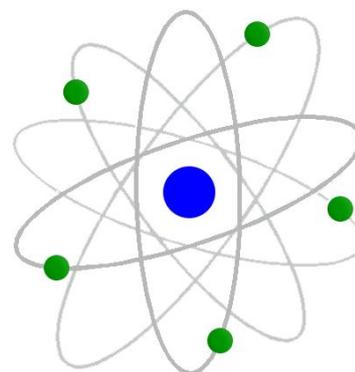
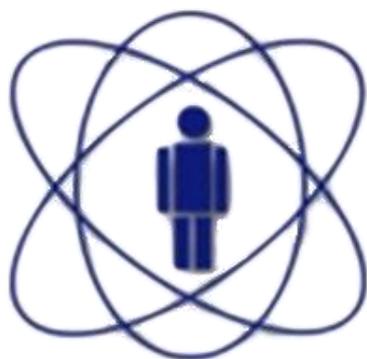


CBPF- CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS
Rio de Janeiro –RJ

Ernest Rutherford e o Átomo Nuclear

por
Odilon A. P. Tavares



Conteúdo

Prólogo	1
1. Introdução	1
2. Radiações e radioatividade.....	1
3. Primeiros modelos do átomo.....	2
4. Rutherford e as partículas alfa.....	3
5. Marsden e o retroespalhamento.....	4
6. Perrin e as dimensões atômicas	4
7. Rutherford e o núcleo atômico	5
8. Anúncio e comprovação experimental.....	6
Epílogo	7
Sugestões para leitura.....	7
Agradecimento	7

Ernest Rutherford e o Átomo Nuclear

Odilon A. P. Tavares

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF/MCT, Rio de Janeiro-RJ, Brasil

Prólogo

Comemora-se este ano o centenário da descoberta do núcleo atômico, anunciada em Manchester (Inglaterra), no início de 1911, por seu descobridor *sir* Ernest Rutherford. Este feito notável não representou apenas a inauguração de uma nova ciência, a Física Nuclear, mas constituiu-se no fundamento e na abertura do caminho para a compreensão da real estrutura dos átomos de que é feito tudo aquilo que está ao nosso redor, inclusive nós mesmos. É do núcleo atômico que emana toda a energia do Universo, e o desenvolvimento da ciência nuclear moderna nos tem feito saber que estão hoje catalogadas cerca de 3900 espécies nucleares distintas.

O presente artigo, despretensioso e de leitura fácil, foi preparado dentro do espírito de celebração pelo centenário da descoberta do núcleo atômico, a qual deu início a uma grande revolução científica e tecnológica que vem proporcionando dias melhores para o homem da atualidade.

1. Introdução

A humanidade e, de resto, toda a vida em nosso planeta, sustenta-se às custas da energia que primariamente foi e tem sido gerada, em maior escala, nas reações entre núcleos atômicos leves que estão presentes no Sol (fusão termonuclear de núcleos de hidrogênio), e, em escala bem menor, na assim chamada fissão nuclear (quebra de núcleos pesados, como os de urânio) que ocorre nos reatores nucleares das usinas de geração de eletricidade.

Mas, afinal, desde quando e como se tornaram conhecidos os núcleos atômicos? Quem os identificou como sendo a ultraminúscula região central do átomo a qual concentra toda a carga elétrica positiva e praticamente toda a massa atômica?

Cem anos exatamente se passaram desde o anúncio público pelo físico e químico neozelandês *sir* Ernest Rutherford (1871–1937), o descobridor do núcleo atômico, na reunião da Sociedade Filosófica e Literária de Manchester (Inglaterra) em 7 de março de 1911.

No presente artigo recordam-se os principais feitos que levaram os cientistas nos primeiros anos do século passado a concluir pela existência do núcleo atômico, o constituinte fundamental de toda a matéria do Universo. O conhecimento sobre o núcleo atômico e as tecnologias daí decorrentes têm proporcionado ao homem moderno desfrutar de melhor saúde, conforto e bem estar.

2. Radiações e radioatividade

Durante os últimos cinco anos do século XIX importantes descobertas, tidas mesmo como revolucionárias na ciência, foram feitas sobre fenômenos inteiramente novos, que chegaram a causar nos cientistas da época certa perplexidade, espanto e até mesmo ceticismo. Em 1896 o físico francês Antoine Henri Becquerel (1852–1908) havia descoberto um novo tipo de radiação emitida pelos sais de urânio, com características no mínimo estranhas. Tais radiações eram invisíveis, espontâneas, de origem desconhecida, atravessavam corpos opacos à luz, e impressionavam placas fotográficas, e também eram encontradas no tório e seus sais. Como a descoberta de Becquerel não houvesse produzido repercussão no meio científico, a despeito de ter sido grande novidade, logo logo ele perdeu o interesse pelo assunto.

As investigações sobre as novas radiações foram retomadas cerca de dois anos mais tarde, principalmente por um jovem neozelandês, Mestre em Ciências, Ernest Rutherford, que, tendo sido agraciado em 1895 com uma bolsa de estudante pesquisador, deslocou-se de Christchurch (Nova Zelândia) para trabalhar na Universidade de Cambridge (Inglaterra) sob a tutela do físico inglês *sir* Joseph John Thomson (1856–1940). Também, em Paris, o físico francês Pierre Curie (1859–1906) e sua mulher, a física e química polonesa Marie Skłodowska Curie (1867–1934), dedicaram-se ao estudo das radiações, chegando a descobrir em 1898 dois

novos elementos químicos, a que deram o nome de **rádio** e **polônio**, ambos fortemente emissores de radiações, por isso mesmo denominados **radioativos**. Neste mesmo ano, em Cambridge, uma das primeiras conclusões a que chegou Rutherford foi a de que as radiações do urânio eram de dois tipos bem diferentes, ambas de natureza corpuscular, a que deu o nome de **raios alfa e beta**.

Foi Henri Becquerel, entretanto, agora entusiasmado com as novidades no campo das radiações, que ele próprio havia descoberto, quem conseguiu demonstrar em 1900 que os raios beta eram idênticos (porém mais energéticos) aos corpúsculos de raios catódicos (partículas com carga elétrica negativa emitidas do cátodo) dos experimentos de *sir* J.J. Thomson de 1897. Estes o levaram a concluir que os raios catódicos eram partículas fundamentais de que os átomos eram constituídos, e deu a elas o nome de **elétrons**.

Aconteceu também em 1900 que o físico e químico francês Paul Villard (1860-1934) descobriu um terceiro tipo de radiação, de natureza não corpuscular, que emanava dos sais de urânio e rádio, a que foi dado o nome de **radiação** (ou raios) **gama**. Mais tarde, os raios gama foram identificados como sendo radiação (ou onda) eletromagnética, como a luz, porém de comprimento de onda curtíssimo.

Pelo início do século passado tornou-se evidente para alguns físicos e químicos que os átomos eram os constituintes básicos da matéria, e que estes possuíam em sua estrutura elétrons e cargas positivas, de tal modo a garantir a neutralidade dos átomos. Além disso, *sir* J.J. Thomson havia obtido de suas medidas com a válvula de raios catódicos que a massa dos elétrons era cerca de 1840 vezes menor que a do átomo de hidrogênio, o mais leve dentre as espécies atômicas. Por conseguinte, a massa total dos elétrons em qualquer átomo deveria ser uma fração muitíssimo pequena da massa deste, e que, portanto, a massa do átomo deveria estar associada à carga elétrica positiva.

Em 1898, Rutherford (então com 27 anos) aceitou um cargo de Professor na Universidade McGill, em Montreal (Canadá), onde permaneceu durante nove anos. Lá ele podia dispor de um laboratório bem equipado e um bom estoque de brometo de rádio, na época um composto raríssimo, e, por isso mesmo, bastante caro. No período em que esteve em Montreal Rutherford conheceu um químico talentoso, o inglês Frederick Soddy (1877–1956), que tornou-se seu assistente e colaborador por muitos anos. Em 1899 Rutherford descobriu um gás nobre, radioativo, que mais tarde recebeu o nome de **radônio**. Juntos, Rutherford e Soddy descobriram em

1902 a transmutação dos elementos radioativos, isto é, um elemento se transforma (ou se desintegra, ou decai) em outro em decorrência da emissão espontânea de raios alfa ou beta. É dessa época também a proposta de Rutherford da “árvore genealógica” das famílias do urânio e do tório [Fig.1]. Concluiu ainda que as partículas alfa emitidas pelo rádio ou radônio possuíam carga elétrica positiva por causa dos desvios que eram observados quando elas passavam em regiões de campos elétricos fortes. Nessa mesma época houve ainda a observação importante feita por Soddy e o químico escocês *sir* William Ramsey (1852–1916) de que o gás hélio estava sendo emitido de sais de rádio.

Elemento	Família do Urânio	Família do Tório
Urânio	UI	
Tório	UX ₁	Th
Rádio	Ra	MsTh ₁
Radônio	Rn	MsTh ₂
Polônio	RaA	ThX
Bismuto	RaC	Tn
Chumbo	RaB	ThA
	RaC'	ThC
	RaE	ThC'
	RaF	ThD (estável)
	RaG (estável)	

Fig.1 Transmutação dos elementos radioativos na “árvore genealógica” do urânio e do tório (usa-se a notação da época de Rutherford). Mediante desintegrações sucessivas alfa (setas verticais) e beta (setas inclinadas), urânio e tório acabam com o tempo transformando-se em chumbo (elemento estável), após terem gerado elementos radioativos em série (rádio, radônio, polônio, bismuto). Este foi o princípio do método que permitiu aos cientistas da época avaliarem a idade da Terra.

3. Primeiros modelos do átomo

Pelos anos 1900 alguns físicos e químicos ainda relutavam em aceitar uma estrutura corpuscular da matéria a despeito da “hipótese atômica” ter sido já desde há muito absorvida pela maioria dos químicos. Esta a razão por estar na pauta das investigações o desenvolvimento de ideias e imagens sobre a estrutura dos átomos que pudessem dar explicações satisfatórias sobre os novos resultados surpreendentes extraídos dos experimentos. Assim é que o primeiro modelo de estrutura atômica foi concebido por *sir* J.J. Thomson com a ideia de que o átomo era uma espécie de substrato de forma esférica de matéria carregada positivamente onde estariam dispersos de maneira uniforme os elétrons. Esta estrutura atômica (modelo do “pudim de passas”, como ficou conhecido) foi proposta em 1903 nas *Silliman Memorial Lectures* na Universidade de Yale (EUA), para onde Thomson costumava se deslocar. Tal modelo

permitia entender, por exemplo, a emissão de radiações por átomos de um material a alta temperatura, em decorrência das vibrações dos elétrons, como também explicar o espalhamento e a absorção da luz pelos átomos.

Em dezembro do mesmo ano em que *sir J.J. Thomson* discorria sobre sua visão do átomo em Yale, o físico japonês Hantaro Nagaoka (1865–1950) anunciava na Sociedade de Física-Matemática de Tóquio (Japão) o seu “átomo saturniano”. Este, à semelhança do planeta Saturno com seus anéis, era imaginado como um caroço central de massa elevada e carga positiva rodeado de anéis contendo os elétrons com igual espaçamento angular e deslocando-se com velocidade constante em torno do caroço central. Ambos os modelos vieram a público no prestigioso periódico *Philosophical Magazine*, o de Thomson no volume 6 de 1903, e o de Nagaoka no volume 7 de 1904.

4. Rutherford e as partículas alfa

De volta à Inglaterra em 1907, agora na Universidade de Manchester, Rutherford conseguiu reunir ao redor de si jovens talentosos e competentes que o assistiram e com ele colaboraram em uma série de experimentos com que puderam confirmar serem as partículas alfa corpúsculos de carga elétrica positiva. Um desses assistentes era o físico alemão Johannes (Hans) Geiger (1882–1945) com quem Rutherford desenvolveu um equipamento capaz de contar partículas alfa individualizadas (conhecido mais tarde como “contador Geiger”). Uma técnica alternativa

Fig.2 Instrumento que permitiu Rutherford e Royds concluir diretamente sobre a natureza das partículas alfa. Radônio purificado foi colocado no estreito tubo A de paredes suficientemente finas que deixavam partículas alfa escaparem através delas. O tubo A foi envolvido por um tubo T ligado a um sistema V de análise por espectrometria. A quantidade de gás acumulada no tubo T em dois dias foi suficiente para concluir que tratava-se do gás hélio.



para contagem de partículas alfa, entretanto, foi também aprimorada por Rutherford e Geiger quando tomaram conhecimento em 1908, através de uma carta do químico alemão Otto Hahn (1879–1968), com quem Rutherford havia também trabalhado em Montreal, que era possível visualizar sinais luminosos (cintilações) produzidos pelos raios alfa quando estes atingiam uma tela revestida com

uma camada de sulfeto de zinco (sal que possui a propriedade de luminescência). Este método simples e bem sucedido de contagem de partículas alfa tornou-se a ferramenta principal de trabalho nos experimentos que envolviam detecção de partículas alfa. E no ano seguinte (1909), com a ajuda de um outro talentoso assistente, o físico inglês Thomas Royds (1884–1955), ficaram definitivamente identificados os raios alfa como sendo átomos do gás hélio que perderam seus dois elétrons, portanto íons de carga elétrica dupla e positiva [Fig. 2].

Enquanto ainda em Montreal, Rutherford havia observado numa câmara de vácuo (caixa de onde se retirou o ar) que raios alfa estavam sendo ligeiramente desviados de sua direção inicial quando passavam através de folhas de mica muito finas (cerca de três centésimos de milímetro), uma vez que um feixe delas acabava por produzir uma mancha mal definida num filme fotográfico. Também observou que quando um feixe de raios alfa passava através de uma fenda estreita, a imagem da fenda formada pela incidência das partículas alfa sobre um filme fotográfico apresentava-se alargada, isto é, com bordas mal definidas, toda vez que se deixava um pouco de ar na câmara, demonstrando desse modo que alguns raios alfa tinham sido desviados de sua direção original em decorrência de colisões com as moléculas de ar. A mesma observação foi registrada mais tarde em Manchester por Rutherford e seus assistentes quando usaram a tela de sulfeto de zinco. Numa câmara de vácuo, quando um feixe de raios alfa passava por um pequeno orifício circular, quer dizer, feixe bem colimado, as cintilações eram observadas numa área circular bem definida e de diâmetro igual ao do orifício. Entretanto, quando uma folha finíssima de mica era interposta entre o orifício e a tela, a região onde ocorriam as cintilações tornava-se maior, com bordas não bem definidas, mostrando de novo que parte das partículas alfa era desviada de sua direção original [Fig.3].

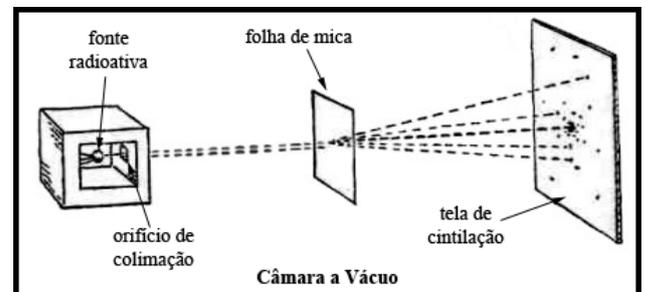


Fig.3 Esquema utilizado por Rutherford em experimentos que demonstravam que um pequeno número de partículas alfa de um feixe colimado era desviado de sua direção original quando passava através de uma lâmina de mica finíssima.

5. Marsden e o retroespalhamento

Não conseguindo uma explicação convincente para aquelas observações intrigantes, em 1909 Rutherford confiou a um jovem estudante, o físico inglês-neozelandês Ernest Marsden (1889–1970), a tarefa de procurar por partículas alfa defletidas em ângulos bem maiores que uns 10° . Marsden, ao invés de usar folhas de mica, serviu-se de folhas finíssimas de ouro, e para detectar as partículas alfa montou uma tela com sulfeto de zinco que podia mover-se em todas as posições, na frente, dos lados e até mesmo na região da câmara próximo ao feixe incidente, atrás do alvo de ouro. Com auxílio de uma luneta focalizada sobre a tela era possível observar numa sala adequadamente escurecida os pontos luminosos individualizados os quais indicavam o número de partículas alfa desviadas em determinado ângulo de desvio em relação à direção de incidência [Fig.4]. A tarefa era cansativa aos olhos, de modo que após poucos minutos Rutherford e Marsden trocavam de função, isto é, enquanto um observava os sinais luminosos o outro fazia as anotações. Para perplexidade de todos, Marsden descobriu que umas poucas partículas alfa eram lançadas para trás, atingindo a tela de cintilações quando esta estava próxima da região do feixe incidente, isto é, estavam sendo desviadas por um ângulo bem maior que 90° , ou seja, elas estavam sendo literalmente “refletidas” por uma finíssima folha de ouro. A novidade foi divulgada por Geiger e Marsden em 1909, porém nenhum daqueles do grupo de Rutherford (nem mesmo este) pôde entender aqueles eventos raros, ao mesmo tempo intrigantes, surpreendentes e enigmáticos.

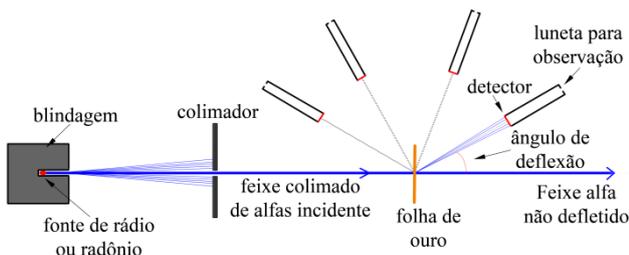


Fig.4 Arranjo do experimento de Marsden para contar partículas alfa defletidas em diferentes ângulos.

6. Perrin e as dimensões atômicas

Um ano antes, em Paris, o físico francês Jean Perrin (1870–1942) usando de habilidade inigualável numa série de experimentos em que investigou a deposição de moléculas de goma-guta (espécie de resina) de mesmo tamanho e massa em suspensão na água, teve a idéia de que o movimento de agitação dessas partículas

(conhecido por **movimento browniano**, descoberto em 1827 pelo botânico e físico escocês Robert Brown (1773–1858)) podia ser descrito à semelhança de moléculas pesadas de um gás. Perrin pode assim obter a equação de equilíbrio das partículas em suspensão, onde nela figurava explicitamente uma quantidade fundamental, o número de Avogadro, N_A . Este representa o número de átomos (ou moléculas) contido em uma quantidade de substância igual à sua massa atômica (ou molecular) expressa em grama (por exemplo, 197 gramas de ouro ou 27 gramas de alumínio contêm o mesmo número N_A de átomos). De uma série de medidas efetuadas com extrema paciência Perrin foi capaz de obter para N_A o resultado $6,7 \times 10^{23}$ (o valor atualmente aceito é $6,022 \times 10^{23}$). Com seu trabalho tornado público em 1908, ninguém mais duvidou da veracidade da teoria atômica da matéria. Além disso, com o valor de N_A foi possível estimar a real dimensão dos átomos. No caso do ouro, por exemplo, com densidade de matéria cerca de 19 gramas/cm³, o volume ocupado por um só átomo é estimado da ordem de 10^{-23} cm³, e supondo possuir o átomo forma esférica, seu raio está bem próximo de 2×10^{-8} cm, isto é, cerca de 2 centésimos de milionésimo de centímetro.

Ora, as folhas de ouro utilizadas pelo grupo de Rutherford em Manchester eram de espessuras da ordem de 30 a 50 milionésimos de centímetro, de tal modo que naquelas folhas de ouro caberiam em média pouco mais de mil camadas de átomos de ouro. Assim, as partículas alfa ao atravessarem folhas de ouro como aquelas deveriam sofrer desvios múltiplos por encontrarem um grande número de átomos à sua frente. Além disso, em cada átomo, o espalhamento de partículas com carga elétrica positiva resultaria de dois efeitos, o da repulsão pela carga positiva do átomo e o da atração pelos elétrons. Rutherford e Geiger conseguiram demonstrar que se o modelo atômico de Thomson (aquele do “pudim de passas”) fosse admitido como correto, o número de partículas alfa desviadas em ângulos maiores do que $\sim 10^\circ$ tornar-se-ia nulo, o que estava em contradição com as observações. O modelo de Thomson, que implicava espalhamentos múltiplos, não conseguia definitivamente dar conta de explicar o desvio das partículas alfa em direções bem afastadas da do feixe incidente; tão pouco seria possível para aquelas espalhadas para trás. Por esta razão a ideia do átomo “pudim de passas” teve de ser abandonada, e uma nova imagem para o átomo que desse conta daquelas observações tornava-se imprescindível.

7. Rutherford e o núcleo atômico

Ao final de 1910 Rutherford conseguiu vislumbrar o que significavam aqueles retroespalhamentos de partículas alfa quando elas incidiam sobre folhas de ouro finíssimas. E então formulou sua teoria do espalhamento alfa segundo a qual, em essência, considerava que a deflexão era o resultado de uma única interação entre a partícula alfa (com dupla carga elétrica positiva) e a carga positiva do átomo, porém agora estando esta supostamente concentrada em uma minúscula região central do átomo, o **núcleo atômico**. Os elétrons, por sua vez, estariam orbitando ao redor do núcleo, como um sistema planetário, numa região esférica de raio comparável ao tamanho do átomo. A deflexão provocada eventualmente pela força atrativa entre a partícula alfa incidente e os elétrons podia ser considerada desprezível, seja porque a velocidade com que se aproximava era extremamente elevada (~15.700 quilômetros por segundo) ou porque a massa dos elétrons era mais do que sete mil vezes menor que a das partículas alfa. Rutherford supôs também que o núcleo atômico, considerado o centro do espalhamento, não experimentava nenhum recuo (ou retrocesso) em virtude de quase toda a massa do átomo estar nele concentrada (no caso do ouro, a massa do núcleo chega a ser quase cinquenta vezes maior que a da partícula alfa). Por último, a força de repulsão resultante das cargas elétricas positivas da partícula alfa e do núcleo atômico, ambos considerados no modelo como centros de carga puntiformes, seguia a lei da variação com o inverso do quadrado da distância entre os centros de carga.

A hipótese de Rutherford de um centro espalhador, o núcleo do átomo, para explicar a deflexão das partículas alfa em ângulos grandes, inclusive o retroespalhamento, mediante um único e raro embate repulsivo entre estas e aquele é inteiramente compatível com a observação de que a grande maioria das partículas alfa incidentes passava pela lâmina de ouro sem sofrer desvios (ou experimentavam desvios mínimos, de menos de $\sim 1^\circ$), como se a lâmina fosse transparente a elas [Fig.5]. De fato, para as lâminas de ouro utilizadas pelo grupo de Rutherford pode-se estimar em $\sim 6 \times 10^{-10}$ cm a distância média entre os núcleos atômicos como visto pelas partículas alfa incidentes [Fig.6]. Isto significava que a chance de uma partícula alfa passar nas proximidades de um núcleo (e, portanto, sofrer deflexão) era bastante pequena, mais raro ainda seria uma aproximação quase de frente contra o núcleo, com o consequente retroespalhamento. Embora pequenas, essas chances eram, entretanto, não nulas, em conformidade com o que era observado (recorda-se que Marsden registrou um único retroespalhamento em 20000 alfas!). Quanto mais

próximo do núcleo fosse a direção de incidência (em outras palavras, melhor “pontaria”) maior seria o ângulo de deflexão, e mais raros seriam esses eventos, até a situação extrema em que elas retrocederiam praticamente na direção original [Fig.7].

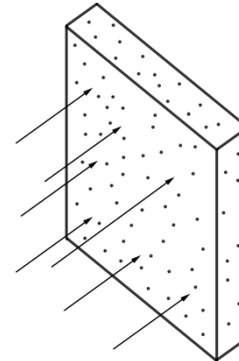


Fig.5 Feixe de partículas alfa (setas) incidindo perpendicularmente sobre uma folha de ouro de espessura equivalente a ~ 1200 camadas atômicas. Pontos indicam os centros de espalhamento (núcleos).

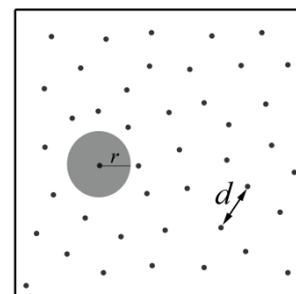


Fig.6 O feixe de alfas incidente vê os núcleos como que afastados uns dos outros em média por uma distância de uns 6×10^{-10} cm; o número de partículas alfa que incidem numa região circular de raio r em torno de um núcleo é proporcional à área desse círculo.

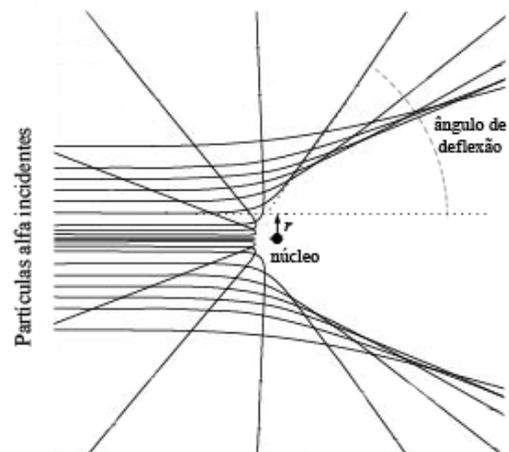


Fig.7 Quanto melhor a “pontaria” (menor o valor de r) mais raras serão as deflexões de ângulo grande (para trás).

Com sua teoria do espalhamento alfa Rutherford pode calcular com relativa facilidade quão próximo do núcleo atômico poderiam chegar as partículas alfa, situação extrema na qual estariam sofrendo uma deflexão de 180° , possibilitando assim obter uma estimativa para a dimensão nuclear. Sua primeira avaliação deu como resultado $6,6 \times 10^{-12}$ cm, deixando-o completamente atônito. Tal resultado estava indicando que o tamanho do núcleo atômico podia ser avaliado em 10^{-12} cm, isto é, cerca de vinte mil vezes menor que a dimensão do próprio átomo. Mais ainda, significava que o núcleo atômico ocupava uma fração ínfima do volume do átomo, cerca de um décimo de trilionésimo deste, entretanto, contendo o núcleo praticamente toda a massa do átomo. Tais conclusões causaram em todos verdadeiro impacto.

Coincidentemente, Nagaoka estava nesta ocasião em viagem pela Europa inteirando-se dos progressos da ciência, e em fins de 1910 passou por Manchester onde foi recebido muito cordialmente por Rutherford. Certamente Nagaoka fez-lhe saber sua antiga imagem sobre a estrutura atômica (seu “átomo saturniano”). Por ocasião dessa visita a hipótese do átomo nuclear já havia sido experimentalmente confirmada. Em carta a Rutherford de fevereiro de 1911, Nagaoka relata que ficou bastante bem impressionado com a simplicidade do equipamento utilizado nos experimentos de deflexão alfa que permitiram obter resultados realmente esplêndidos e fundamentais para o conhecimento sobre o interior do átomo.

8. Anúncio e comprovação experimental

Apresentado a público pela primeira vez no dia 7 de março de 1911 na Sociedade Filosófica e Literária de Manchester, a teoria do átomo nuclear de Rutherford viria a ser publicada com pormenores em maio seguinte no volume 21 do *Philosophical Magazine*. O que fez o modelo nuclear do átomo prevalecer sobre os de Thomson (1903) e Nagaoka (1904) foi o fato de ser capaz de explicar quantitativamente os resultados das observações sobre o espalhamento de partículas alfa por lâminas metálicas finíssimas.

Durante os dois anos seguintes Geiger e Marsden fizeram inúmeros testes experimentais sobre o espalhamento alfa. Eles utilizaram lâminas de prata, estanho, cobre, ouro e alumínio de diversas espessuras, partículas alfa com diferentes velocidades de incidência (fontes de rádio e radônio), e ângulos de espalhamento que cobriam o largo intervalo de 5° a 150° [Fig.8]. Em todas as situações resultou comprovada a teoria de

Rutherford com a hipótese do núcleo atômico. Apenas pequenas diferenças foram notadas no caso dos alvos de alumínio, ou quando a velocidade das alfas era suficientemente elevada.

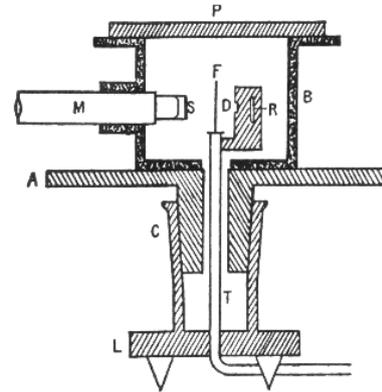


Fig.8 Esquema do aparelho utilizado por Geiger e Marsden em 1913 para comprovar a hipótese do átomo nuclear segundo a teoria de Rutherford. B é uma câmara contendo a fonte de alfas (R), a folha metálica finíssima (F) (ambas fixas), e a tela de cintilação (S) acoplada à luneta de observação (M). O sistema SM pode girar permitindo fazer contagens de alfas em diferentes ângulos de deflexão (o ar da câmara é retirado através do tubo T).

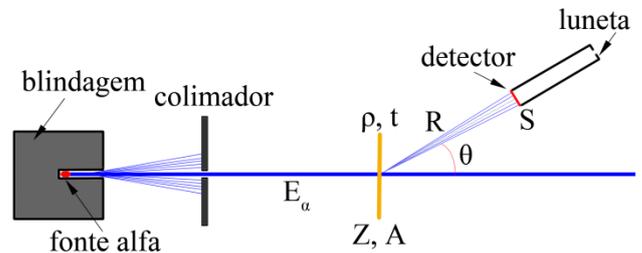


Fig.9 Grandezas físicas e geométricas que entram na fórmula de Rutherford para a deflexão de partículas alfa em lâminas metálicas finíssimas.

Nos experimentos para testar o modelo de Rutherford o que se fez foi contar o número de partículas alfa defletidas num certo ângulo θ em relação à direção de incidência utilizando um detector de cintilação (sulfeto de zinco) de área S conhecida, colocado numa distância R do centro espalhador [Fig.9]. Se Q representar o número total de partículas alfa de energia E que incidem perpendicularmente sobre uma lâmina metálica de espessura t , densidade ρ , carga elétrica nuclear Z , e massa atômica A , Rutherford encontrou para o número de partículas alfa defletidas por unidade de área do detector, N/S , o resultado

$$N/S = C \cdot Q \cdot \frac{\rho}{A} \cdot \frac{t}{R^2} \cdot \frac{Z^2}{E^2} \cdot \frac{1}{\sin^4(\theta/2)}$$

válido para ângulos $\theta \gtrsim 1^\circ$, onde ρ vem expresso em grama/cm³, t e R em cm, S em cm², A em grama, E em MeV (milhão de eletrôntv), e $C = 3,12 \cdot 10^{-3} \text{ MeV}^2 \cdot \text{cm}^2$ (para partículas alfa, energia expressa em MeV se relaciona a velocidade expressa em km/s de acordo com $v = 6945\sqrt{E}$). A famosa fórmula de Rutherford (1910) mostra que a quantidade N/S resulta proporcional

- i) ao número de núcleos por unidade de volume (por estar diretamente relacionado à razão ρ/A do material);
- ii) à espessura da lâmina (contanto que fosse finíssima);
- iii) ao inverso do quadrado da distância do detector ao centro espalhador;
- iv) ao quadrado da carga elétrica do núcleo;
- v) ao inverso do quadrado da energia cinética da partícula alfa incidente (o que é o mesmo que proporcional ao inverso da 4ª potência da velocidade da partícula alfa);
- vi) ao inverso da 4ª potência do seno da metade do ângulo de deflexão (contanto que fosse $\theta \gtrsim 1^\circ$).

Também, a partir da expressão geral obtida pela primeira vez por Rutherford, pode-se calcular o número esperado de partículas alfa defletidas para trás, isto é, aquelas que deveriam ser observadas em ângulos de deflexão $\theta > 90^\circ$ (o retroespalhamento, notado pela primeira vez por Marsden e Geiger em 1909). O resultado é o seguinte:

$$N_{\theta > 90^\circ} = C' \cdot Q \cdot \frac{\rho t}{A} \cdot \frac{Z^2}{E^2}$$

onde $C' = 3,9 \cdot 10^{-2} \text{ MeV}^2 \cdot \text{cm}^2$. Assim, por exemplo, para uma lâmina de ouro ($\rho=19,3 \text{ g/cm}^3$, $Z=79$, $A=197\text{g}$) de espessura $4 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$, partículas alfa de energia incidente $E=4 \text{ MeV}$ deveriam ser retroespalhadas na proporção de 3 para 50000! (O que de fato se verificou nos experimentos).

Epílogo

O conceito nuclear de átomo, isto é, um ultraminúsculo centro contendo a carga elétrica positiva e praticamente toda a massa do átomo, sustentou-se por estar completamente de acordo com a experimentação. Depois, percebeu-se que o modelo continha sérias limitações como i) falha na explicação de desvios em ângulos muito pequenos ($<1^\circ$); ii) não levava em conta outras forças além da repulsão eletrostática, as quais eventualmente pudessem atuar a distâncias bem próximas do núcleo, e, sobretudo, iii) o comprometimento da estabilidade atômica, uma consequência da emissão de radiação pelos elétrons em seus movimentos ao redor do núcleo, o que os levaria a perder velocidade

progressivamente seguindo então uma trajetória espiralada até caírem definitivamente no núcleo, o que na realidade não ocorre. Estas, contudo, em nada diminuíram o mérito da conclusão a respeito da presença de um núcleo no átomo, imagem que permanece absolutamente correta até os dias de hoje. Rutherford, ao contrário de Thomson e Nagaoka, percebeu que o átomo deveria ser em realidade um grande vazio, e que sua essência (carga e massa) estaria na minúscula região central, a que deu o nome de **núcleo atômico** (a desidade de matéria do núcleo atômico é estimada em 100 milhões de toneladas por cm³).

De personalidade que impressionava a todos, por seus feitos pioneiros na ciência nuclear, Ernest Rutherford – prêmio Nobel de Química de 1908 e, mais tarde, barão Rutherford de Nélson – encontra-se, segundo o astrofísico norte-americano Michael Hart, entre os 60 primeiros personagens que mais exerceram influência nos destinos da humanidade e, para o jornalista de ciência norte-americano John Simmons, entre os 20 mais importantes cientistas de todas as áreas do conhecimento e de todos os tempos. Sem dúvida, uma bela trajetória para um menino pobre que nasceu em Spring Grove, na província rural de Nélson, na Nova Zelândia, filho de um mecânico e uma professora primária.

Sugestões para leitura

RUTHERFORD, E.; CHADWICK, J.; ELLIS, C.D. Radiations from radioactive substances (Cambridge (Inglaterra): Cambridge University Press, 1930), Cap. I, II e VIII.

SEGRÈ, E. Dos raios X aos quarks: físicos modernos e suas descobertas (Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1980), Cap. III e VI.

PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE-PSSC Física, Parte IV (São Paulo: Edart Livraria Editora, 1967), Cap.32.

EISBERG, R.M. Fundamentos da Física Moderna (Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1979), Cap. 4

CLOSE, F.; MARTEN, M.; SUTTON, C. The particle explosion (Oxford: Oxford University Press, 1987), Cap. 2

Na Internet

Ernest Rutherford,

www.nobel-winners.com/Chemistry/ernest_rutherford.html

Agradecimento - *É gratificante ter podido contar com o Prof. Emil Medeiros na revisão minuciosa dos originais, pelo que o autor muito agradece. É um prazer também agradecer a José Guilherme T. Monteiro por seu empenho na preparação competente das ilustrações e na formatação no texto.*