.

As pesquisas sobre a teoria de Rutherford prosseguiram com os estudos de outros cientistas. Havia alguns pontos na teoria de Rutherford de 1911 que não estavam bem claras, como, por exemplo, sobre a constituição do núcleo bem como sua carga, o que o levou a escrever o artigo *A Estrutura do Átomo*⁹ (*The Structure of the Atom*).

A maioria dos resultados obtidos pela teoria de Rutherford sobre os átomos havia sido estudada e verificada experimentalmente. Mas ainda havia a questão da estabilidade de tal sistema atômico. Pela teoria eletromagnética temos que um objeto eletricamente carregado, quando gira, à maneira do elétron em torno do núcleo, emite radiação eletromagnética, perdendo energia nesse processo. Segundo a teoria, à medida que perde energia o elétron iria espiralar para o interior até finalmente cair dentro do núcleo. Devido às dificuldades apresentadas pelo Modelo Atômico de Rutherford, sobretudo do ponto de vista da Mecânica Clássica, Bohr (1969, p. 96) afirma, em relação ao átomo de Rutherford sobre a dificuldade de “*natureza muito séria derivadas da aparente instabilidade do sistema de elétrons*”.

Rutherford estava ciente desse detalhe. Isso fica evidente na sua fala:

“[...] Bohr chamou atenção às dificuldades de construir átomos na teoria do “núcleo”, e mostrou que não podem ser deduzidas as posições estáveis dos elétrons externos pela mecânica clássica. Pela introdução de uma concepção conectada com o quantum de Planck [Teoria dos Quanta], ele mostrou sob certas condições que é possível construir átomos e moléculas simples. [...] Por enquanto pode haver muita diferença de opinião sobre a validade e do significado físico subjacente das suposições feitas por Bohr, [...] não há dúvida que as teorias de Bohr são de grande interesse e importância a todos os físicos como a primeira e definitiva tentativa de construir átomos simples e moléculas e explicar os seus espectros.” (RUTHERFORD, 1914, p. 498. Tradução nossa).

É válido lembrar que nessa época, 1913, Nels Bohr (1885-1962) já havia publicado seu famoso artigo

(*Sobre a Constituição de Átomos e Moléculas*¹⁰) na *Philosophical Magazine* onde ele mostra as dificuldades eletrostáticas desse modelo proposto por Rutherford. Ele já havia tomado conhecimento do trabalho de Bohr sobre esse fato, mas mesmo assim insistia na idéia desse tipo de átomo de acordo com as leis clássicas da Mecânica de Newton. Além desse aspecto, Rutherford insistiu também na idéia de se ter um núcleo formado por elétrons negativos e *elétrons positivos*. Fato de haver carga negativa do núcleo era porque o núcleo de elementos radioativos expelia partículas beta, que são negativas. Parece estranho falar em elétron positivo para designar a carga positiva do átomo, mas naquela época o termo próton ainda não tinha sido empregado. O núcleo de hidrogênio foi designado próton por volta de 1918 pelo próprio Rutherford. Segundo Andrade (1964, p.164-165) o núcleo de átomos de hidrogênio deveria ter uma designação especial. Ele sugeriu chamá-los de próton, ou seja, um próton é um átomo de hidrogênio que perdeu seu elétron.

Conclusões

Podemos concluir que os livros didáticos de Química, em sua maioria, apresentam certos erros quando o assunto é relacionado ao modelo atômico de Rutherford. Ocorre uma mistura de fatos que ocorreram em épocas diferentes, e que são apresentados nos livros como se tivesse ocorridos na mesma época. O professor que faz uso desse tipo de material torna-se uma vítima ao aceitar tais fatos como verdadeiros sem qualquer tipo de objeção.

A famosa experiência de Rutherford, como é mostrada nos livros didáticos de Química como sendo a responsável pela descoberta do núcleo, na realidade não foi bem dessa maneira. De acordo com o material pesquisado, a experiência foi realizada por seus dois alunos, Geiger e Marsden, a pedido do próprio Rutherford para conferir se de fato o seu arsenal matemático para a explicação dos desvios das partículas alfa estavam corretos, ou seja, uma experiência para provar os seus cálculos matemáticos. Havia um fato encontrado por Geiger e Marsden, em 1909, das experiências sobre os desvios das partículas alfa ao chocarem com a matéria. Pelo modelo atômico de Thomson não era possível tal desvio; Rutherford entra com os cálculos para explicar tais resultados estabelecendo uma teoria; Geiger e Marsden testam a teoria utilizando aquela experiência.

Os textos contendo o material histórico podem proporcionar aos alunos, por exemplo, uma visão de como a ciência foi sendo construída, as tentativas e erros dos cientistas perante algum fato que hoje

<http://physunserver.furman.edu/people/jturner/physics39/phy39.htm>. Acessado em 12/09/2005.

⁹ RUTHERFORD, E., *The Structure of the Atom: Philosophical Magazine*, series 6, volume 27, Março/1914.

¹⁰ BOHR, N. Sobre a constituição de átomos e moléculas, *Philosophical Magazine*, série 6, vol. 26, n° 151, julho de 1913. IN: *Textos Fundamentais da Física Moderna*, vol. II. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1969.

consideramos como certos, assim como, relacionar alguns fatos de hoje sobre a radioatividade no intuito de entenderem como esse conceito foi sendo construído e interpretado.

Agradecimentos

Agradecemos a CAPES pelo apoio financeiro.