



Desde o início dos tempos, o ser humano procura entender as leis que regem a natureza e se pergunta de que são feitas as coisas. Já na Grécia Antiga, por volta de 450 a.C., Demócrito propôs que a matéria não seria divisível infinitamente e que deveria existir um constituinte fundamental de cada tipo de matéria, que chamou de átomo.

A partir desses tijolos fundamentais, seriam formados os materiais, ideia que o químico e físico inglês John Dalton (1766-1844) retomou por volta de 1800, associando diferentes átomos a cada elemento químico.

Mas, na última década do século 19, as descobertas do elétron e do fenômeno da radioatividade natural trouxeram de volta a pergunta: “Como será mesmo o átomo?”.

Contamos, neste folder, a história da descoberta do núcleo atômico feita pelo físico de origem neozelandesa Ernest Rutherford (1871-1937), acontecimento que está completando cem anos este ano. Esse resultado abriu as portas para o estudo das partículas elementares, área que dominou a física no século passado e que culminará – quem sabe? – com a descoberta da última peça do quebra-cabeças, o bóson de Higgs, partícula que, tudo indica, é a responsável por dar, à matéria, a propriedade que denominamos massa.

Mas será mesmo a última peça? Ou continuaremos a ter surpresas?

Com este folder, damos prosseguimento às atividades de divulgação científica realizadas pelo CBPF. Esta série destina-se ao público não especializado, que encontrará aqui não só uma descrição fascinante da descoberta do núcleo atômico, mas também sugestões para leituras mais aprofundadas sobre o tema.

Mais uma vez, esperamos que esta iniciativa sirva para despertar vocações, mostrando a jovens estudantes como a ciência pode ser interessante.

Aperte os cintos e boa viagem ao interior da matéria!

João dos Anjos

COORDENADOR DO PROJETO DESAFIOS DA FÍSICA

PRESIDENTA DA REPÚBLICA
Dilma Rousseff

MINISTRO DE ESTADO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Aloizio Mercadante Oliva

SUBSECRETÁRIO DE COORDENAÇÃO DAS UNIDADES DE PESQUISA
Arquimedes Diógenes Ciloni

DIRETOR DO CBPF (interino)
Ivan dos Santos Oliveira Júnior

COORDENAÇÃO DO PROJETO DESAFIOS DA FÍSICA
João dos Anjos (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas/MCTI)

REDAÇÃO E EDIÇÃO CIENTÍFICA
Odilon A. P. Tavares (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas/MCTI)

EDIÇÃO DE TEXTO
Cássio Leite Vieira (Instituto Ciência Hoje)

PROJETO GRÁFICO, DIAGRAMAÇÃO, INFOGRÁFICOS E TRATAMENTO DE IMAGEM
Ampersand Comunicação Gráfica
(www.amperdesign.com.br)

CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS
Rua Dr. Xavier Sigaud, 150
22290-180 - Rio de Janeiro - RJ
Tel: (0xx21) 2141-7100
Fax: (0xx21) 2141-7400

Internet: <http://www.cbpf.br>

Para receber gratuitamente pelo correio um exemplar deste folder, envie pedido pelo sítio do projeto Desafios da Física (<http://mesonpi.cat.cbpf.br/desafios/>), onde estão disponíveis, em formato PDF, todos os folders da série. No portal <http://www.cbpf.br/Publicacoes.html>, estão disponíveis outras iniciativas de divulgação científica do CBPF.



Ministério da
Ciência, Tecnologia
e Inovação



NÚCLEO ATÔMICO

100 anos da descoberta
do centro da matéria

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

2011

Sumário

FEITO NOTÁVEL
Região ultraminúscula
Tudo ao nosso redor
Energia para a humanidade

RADIAÇÕES E
RADIOATIVIDADE
Perplexidade e ceticismo
Rádio e polônio
Rumo à Europa
Alfa e beta

NO CANADÁ
Teoria da transmutação
Carga positiva
Mancha mal definida

PARTÍCULAS ALFA
Contando raios alfa
Hélio sem elétrons
Bordas sem definição

EXPERIMENTO
ENGENHOSO
Alvo de ouro
Perplexidade de todos
Pudim de passas

A DESCOBERTA
DO NÚCLEO
Minúscula região central
Sem recuo
Como lâmina transparente
Pequena chance
Um em 20 mil

O NOVO MODELO
Explicação quantitativa
Limitado, mas correto
Grande vazio

RECONHECIMENTO E FAMA
De garoto pobre a nobre
Ao lado de Newton e Darwin

Fontes

TAVARES, O. A. P. '100 anos com o núcleo atômico'. *Ciência Hoje* v. 47, n. 278 (2011).

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

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

Na Internet:

Ernest Rutherford: www.nobel-winners.com/Chemistry/ernest_rutherford.html

Núcleo atômico
100 anos da descoberta do centro da matéria

FEITO NOTÁVEL

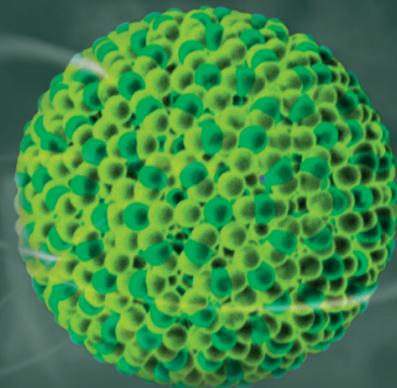
Região ultraminúscula • Em 7 de março de 1911, em uma reunião da Sociedade Filosófica e Literária de Manchester (Inglaterra), um anúncio feito pelo físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937) mudaria os destinos da humanidade: o átomo é dotado de uma carga elétrica concentrada em uma região ultraminúscula, envolvida por uma distribuição esférica uniforme de eletricidade oposta e de igual quantidade. Dois meses depois, o modelo do átomo nuclear estava publicado com pormenores no volume 21 do *Philosophical Magazine*, mostrando que o núcleo atômico concentra toda a carga elétrica positiva e praticamente toda a massa do átomo.

Tudo ao nosso redor • Desde então, esse conhecimento e as tecnologias daí decorrentes têm possibilitado à humanidade desfrutar de melhor saúde, conforto

e bem-estar. Essa descoberta notável representou não só a inauguração de uma nova ciência, a física nuclear, mas também o fundamento e a abertura do caminho para a compreensão da real estrutura dos átomos, constituintes de tudo aquilo ao nosso redor – inclusive nós mesmos.

Energia para a humanidade • A vida em nosso planeta se sustenta à custa da energia que prima-

riamente foi e tem sido gerada, em maior escala, no Sol, por meio da chamada fusão termonuclear (reações entre núcleos atômicos leves) e, em escala bem menor, na fissão nuclear (quebra de núcleos pesados, como os de urânio) que ocorre nos reatores nucleares das usinas de geração de eletricidade. Mas desde quando e como se tornaram conhecidos os núcleos atômicos?



NO CANADÁ

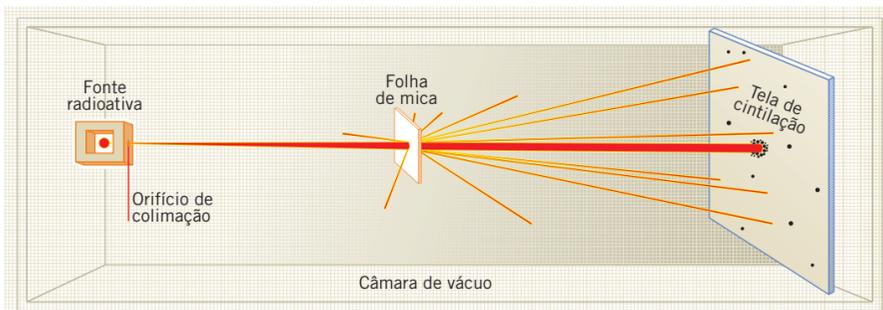
Teoria da transmutação • Sem perspectivas de obter colocação acadêmica em Cambridge, Rutherford se transferiu, em 1898, para a Universidade McGill, em Montreal (Canadá), onde permaneceu por nove anos. Lá, descobriu um gás nobre, radioativo, mais tarde denominado radônio. Quatro anos depois, ele e o químico inglês Frederick Soddy (1877-1956) descobriram que um elemento se transforma – ou decai, ou transmuta – em outro em decorrência da emissão espontânea de raios alfa ou beta, teoria batizada transmutação dos elementos radioativos.

Carga positiva • Rutherford concluiu que as partículas alfa emitidas pelo rádio ou radônio tinham carga elétrica positiva, por causa dos desvios observados quando elas passavam em regiões de campos elétricos fortes.

Mancha mal definida • Também em Montreal, Rutherford observou 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 em um filme fotográfico. Essa observação ocupou a mente de Rutherford por quatro anos e foi crucial para a descoberta do núcleo.

PARTÍCULAS ALFA

Contando raios alfa • Já mundialmente famoso por seus estudos sobre radioatividade, Rutherford volta à Inglaterra em 1907. Está agora na Universidade de Manchester, onde se cercou de colaboradores jovens e talentosos. Ele e seu novo assistente, o físico alemão Hans Geiger (1882-1945), tomaram conhecimento, em 1908, de que era possível visualizar sinais luminosos (cintilações) produzidos por raios alfa quando estes atingiam uma tela revestida com sulfeto de zinco (sal luminescente). A partir desse fenômeno, desenvolveram um método simples e bem sucedido de contagem de partículas alfa que se tornou a ferramenta principal em experimentos que envolviam detecção desse tipo de radiação.



Hélio sem elétrons • Em 1909, com a ajuda do físico inglês Thomas Royds (1884-1955), Rutherford identificou definitivamente os raios alfa como sendo átomos do gás hélio que perderam seus dois elétrons – portanto, íons de carga elétrica dupla e positiva.

Bordas sem definição • Quando ainda em Montreal, as pequenas deflexões observadas com folhas de mica voltariam a ser tema de investigação. Rutherford e seus assistentes observaram que, quando uma folha finíssima de mica era interposta entre um feixe de partículas alfa e uma tela de sulfeto de zinco, a região nesta última onde ocorriam as cintilações se tornava maior, com bordas não bem definidas, mostrando que parte das partículas alfa era desviada de sua direção original. Essa deflexão era intrigante.

RADIAÇÕES E RADIOATIVIDADE

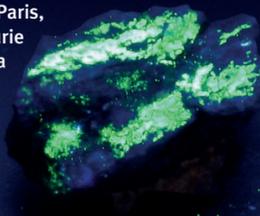
Perplexidade e ceticismo • No final do século 19, a descoberta de novos fenômenos causou perplexidade (e até ceticismo) nos cientistas da época. Uma delas foi feita, em 1896, pelo físico francês Antoine Henri Becquerel (1852-1908), que anunciou a existência de radiações emitidas pelos sais de urânio, com características no mínimo estranhas: eram invisíveis, espontâneas e de origem desconhecida. Atravessavam corpos opacos à luz e deixavam marcas em placas fotográficas. Eram também encontradas no elemento químico tório e em seus sais.

Rádio e polônio • Em Paris, o físico francês Pierre Curie (1859-1906) e sua mulher, a física e química polonesa Marie Skłodowska Curie (1867-1934), se dedicaram ao estudo das radiações, chegando a descobrir, em 1898, dois novos

elementos químicos, por eles batizados rádio e polônio, ambos fortemente emissores de radiações – daí denominados radioativos.

Rumo à Europa • Com uma bolsa de estudos, o jovem Rutherford chegou, em 1895, à Universidade de Cambridge (Inglaterra), para trabalhar sob a tutela do físico inglês Joseph John Thomson (1856-1940), que, dois anos depois, descobriria a primeira partícula subatômica, o elétron.

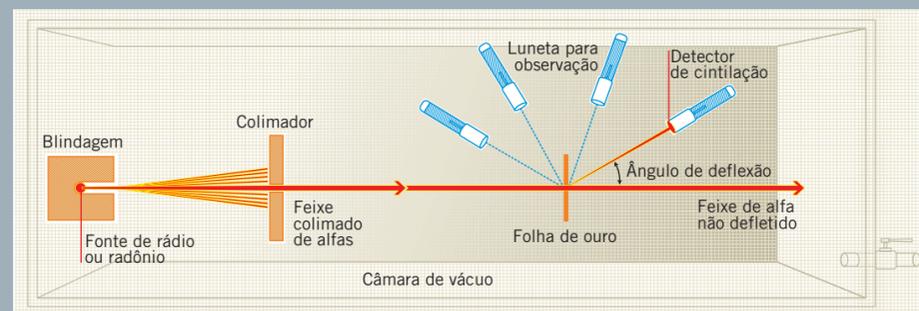
Alfa e beta • Rutherford se dedicou ao estudo das radiações do urânio e mostrou, em 1898, que esse elemento emitia dois tipos de radiação, ambas de natureza corpuscular. Deu a elas o nome raios alfa (os facilmente absorvidos) e beta (aqueles com maior poder de penetração). Em Paris, Becquerel, entusiasmado com as novidades no campo das radiações, conseguiu demonstrar, em 1900, que os raios beta eram, na verdade, elétrons energéticos.



EXPERIMENTO ENGENHOSO

Alvo de ouro • Em 1909, Rutherford incumbiu um jovem estudante, o físico anglo-neozelandês Ernest Marsden (1889-1970), de procurar por partículas alfa defletidas em ângulos bem maiores que uns 10 graus. Marsden, no lugar da mica, usou folhas finíssimas de ouro. Para detectar alfas, montou uma tela com sulfeto de zinco que podia se mover em todas as direções em torno do centro das deflexões das partículas alfa.

Perplexidade de todos • Para perplexidade de todos, Marsden descobriu que umas poucas partículas alfa eram lançadas para trás, atingindo a tela de cintilações perto da região da fonte. Essas partículas estavam sen-



do desviadas por um ângulo bem maior que 90 graus, ou seja, elas estavam sendo literalmente refletidas por uma finíssima folha de ouro.

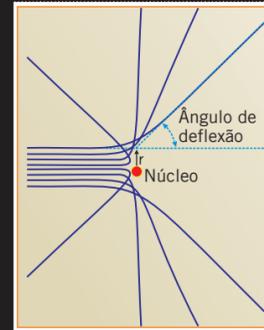
Pudim de passas • Rutherford e Geiger conseguiram demonstrar que, se o modelo atômico de Thomson (aquele do 'pudim de passas') estivesse correto, o número de partículas alfa desviadas em ângulos maiores do que cerca de 10 graus iria se tornar nulo – o que contradizia as observações. O modelo de Thomson implicava que uma partícula alfa, ao atravessar uma folha finíssima de algum material, sofreria deflexões múltiplas, isto é, vários pequenos desvios por causa das colisões contra as cargas positivas (no caso, o substrato do pudim) e os elétrons dos átomos das várias camadas que compunham a finíssima lâmina. Então, a partícula alfa sairia, do outro lado, praticamente na direção de incidência sobre a folha, com desvios não maiores do que uns 3 graus. Essa descrição não conseguia dar conta de explicar os grandes e raros desvios observados por Marsden – tão pouco os raríssimos retroespalhamentos.

A DESCOBERTA DO NÚCLEO

Minúscula região central • Ao final de 1910, Rutherford encontrou significado para as deflexões em grandes ângulos e mesmo os retroespalhamentos. Formulou, então, sua teoria do espalhamento alfa, que, 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, esta agora estaria concentrada em uma minúscula região central do átomo, o núcleo atômico. Os elétrons, por sua vez, estariam orbitando o núcleo (como um sistema planetário), em uma região esférica de raio comparável com o tamanho do átomo – que à época se sabia ser aproximadamente 2×10^{-8} cm.

Sem recuo • Rutherford supôs também que o núcleo atômico não sofria 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 50 vezes maior que a da partícula alfa.

Como lâmina transparente • A hipótese de Rutherford do núcleo do átomo era inteiramente compatível com a observação de que a grande maioria das par-



tículas alfa incidentes passava pela lâmina de ouro sem sofrer desvios apreciáveis, como se a lâmina fosse transparente a elas.

Pequena chance • De fato, para as lâminas de ouro usadas nos experimentos, pode-se estimar em aproximadamente 6×10^{-10} cm a distância média entre os núcleos atômicos como visto pelas partículas alfa incidentes. Isso significava

que a chance de uma partícula alfa passar nas proximidades de um núcleo – e, portanto, sofrer deflexão – era bem pequena. Mais rara ainda seria um choque quase frontal contra o núcleo, com o conseqüente retroespalhamento.

Um em 20 mil! • Embora pequenas, as chances de deflexão a grandes ângulos ou retroespalhamento não eram nulas, em conformidade com o que era observado – ressaltando-se que Marsden registrou um único retroespalhamento em 20 mil alfas! Quanto mais próximo do núcleo fosse a direção de incidência (em outras palavras, melhor 'pontaria'), maior seria o ângulo de deflexão, sendo os eventos mais raros aqueles em que a partícula alfa seria ricocheteadada praticamente na direção original do feixe.



O NOVO MODELO

Explicação quantitativa • O que fez o modelo nuclear do átomo prevalecer sobre o 'pudim de passas' de Thomson (1903) e o 'modelo saturniano' do físico japonês Hantaro Nagaoka (1904) – neste último modelo, elétrons orbitavam um núcleo de grandes proporções – foi o fato de ele ser capaz de explicar quantitativamente o espalhamento a ângulos grandes de partículas alfa por lâminas metálicas finíssimas.

Limitado, mas correto • Depois, se percebeu que o modelo tinha sérias limitações, como: i) não explicava desvios em ângulos muito pequenos (menores que 2 graus); ii) não levava em conta a chamada força forte nuclear – que mantém as partículas nucleares coesas –, pois esta só foi proposta bem

mais tarde; iii) e, sobretudo, o modelo comprometia a estabilidade atômica, pois, segundo leis da física, elétrons, ao orbitarem o núcleo, emitiriam radiação, o que os levaria a perder progressivamente velocidade, seguindo então trajetória espiralada, até cair definitivamente no núcleo – o que, na realidade, não ocorre.

Grande vazio • As limitações, contudo, não diminuíram o mérito da conclusão sobre a presença de um núcleo no átomo, imagem que permanece absolutamente correta até hoje. Rutherford, ao contrário de Thomson e Nagaoka, percebeu que o átomo deveria ser um grande vazio, com sua carga positiva e massa concentradas no núcleo – de dimensão por ele estimada em 10^{-12} cm, contendo 99,97% da massa do átomo. A densidade de matéria do núcleo atômico pode ser, portanto, estimada em impressionantes 100 milhões de toneladas por cm³.

RECONHECIMENTO E FAMA

De garoto pobre a nobre • Por seus feitos pioneiros na ciência nuclear, Rutherford – prêmio Nobel de Química de 1908 e, mais tarde, barão Rutherford de Nélson – se encontra, segundo o astrofísico norte-americano Michael Hart, entre os 60 primeiros personagens que mais exerceram influência nos destinos da humanidade. Para o jornalista de ciência norte-americano John Simmons, ele está entre os 20 mais importantes cientistas de todas as áreas do conhecimento e de todos os tempos.

Ao lado de Newton e Darwin – Sem dúvida, 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. Rutherford, admirado por sua personalidade e caráter, está sepultado na Abadia de Westminster, em Londres, ao lado de dois gigantes da ciência britânica, o físico Isaac Newton (1642-1727) e o naturalista Charles Darwin (1809-1882).

