

# CONSTITUINTES DO ÁTOMO: 4

O NÚCLEO

Sérgio R. Muniz

## 4.1 Introdução

## 4.2 Descoberta do Núcleo atômico

### 4.2.1 Ernest Rutherford

### 4.2.2 Espalhamento de partículas

### 4.2.3 Experimento de Rutherford

## 4.3 O núcleo atômico

### 4.3.1 A descoberta do Nêutron

### 4.3.2 As interações nucleares

### 4.3.3 Estabilidade do nêutron

### 4.3.4 Notação química e isótopos

### 4.3.5 Estabilidade do núcleo

## 4.4 Decaimento nuclear e radioatividade

### 4.4.1 Decaimento alfa

### 4.4.2 Decaimento beta

### 4.4.3 Decaimento gama

### 4.4.4 Radioatividade Natural

### 4.4.5 Tempo de vida e meia-vida dos radioisótopos

### 4.4.6 Aplicações da física nuclear

## Referências

## 4.1 Introdução

Os experimentos de Thomson e Millikan mostraram que a massa do elétron é cerca de 2.000 vezes menor que a massa do hidrogênio, o menor átomo. Disso se concluiu que o átomo tem partes menores.

**A questão que surge é: como a massa está distribuída entre essas partes menores, ou seja, onde está toda a massa do átomo?**

Além disso, geralmente, os átomos são eletricamente neutros (do contrário, são chamados íons); portanto, a existência de uma partícula com carga elétrica negativa implicava necessariamente a existência de partes internas com carga positiva.

**Como seriam e onde estariam distribuídas essas partículas positivas?  
Será que são elas que contêm toda a massa restante do átomo?**

Na tentativa de responder a essas questões, surgiu o primeiro modelo atômico a levar em conta partículas subatômicas: o modelo de Thomson. Nesse modelo, Thomson propunha um átomo ainda bem parecido com o do modelo de Dalton, mas levando em consideração o que havia sido descoberto sobre o elétron. No modelo de Thomson, o átomo é visto como uma distribuição esférica e uniforme (não necessariamente rígida) de cargas positivas, com tamanho e massa correspondentes aos valores conhecidos para um dado elemento químico, tendo partículas negativas (elétrons) incrustadas no seu interior da parte positiva.

Por causa disso, historicamente, esse modelo também ficou conhecido como “pudim de ameixas” (ou “pudim de passas”), onde as “ameixas” (ou “passas”) seriam os elétrons no meio do “pudim” de cargas positivas. Infelizmente, essa descrição, bastante comum em livros didáticos do ensino médio, tende a sugerir uma visão estática das cargas negativas, como se fossem fixas e distribuídas aleatoriamente no interior das cargas positivas, o que não é correto, pois não faz jus ao verdadeiro modelo de Thomson<sup>1</sup> que, na verdade, era mais elaborado e tentava explicar (sem muito sucesso) a luz emitida pelos átomos.

<sup>1</sup> Thomson começou a elaborar seu modelo atômico, a partir de 1899, e já em 1904 apresenta um artigo com um modelo mais refinado, que previa a possibilidade de elétrons em “órbitas concêntricas” no interior da distribuição (esférica) de carga positiva.

O modelo de Thomson, porém, tinha vários problemas, e não era capaz de explicar um grande número de observações experimentais que começaram a se acumular no início do século XX como, por exemplo, a observação de várias linhas de emissão e absorção de luz, em cores bem definidas, pelos átomos (as chamadas linhas espectrais).

Na tentativa de responder a essas questões e, assim, aprimorar o modelo que melhor descrevia o átomo, foram realizados experimentos tentando desvendar a distribuição de massa e cargas no interior do átomo.

O mais importante desses experimentos foi o idealizado e interpretado por Ernest Rutherford, que, como veremos a seguir, levou à descoberta do núcleo atômico.

## 4.2 Descoberta do Núcleo atômico

### 4.2.1 Ernest Rutherford

Ernest Rutherford nasceu na Nova Zelândia em 1871. Graduiu-se em 1894, ano em que foi trabalhar no laboratório Cavendish sob a supervisão de J.J. Thomson. Durante a sua vida, dedicou-se bastante ao estudo de elementos radioativos, tentando entender a origem da radioatividade e transmutação de elementos químicos. Rutherford recebeu o prêmio **Nobel de Química em 1908** por suas investigações sobre a desintegração dos elementos e a química das substâncias radioativas.



Figura 4.1: Ernest Rutherford.

Rutherford é reconhecido por suas contribuições ao estudo da radioatividade, pelo que recebeu o prêmio Nobel, e isso eventualmente o levaria a ser um dos grandes pioneiros da física nuclear, mas o experimento que o fez mais famoso e até hoje reconhecido, como um dos grandes experimentos da ciência, foi o que o levou à descoberta do núcleo atômico. Esse experimento era um típico experimento de espalhamento de partículas (carregadas), que, juntamente com o experimento de Thomson, inaugurava o uso de “aceleradores de partículas” para se estudar a estrutura interna da matéria. Nas próximas seções você entenderá um pouco mais como isso funciona.



Veja aqui um [documentário](#), filmado em 1935 (disponível no sítio da fundação Nobel), em que Rutherford fala sobre alguns desafios da época.

## 4.2.2 Espalhamento de partículas

O espalhamento é uma técnica de extrema importância para a física. Através dela podemos “enxergar” a estrutura intrínseca das partículas microscópicas (muito além do que se pode observar com microscópios) e, com isso, descobrir novas propriedades. Podemos fazer uma analogia interessante através do seguinte exemplo. Se estivermos em um quarto totalmente escuro, podemos apalpar objetos no interior do quarto e descobrir algumas das propriedades desses objetos (forma, tamanho, rigidez etc.) sem a necessidade de usarmos a luz para enxergar. O processo de espalhamento é similar, pois permite “enxergar” estruturas de um objeto na escala microscópica, jogando partículas para colidir com esse objeto, e analisando o resultado de suas trajetórias, após interagir com o objeto que está sendo investigado. No caso do experimento de Rutherford, foram utilizadas partículas alfa colidindo contra átomos de uma película de ouro.



Use a [simulação](#) (em português), produzida pela Universidade do Colorado (projeto PhET), sobre o espalhamento de Rutherford. Essa simulação o ajudará a compreender como funciona um experimento de espalhamento de partículas alfa. Aproveite esse simulador para comparar os resultados de espalhamento para os modelos do átomo de Rutherford com o átomo “pudim de passas”, proposto por Thomson.

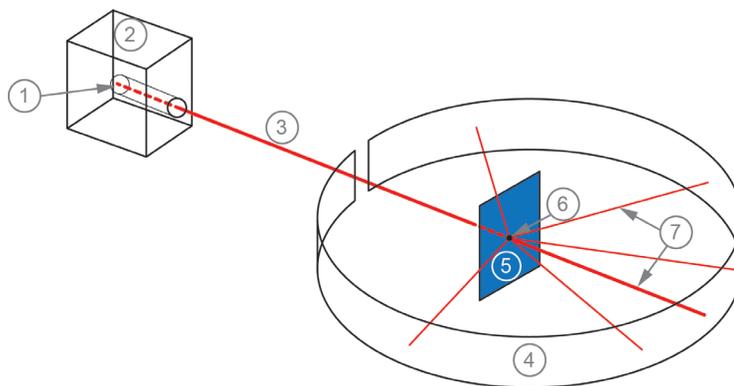
## 4.2.3 Experimento de Rutherford

Antes da descoberta de Rutherford, não se sabia ainda como a matéria estava distribuída no interior do átomo. O melhor modelo até então era o de Thomson que, como adiantamos,

apresentava problemas. Rutherford, que já havia feito sua carreira no estudo da radioatividade e, em particular, tinha descoberto e caracterizado as chamadas partículas alfa, já sabia que essas partículas microscópicas tinham massa e carga elétrica. As partículas alfa são emitidas por núcleos radioativos, em altas velocidades, permitindo formar um feixe de partículas, que pode ser usado num experimento de espalhamento dessas partículas, buscando mapear a estrutura interna do átomo alvo.

Rutherford acreditava que as partículas alfa eram objetos ideais para se usar no espalhamento contra os átomos de um alvo composto por uma finíssima lâmina de material metálico. Ao fazer essa camada muito fina, Rutherford estimava que cada partícula seria espalhada por apenas um átomo, e ao seguir sua trajetória ele poderia determinar a distribuição de cargas no interior dos átomos. Inicialmente, a expectativa de Rutherford era verificar o modelo de Thomson.

Para entender melhor esse importante experimento, considere o arranjo experimental ilustrado na **Figura 4.2**, que representa uma simplificação do aparato realmente utilizado por H. Geiger e E. Marsden, em 1909, sob a direção de Rutherford, visando a observar o espalhamento de um feixe de partículas alfa por um alvo (fina camada) de ouro.



**Figura 4.2:** Esquema geral do experimento de espalhamento de Rutherford.

Nesta figura os números indicam:

1. fonte radioativa (emissor de partículas alfa);
2. envoltório de proteção (de chumbo) da fonte radioativa;
3. feixe de partículas alfa direcionado ao alvo;
4. película fotográfica (sensível às partículas alfa: registram a posição do espalhamento);
5. lamínula (camada bem fina) de ouro;
6. ponto de encontro dos raios sobre a lâmina de ouro;
7. feixes de partículas espalhadas que atingem o detector (película fotográfica).

No experimento de Rutherford, partículas  $\alpha$ , de carga  $(+2e)$  e massa  $M = 4$  ua (unidades de massa atômicas), são lançadas em direção a uma lâmina delgada de material metálico, e o resultado do espalhamento dessas partículas é observado em algum tipo de detector que registra a posição (direção) das partículas emergentes, após a “colisão” com a lâmina metálica.

A primeira observação do experimento foi verificar que a maioria das partículas atravessava a lâmina, praticamente sem desvio. Um pequeno número delas, porém, era observado com desvios angulares muito grandes, e até mesmo algumas das partículas retornando na direção contrária ao feixe incidente. Esse tipo de espalhamento não podia ser explicado pelo modelo de Thomson, exceto se o tamanho da região espalhadora fosse muito menor que o tamanho conhecido do átomo. Isso sugeria a existência de uma grande região “vazia” entre os átomos, em divergência com o modelo de Thomson.

Rutherford desenvolveu um modelo teórico, em 1911, levando em conta as forças envolvidas no processo de espalhamento, tentando explicar os resultados observados no experimento feito por Geiger e Marsden. Nesse modelo, para conseguir explicar quantitativamente as observações experimentais, ele teve de assumir que a distribuição de cargas (positivas) responsáveis pelo espalhamento das partículas deveria estar concentrada numa região milhares de vezes menor do que o tamanho do átomo!

Isso juntamente com outras evidências e propostas teóricas da época levaram Rutherford a propor o chamado Modelo Planetário ou modelo atômico de Rutherford, onde o átomo é composto por um núcleo positivo, de tamanho cerca de  $10^4$  vezes menor que o átomo, envolto por elétrons em órbitas “fixas” ao redor desse núcleo. A semelhança desse modelo com a órbita dos planetas no Sistema Solar deu origem ao seu nome. Neste caso, a força elétrica (força de Coulomb) é o que manteria os elétrons em órbita, em analogia à força gravitacional, que mantém os planetas orbitando em torno do Sol. Discutiremos as implicações desses modelos atômicos na próxima aula. Aqui vamos apenas concluir nossa discussão aprendendo um pouco mais sobre os experimentos de espalhamento de partículas.

A **Figura 4.3** mostra uma representação da interação que ocorre quando uma partícula passa perto de um núcleo atômico, conforme proposto por Rutherford. A análise cuidadosa dessa interação foi o que permitiu Rutherford expressar o ângulo de espalhamento,  $\theta$ , em termos dos parâmetros físicos do problema e, assim, estimar o tamanho do núcleo do átomo a partir dos dados do experimento.

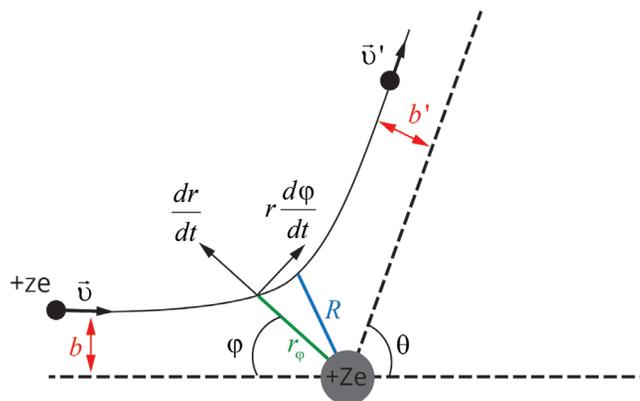


Figura 4.3: Diagrama para o cálculo do espalhamento de Rutherford.

Um conceito importante nesta análise é o de parâmetro de impacto, que sempre aparece em cálculos envolvendo o espalhamento de partículas. Neste caso, o parâmetro de impacto (representado pela letra  $b$ ) é a distância entre a linha de movimento e a linha que passa pelo centro do elemento espalhador. O ângulo que a trajetória da partícula define após o espalhamento é chamado ângulo de espalhamento  $\theta$ . Observe que quanto menor o parâmetro de impacto maior será o ângulo de espalhamento.



Veja aqui uma animação do e-Química (IQ-UNESP), descrevendo o experimento de Rutherford, com mais detalhes do aparato que foi, de fato, utilizado por Geiger e Marsden. Você poderá achar mais detalhes sobre os cálculos usados por Rutherford [nesse artigo da Rev. Bras. de Ensino de Física](#).

## 4.3 O núcleo atômico

Vamos agora olhar em detalhes o núcleo atômico. É muito importante entender o papel desempenhado por cada uma das partes que compõem o átomo. Como veremos mais adiante, a eletrosfera (onde estão os elétrons) é a região que determina as reações químicas, a interação com a luz e campos eletromagnéticos (proporcionando a cor dos objetos); e a força elétrica de repulsão entre as eletrosferas de diferentes átomos resulta nas interações macroscópicas como as forças de contato, atrito.

Embora o núcleo atômico envolva energias bem mais altas que pouco participam das reações e interações do nosso dia a dia, existem efeitos importantíssimos relacionados com essa região central e pequena do átomo e, por isso, é interessante estudarmos o núcleo do átomo com mais detalhes.

### 4.3.1 A descoberta do Nêutron

Na década de 1930, outros cientistas continuaram seguindo o caminho apontado por Rutherford através do bombardeamento da matéria com partículas emitidas de fontes radioativas. Nesses experimentos, Walther Bothe e Herbert Becker, observaram que, após o bombardeamento com essas partículas, havia uma radiação misteriosa que era emitida do núcleo de elementos mais leves, como o boro ou lítio. Essa radiação era extremamente penetrante (muito mais que a alfa), e inicialmente acreditava-se que era uma forma de radiação eletromagnética, como os raios gama.

Experimentos posteriores, realizados por [James Chadwick](#), mostraram que esta misteriosa radiação era constituída, na verdade, de partículas neutras cuja massa era igual à do próton. Por ser uma partícula eletricamente neutra recebeu o nome de nêutron. Chadwick recebeu o [prêmio Nobel de Física de 1935](#) pela descoberta do nêutron. Este foi o início do desenvolvimento da Física Nuclear.



Figura 4.4: James Chadwick.

#### Para pensar!

A questão que se seguiu é: o que segura o nêutron dentro do núcleo? Isto é, que tipo de força mantém o nêutron ligado ao próton, já que ele não tem carga elétrica?

### 4.3.2 As interações nucleares

Na aula 1 “**O que é matéria e de que ela é feita?**”, nós vimos que existem apenas quatro tipos de interações fundamentais na natureza: **gravitacional**, **eletromagnética**, e as interações nucleares **forte** e **fraca**. Na verdade, essas duas últimas só se tornaram conhecidas

após a descoberta do nêutron, como resultado da busca para entender como o nêutron pode ficar no interior do núcleo, já que não tem carga elétrica para ligá-lo ao próton.

As interações (forças) nucleares só são importantes em escalas de distâncias muito pequenas, da ordem do tamanho do núcleo atômico, e por isso não são observadas diretamente no nosso dia a dia. São elas, porém, que dão estabilidade ao núcleo e, em última análise, à própria matéria. Veremos logo mais que elas também estão envolvidas nos processos de decaimento nuclear e na radioatividade.

### 4.3.3 Estabilidade do nêutron

O nêutron é um elemento fundamental na composição nuclear, porém, é uma partícula que só é estável no interior do núcleo. Fora do núcleo, o nêutron torna-se instável e decai espontaneamente formando outras partículas, segundo a sequência indicada a seguir:

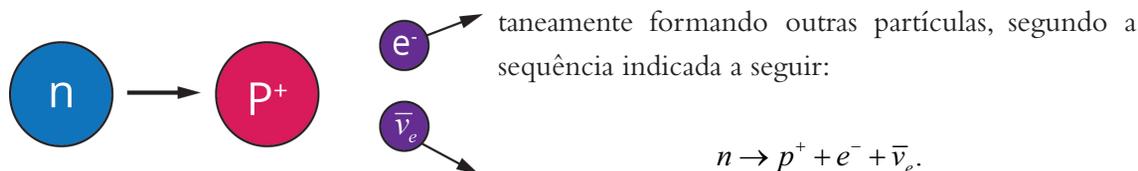


Figura 4.5: Decaimento beta.

Assim, fora do núcleo, o nêutron decai em um próton, um elétron e um antineutrino do elétron. O tempo de vida médio do nêutron (fora do núcleo) é de cerca de 1.000 segundos. Isso significa que nesse intervalo de tempo cerca de metade do número inicial de nêutrons de uma amostra terá decaído.

Veremos logo mais que esse processo está ligado à própria estabilidade do núcleo e a transmutação de um elemento químico em outro, característica dos elementos radioativos.

### 4.3.4 Notação química e isótopos

É comum usar uma notação que sintetiza as principais características de um dado núcleo atômico ou elemento químico. Essa notação envolve os chamados números atômicos e de massa, definidos abaixo:

- Número atômico (**Z**): número de prótons (no átomo neutro é igual ao número de elétrons).
- Número de nêutrons (**N**): expressa quantos nêutrons estão no núcleo.
- Número de massa (**A**): soma do número de prótons e nêutrons (**A = Z + N**).

Assim, para descrever uma determinada espécie química  $X$ , é possível usar duas notações bastante comuns:  ${}^A_ZX$  ou  ${}_Z X^A$ . Dessa forma, por exemplo, os símbolos  ${}^6_3\text{Li}$  e  ${}^7_3\text{Li}$  representam dois átomos de lítio que diferem apenas pelo número de massa. Ambos têm o mesmo número de prótons (elétrons), mas o primeiro tem número de massa  $A = 6$  (com 3 nêutrons) e o segundo  $A = 7$  (4 nêutrons).

Esses átomos são chamados **isótopos**. Portanto, isótopos são átomos de um mesmo elemento químico que têm números de massa diferentes.



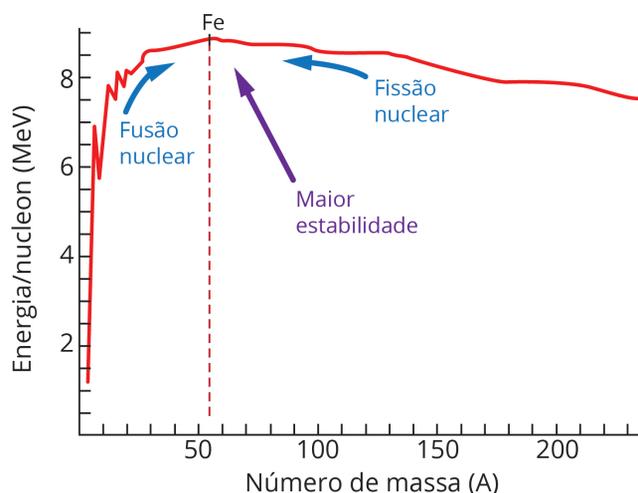
**Lembre-se:** as propriedades químicas estão ligadas aos elétrons!

### 4.3.5 Estabilidade do núcleo

A energia de ligação do núcleo (que o mantém unido) é o resultado do equilíbrio das interações nucleares (que causa a atração entre os núcleons) e a força de repulsão Coulombiana (elétrica) entre os prótons. Esse balanço energético faz com que a energia de interação atrativa dependa do número de massa  $A$ , mas agindo apenas em curtas distâncias ( $\sim 1 \text{ fm} = 10^{-15}$ ), enquanto a repulsão elétrica, embora bem mais fraca que a força nuclear forte, passa a dominar em distâncias maiores que cerca de 10 fm, e depende do número de prótons ( $Z$ ). Quanto maior a energia de ligação mais estável é o núcleo.

A **Figura 4.6** apresenta um gráfico que mostra como a energia de ligação depende do número de massa.

Note que a energia de ligação entre os núcleons inicialmente cresce rapidamente com o número de massa, o que favorece a fusão nuclear (que requer condições especiais para ser iniciada), mas a partir de certo ponto ( $A = 56$ , o que faz o átomo de ferro ter o núcleo mais estável) essa energia começa a cair



**Figura 4.6:** Energia de ligação do núcleo como função do número de massa.

lentamente. Dessa forma, os núcleos mais pesados, como o urânio, tendem a sofrer um processo de fissão (“quebra”) nuclear para serem mais estáveis. O processo de fissão pode ocorrer espontaneamente, o que dá origem à radioatividade natural dos elementos radioativos, como o urânio, rádio, tório etc.

## 4.4 Decaimento nuclear e radioatividade

Vimos que os nêutrons não são estáveis fora do núcleo e que, por isso, eles decaem, transformando-se em outras partículas. Na verdade, do ponto de vista do Modelo Padrão, o nêutron é considerado um estado excitado do próton, que corresponde ao estado fundamental de um hádron (bárion composto por 3 quarks) estável. A radioatividade é um fenômeno de decaimento nuclear que, por sua vez, depende da estabilidade do núcleo.

Na radioatividade (ou decaimento nuclear), um núcleo pode mudar sua configuração interna através de três tipos de processos de emissão: partículas alfa (núcleos de hélio), partículas beta (elétrons) e raios gama (fótons). Esses três tipos de decaimento levam o núcleo a uma configuração energeticamente mais estável.

### 4.4.1 Decaimento alfa

Nesse tipo de decaimento, um núcleo pesado torna-se mais estável através da emissão espontânea de partículas  $\alpha$ , que são compostas por dois prótons e dois nêutrons (equivalente a um núcleo de hélio) emitido com alta velocidade. Essas foram as partículas usadas por Rutherford na descoberta do núcleo atômico.

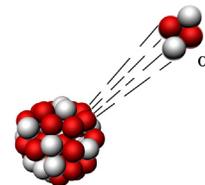


Figura 4.7: Decaimento alfa.

### 4.4.2 Decaimento beta

Da mesma forma que o decaimento alfa, no decaimento beta o núcleo procura uma forma de atingir maior estabilidade. O decaimento beta consiste na emissão de um elétron pelo núcleo. Esse elétron é originário do decaimento de um nêutron em um próton mais um elétron, sendo que o próton continua

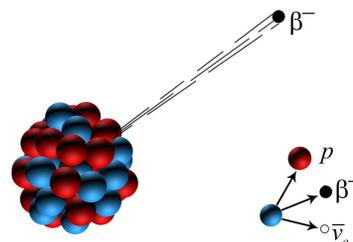


Figura 4.8: Decaimento beta.

no interior do núcleo. Nesse processo há uma mudança da carga do núcleo (número atômico), mas não da massa, que continua praticamente inalterada.

### 4.4.3 Decaimento gama

O núcleo atômico existe em certas configurações (distribuição interna dos núcleons) que correspondem a estados de energias bem definidas, da mesma forma que os estados eletrônicos num átomo. Ao sofrer um rearranjo interno, ou passar de um estado excitado (mais energético) para um de energia mais baixa, o núcleo emite

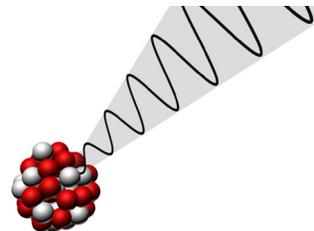


Figura 4.9: Decaimento gama.

fótons cuja energia corresponde à diferença entre os níveis envolvidos. Tipicamente, os fótons emitidos têm energia muito alta, que pode atingir vários MeV (mega-elétron-volt), e são denominados raios gama.

### 4.4.4 Radioatividade Natural

O núcleo de alguns elementos químicos, como o urânio, decai espontaneamente, buscando uma forma mais estável e emitindo radiação nuclear nesse processo. A maneira de medir as emissões radioativas é através da grandeza física chamada **atividade**, que é definida como o número de decaimentos nucleares por unidade de tempo. Essa grandeza é uma medida da taxa, isto é, variação por unidade de tempo, do número de partículas  $N$  que decaem num certo intervalo de tempo:  $R = \Delta N / \Delta t$ . Matematicamente, a maneira mais conveniente de expressar isso é usando o conceito de derivada (visto no curso de Cálculo), de modo que se define a atividade  $R$ :

$$R = -\frac{dN}{dt};$$

o sinal negativo é para fazer  $R$  ser um número positivo, já que o número  $N$  está sempre diminuindo.

Desse modo, se a atividade de uma substância é  $R_0$ , isto significa que  $R_0$  partículas decaem por segundo. A unidade de atividade é o becquerel (Bq), que representa exatamente um decaimento por segundo. Outra unidade conveniente é o curie (Ci), que representa  $3,7 \times 10^{10}$  Bq.

$$1 \text{ Ci (curie)} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq (becquerel)}$$

Todas as determinações experimentais mostram que a atividade  $R$  apresenta um decaimento exponencial com o tempo  $R = R_0 e^{-\lambda t}$ , onde  $\lambda$  é a chamada constante de decaimento e o seu valor depende do elemento radioativo considerado. Esse comportamento exponencial indica que  $R$  é diretamente proporcional ao número de partículas da amostra:  $R = \lambda N$ ; portanto, o número de partículas radioativas também varia exponencialmente, segundo a relação indicada abaixo:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}.$$

Isso significa que ao longo do tempo o número de partículas (átomos) de um certo **radioisótopo** (nome dado a um **isótopo radioativo**) irá diminuir à medida que esse elemento se torna outro elemento químico.

#### 4.4.5 Tempo de vida e meia-vida dos radioisótopos

Define-se a meia-vida do elemento como o tempo,  $T_{1/2}$ , para a sua atividade cair à metade (50%) do valor inicial. Portanto, definimos o tempo de meia-vida como o tempo transcorrido quando  $R_0$  passa a valer  $R_0/2$ . Isso significa que, após cada período  $T_{1/2}$ , a atividade da amostra é reduzida à metade.

A relação entre o tempo de meia-vida,  $T_{1/2}$ , e a constante de decaimento  $\lambda$  é obtida através da relação:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} R_0 &= R_0 \cdot e^{-\lambda T_{1/2}} \\ \lambda T_{1/2} &= \ln(2) \rightarrow T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \end{aligned}$$

Observe que a constante de decaimento  $\lambda$  tem dimensão de inverso de tempo, de modo que o inverso de  $\lambda$  define o chamado tempo de vida do decaimento exponencial:  $\tau = 1/\lambda$ . Desse modo,  $T_{1/2} = 0,693\tau$ .

O decaimento nuclear é um processo estatístico (estocástico) e não há meios de saber qual núcleo irá decair num certo instante. Pode-se dizer apenas que numa amostra suficientemente grande a fração que decai, num certo intervalo de tempo, segue uma lei exponencial, ou quantos átomos irão decair num certo intervalo de tempo. Não se pode dizer com certeza qual dos átomos irá decair num certo instante.

#### 4.4.6 Aplicações da física nuclear

Além da melhor compreensão da estrutura atômica da matéria, a descoberta do núcleo e seus componentes (próton e nêutron) nos permitiu entender os processos que dão origem à radioatividade natural de certos elementos. Permitiu também desenvolver métodos de controle e manipulação da energia nuclear para diversos fins. É importante reconhecer algumas das várias aplicações da Física Nuclear, pois várias delas fazem parte do nosso dia a dia, mesmo quando não as percebemos diretamente.

Uma das mais importantes e reconhecidas aplicações da radioatividade é na medicina, no tratamento de tumores usando a radioterapia. A radioatividade natural também levou à descoberta dos Raios X, que são hoje utilizados como uma importante ferramenta de diagnóstico (embora hoje as fontes de raios X atuais, geralmente, não utilizem mais os radioisótopos). Existem outras técnicas de diagnóstico médico que usam radioisótopos como marcadores de processos ou elementos de contraste nos órgãos internos. Há, por exemplo, uma importante técnica de tomografia chamada *PET-scan* (**tomografia por emissão de pósitrons**), onde um radioisótopo produz a emissão de partículas beta positivas (pósitrons), que se aniquilam emitindo 2 fótons gama, detectados para formar imagens ligadas ao metabolismo da glicose ou oxigênio em áreas internas do corpo.

Além da medicina, existem também várias aplicações na agricultura e produção de alimentos. A mais conhecida é a irradiação de alimentos e sementes, visando à sua maior conservação e também o transporte intercontinental de alimentos, livre de riscos de contaminações biológicas endêmicas.

Sem dúvida, uma das aplicações mais importantes e polêmicas é a utilização da energia nuclear (produzida através da fissão controlada do urânio) em usinas produtoras de energia elétrica. Naturalmente, é fundamental garantir a segurança da população e evitar os riscos ao meio ambiente, mas essa é uma discussão que deve ser feita de forma objetiva e científica, pois a energia nuclear é uma importante forma alternativa de produção de energia livre de carbono, que, se feita corretamente, tem um impacto ambiental muito pequeno e é capaz de produzir grandes quantidades de eletricidade.

De fato, muitos países desenvolvidos são mantidos majoritariamente através dessa única forma de produção de energia. Na França, por exemplo, a energia nuclear é responsável por cerca de 90% da produção do país. Nos Estados Unidos, a contribuição também é significativa. Essa é

uma discussão importante e necessária para o crescimento sustentável das nações. Atualmente, grupos ambientalistas, como o *Greenpeace*, têm defendido o uso da energia nuclear como alternativa ao carvão mineral.

Finalmente, como um último exemplo de aplicação dos radioisótopos, podemos citar uma aplicação bem conhecida da área de arqueologia: a datação por carbono-14. O  $^{14}\text{C}$  é um isótopo radioativo produzido na atmosfera devido aos raios cósmicos, e que é absorvido (numa proporção muito pequena) pelos seres vivos. Após a morte do organismo, esse radioisótopo deixa de ser repostado e decai com meia-vida de cerca de 5.700 anos. Assim, medindo a quantidade de  $^{14}\text{C}$  de uma amostra de origem orgânica é possível determinar, com certa precisão, a época em que um organismo existiu na natureza.

Para concluir esta aula, observe como foi o avanço no entendimento da matéria desde a escala macroscópica até os níveis microscópicos. Primeiro, descobriu-se que a matéria é composta por átomos. Depois se verificou que o átomo tinha partículas negativas, chamadas elétrons. Posteriormente, descobriu-se o núcleo atômico, com carga positiva e praticamente toda a massa do átomo. O passo seguinte foi descobrir que o núcleo é composto por dois tipos de partículas: prótons e nêutrons. Na próxima aula, iremos aprender como isso levou à evolução dos modelos atômicos, usando esses ingredientes (elétrons, prótons e nêutrons), para explicar todas as propriedades observadas nos átomos e moléculas.



Finalizada a leitura do texto, participe e realize as atividades on-line propostas, assista à videoaula e não deixe de explorar os recursos disponibilizados como materiais complementares.

## Referências

E-QUÍMICA. **Experimento de Rutherford**. Disponível em: <[http://e-quimica.iq.unesp.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=72:experimento-de-rutherford&catid=36:videos&Itemid=55](http://e-quimica.iq.unesp.br/index.php?option=com_content&view=article&id=72:experimento-de-rutherford&catid=36:videos&Itemid=55)>. Acesso em: 02/2014.

NOBEL. **The Nobel Prize in Chemistry 1908**. Disponível em: <[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/1908/](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1908/)>. Acesso em: 02/2014.

NOBEL. **Documentary about Ernest Rutherford**. Disponível em: <<http://www.nobelprize.org/mediaplayer/index.php?id=321>>. Acesso em: 02/2014.

PHTE. **Espalhamento de Rutherford**. Disponível em: <[http://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/rutherford-scattering](http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/rutherford-scattering)>. Acesso em: 02/2014.

SILVA, F. H.; HABESCH, R.; BAGNATO, V. S. Conexão de Blindagem Eletrônica no Espalhamento Rutherford. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Carlos, v. 19, n. 2, 1997. Disponível em: <[http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v19\\_263.pdf](http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v19_263.pdf)>. Acesso em 02/2014.