

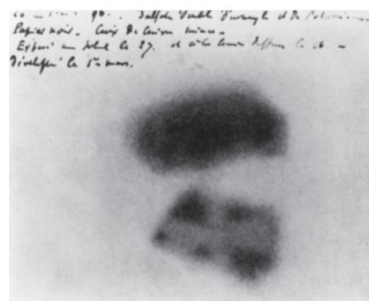
Aula – Química Nuclear

Descoberta da Radioatividade

A radioatividade foi observada pela primeira vez em 1896 pelo cientista francês Antoine-Henri Becquerel (1852–1908). Becquerel estava interessado nos raios X recém-descobertos, que se tornaram um tema de destaque da Física na época. Ele levantou a hipótese de que os raios X foram emitidos em conjunto com a fosforescência (emissão de luz de longa duração pela absorção da luz por certos átomos e/ou moléculas). Becquerel levantou a hipótese de que esse brilho esverdeado visível estava associado à emissão de raios X (que são invisíveis).

Para testar sua hipótese, Becquerel colocou cristais de um sal de Urânio ($K_2(UO_2)(SO_4)_2$) que era fosforescente, em cima de uma chapa fotográfica envolta em um pano preto. Ele então expôs os cristais à luz solar. Se os cristais também tivessem emitido raios X, os raios X teriam passado através do pano preto e exposto a chapa fotográfica subjacente. Becquerel realizou o experimento várias vezes e sempre obteve o mesmo resultado – a chapa fotográfica mostrou um ponto escuro de exposição onde os cristais haviam sido colocados.

Um tempo depois Becquerel percebeu que mesmo quando o sal de urânio não emitia fosforescência ele ainda manchava o filme fotográfico. Becquerel percebeu que os próprios cristais emitiam constantemente algo que expunha a chapa fotográfica, independentemente de serem fosforescentes ou não. Becquerel concluiu que era o urânio dentro dos cristais a fonte das emissões e nomeou as emissões como raios urânicos.



Logo após a descoberta de Becquerel, uma jovem estudante chamada Marie Sklodowska Curie (1867–1934) decidiu estudar os raios urânicos para a sua tese de doutoramento. Sua primeira tarefa foi determinar se outras substâncias além do urânio (o elemento mais pesado conhecido na época) emitiam esses raios. Curie descobriu dois novos elementos, ambos também emitiam raios urânicos. Curie chamou um de seus elementos recém-descobertos de polônio, em homenagem ao seu país natal, a Polônia. O outro elemento ela chamou de rádio, devido ao seu alto nível de radioatividade. O rádio é tão radioativo que brilha suavemente no escuro e emite quantidades significativas de calor. Como estava claro que esses raios não eram exclusivos do urânio, Curie mudou o nome dos raios urânicos para radioatividade.

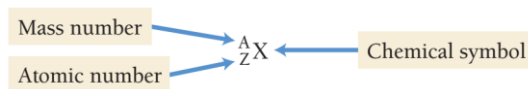
Em 1903, Curie e seu marido, Pierre Curie, bem como Becquerel receberam o Prêmio Nobel de Física pela descoberta da radioatividade. Em 1911, Curie recebeu um segundo Prêmio Nobel, desta vez de química, pela descoberta dos dois novos elementos.

Tipos de Radioatividade

Enquanto Curie concentrou seu trabalho na descoberta dos diferentes tipos de elementos radioativos, Ernest Rutherford (1871–1937) e outros se concentraram na caracterização da própria radioatividade. Esses cientistas descobriram que as emissões são produzidas pelos núcleos dos átomos radioativos. Tais núcleos são instáveis e se decompõem espontaneamente, emitindo pequenos pedaços de si mesmos para ganhar estabilidade.

A radioatividade natural pode ser categorizada em vários tipos diferentes, incluindo decaimento alfa, decaimento beta, emissão de raios gama e emissão de pósitrons. Além disso, alguns núcleos atômicos

instáveis podem atingir maior estabilidade absorvendo um elétron de um dos orbitais do próprio átomo, um processo chamado captura de elétrons. Para compreender esses diferentes tipos de radioatividade, devemos revisar brevemente a notação para simbolizar isótopos:



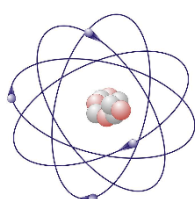
número de massa (A) = a soma do número de prótons e número de nêutrons no núcleo.

número atômico (Z) = o número de prótons no núcleo.

Representamos as principais partículas subatômicas – prótons, nêutrons e elétrons – com notação semelhante.



Um núcleo estável permanece intacto indefinidamente, mas uma boa parte dos núcleos conhecidos são instáveis. Um núcleo instável exibe *radioatividade*. Radioatividade: desintegração espontânea, ou decaimento, com emissão de radiação.



Prótons e nêutrons, as partículas elementares que compõem o núcleo, são chamados de **núcleons**. **Nuclídeo** - núcleo com números diferentes dos dois tipos de nucleons. A maioria dos elementos ocorre na natureza como uma mistura de *isótopos*.

Decaimento Radioativo

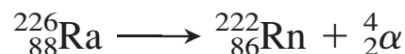
Quando um nuclídeo de um elemento decai, emite radiação e, sob a maioria circunstâncias, transforma-se num nuclídeo de um elemento diferente. Os três naturais tipos de emissões radioativas são:

- ✓ **Partículas Alfa** – Idênticas ao núcleo de ${}^4\text{He}$ (${}^4_2\alpha$)
- ✓ **Partículas Beta** – Elétrons acelerados (${}^0_{-1}\beta$)
- ✓ **Raios Gama** – fótons de alta energia (${}^0_0\gamma$)

Tipos de decaimento

Quando um nuclídeo se decompõe, forma um nuclídeo de energia mais baixa e o excesso de energia é levado pela radiação emitida e pelo núcleo emitido.

Decaimento alfa - Envolve a perda de uma partícula alfa de um núcleo. Para cada partícula emitida, A diminui em 4 e Z diminui em 2. Os elemento acima do bismuto (Bi Z = 83) é radioativo e exibe este comportamento. Portanto, decaimento alfa é o meio mais comum para um núcleo pesado e instável se tornar mais estável.



Mode	Emission	Decay Process	Change in		
			A	Z	N
α Decay	α (${}^4_2\text{He}^{2+}$)		-4	-2	-2
		α expelled			

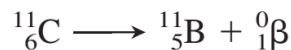
O decaimento Beta - é uma classe mais geral de decaimento radioativo que inclui três tipos: decaimento β^- , emissão β e captura de elétrons.

Decaimento β^- (ou emissão de negatron) envolve a ejeção de uma partícula beta do núcleo. Um nêutron é convertido em um próton, que permanece no núcleo e uma partícula beta, que é ejetada imediatamente:



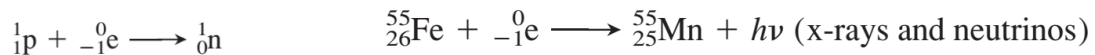
Mode	Emission	Decay Process	Change in		
			A	Z	N
β^- Decay†	$\beta^-({}^0_{-1}\beta)$	<p>nucleus with xp^+ and yn^0 → nucleus with $(x+1)p^+$ and $(y-1)n^0$ + ${}^0_{-1}\beta$ expelled</p> <p>Net: 1_0n in nucleus → 1_1p in nucleus + ${}^0_{-1}\beta$ expelled</p>	0	+1	-1

A emissão do Positron (β^+) envolve a emissão de uma partícula β^+ do núcleo. Uma ideia chave da física moderna é que as partículas mais fundamentais tem antipartículas correspondentes com a mesma massa mas carga oposta. O pósitron é a antipartícula do elétron. A emissão de pósitrons ocorre através de um processo no qual próton no núcleo é convertido em um nêutron, e um pósitron é expulso.



Mode	Emission	Decay Process	Change in		
			A	Z	N
Positron (β^+) emission†	$\beta^+({}^0_1\beta)$	<p>nucleus with xp^+ and yn^0 → nucleus with $(x-1)p^+$ and $(y+1)n^0$ + ${}^0_1\beta$ expelled</p> <p>Net: 1_1p in nucleus → 1_0n in nucleus + ${}^0_1\beta$ expelled</p>	0	-1	+1

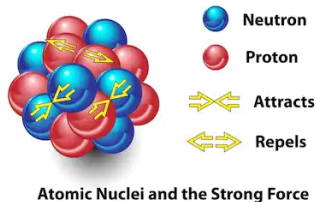
A captura de elétrons (e^-) (EC) ocorre quando o núcleo interage com um elétron em um orbital de baixo nível de energia atômica. O efeito líquido é que um próton é transformado em um nêutron.



Mode	Emission	Decay Process	Change in		
			A	Z	N
Electron (e^-) capture (EC)†	x-ray	<p>nucleus with xp^+ and yn^0 → nucleus with $(x-1)p^+$ and $(y+1)n^0$</p> <p>Net: ${}^0_{-1}e$ absorbed from low-energy orbital + 1_1p in nucleus → 1_0n in nucleus</p>	0	-1	+1

Padrão de estabilidade Nuclear

Todos os núcleons são atraídos por uma força fundamental chamada de “*Força forte*”, que possui um curto alcance. No núcleo existe um balanço de forças atrativas (Strong force) e repulsivas (Coulômbicas). Os nêutrons desempenham um importante papel, na estabilização do núcleo, uma vez que ele atrai partículas vizinhas pela força forte, mas não tem o efeito da repulsão das cargas.

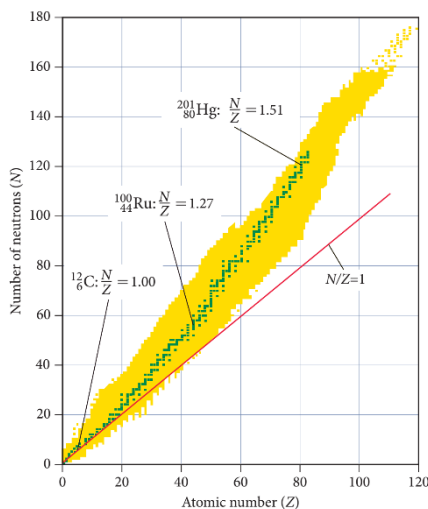


“Nem sempre a adição de nêutrons é benéfica. Uma vez que prótons e nêutrons ocupam níveis de energia em um núcleo que são semelhantes aos ocupado por elétrons em um átomo.”

Pela abundância na natureza dos elementos pares, podemos concluir que são mais estáveis. Elementos com $Z = 2, 8, 20, 50, 82, 114, 126$ e 184 (números mágicos) têm maior probabilidade de serem estáveis. Núcleons ocupam níveis de energia dentro do núcleo tanto quanto os elétrons ocupam os níveis de energia dentro de um átomo. Assim como os átomos com certos números de elétrons são unicamente estáveis, então átomos com certos números mágicos são excepcionalmente estáveis.

Estanho $Z = 50 \rightarrow 10$ isótopos estáveis
Antimônio $Z = 51 \rightarrow 2$ isótopos estáveis

A competição entre a força forte atrativa e a força eletrostática repulsiva influencia a estabilidade nuclear.



Os pontos amarelos representam núcleos instáveis e os pontos verdes representam os estáveis. Região verde é chamada de *vale de estabilidade*.

Todos os nuclídeos com $Z > 83$ são instáveis. Isso significa que todos os nuclídeos com um altos valores de Z - são radioativos, e portanto sofrem algum tipo de decaimento.

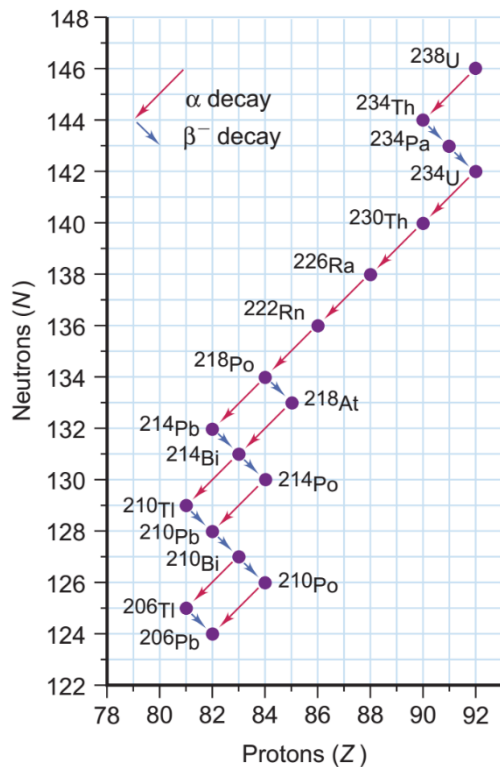
Para Z até 20 - os nuclídeos estáveis tem números de prótons e neutrons semelhantes , logo a massa $A = 2Z$ e $N/Z = 1$.

Para $Z > 20$ - os nuclídeos estáveis e instáveis, tem mais neutrons do que protons, logo $A > 2Z$ e $N/Z > 1$.

Quando **N/Z é elevada** - Nuclídeos que ficam acima do vale da estabilidade possuem muitos nêutrons e tendem a converter nêutrons em prótons via decaimento beta. Quando **N/Z é baixa** - Os nuclídeos que se encontram abaixo do vale de estabilidade têm muitos prótons e tendem a converter prótons em nêutrons via emissão de pósitrons ou captura de elétrons.

Série de Decaimento Nuclear

Um nuclídeo pai sofre uma série de etapas de decaimento até a formação de um nuclídeo filho.



Átomos com $Z \geq 83$ são radioativos e decaem em uma ou mais etapas envolvendo principalmente decaimento alfa e beta (com algum decaimento gama para transportar o excesso de energia). Algumas séries de decaimento são conhecidas, porém a mais comum é a apresentada no gráfico.

Datação por Carbono-14

Em 1947 foram encontrados em uma caverna próxima a Jerusalém e ao mar morto documentos dentro de Jarros. Foram datados como textos de 2000 anos atrás. Carbono-14 é constantemente formado na atmosfera, e posteriormente oxidado a CO_2 , e incorporado por plantas no processo de fotossíntese e pelo oceano.



Como resultado, os tecidos de todas as plantas vivas, animais e humanos contêm a mesma proporção de carbono-14 para carbono-12 (${}^{14}\text{C} = {}^{12}\text{C}$) que a encontrada na atmosfera.

Como muitos artefatos, incluindo os Manuscritos do Mar Morto, são feitos de materiais que antes viviam (como papiro, madeira ou outros derivados de plantas e animais) a proporção ${}^{14}\text{C} : {}^{12}\text{C}$ nesses artefatos indica sua idade.

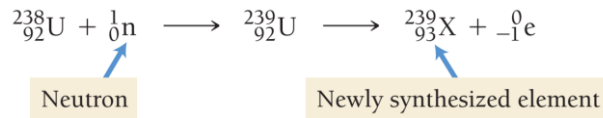


Artefato – razão ${}^{14}\text{C} : {}^{12}\text{C}$ é de 25% → qual a idade?

Duas meias vidas!!!

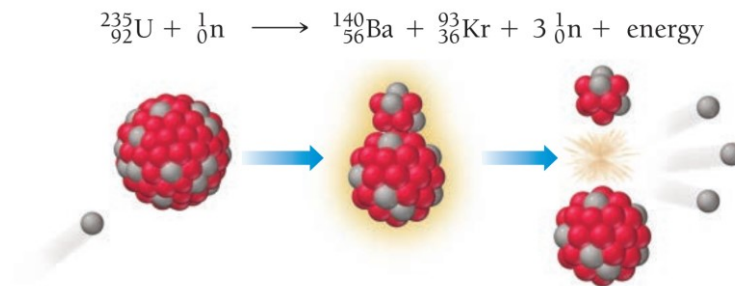
A idade máxima que podemos estimar a partir da datação por ${}^{14}\text{C}$ é de cerca de 50.000 anos. Em idades maiores, a quantidade de ${}^{14}\text{C}$ torna-se baixa demais para medir com precisão.

Em meados da década de 1930, Enrico Fermi (1901–1954), tentou sintetizar um novo elemento bombardeando o urânio com nêutrons. Fermi especulou que se um nêutron pudesse ser incorporado ao núcleo de um átomo de urânio, o núcleo poderia sofrer decaimento beta, convertendo um nêutron em um próton. Se isso acontecesse, um novo elemento, de número atômico 93, seria sintetizado pela primeira vez. A equação nuclear para o processo é mostrada aqui:



Fermi realizou o experimento e detectou a emissão de partículas beta. No entanto, seus resultados foram inconclusivos. Como Fermi nunca examinou quimicamente os produtos para determinar a sua composição, logo, não pôde dizer afirmar o produto de seu experimento.

Três pesquisadores na Alemanha – Lise Meitner, Fritz Strassmann e Otto Hahn (1879–1968) – repetiram os experimentos de Fermi e realizaram análises químicas cuidadosas dos produtos. O que encontraram nos produtos mudou o mundo para sempre. Eles perceberam que o bombardeio de nêutrons do urânio resultou na fissão nuclear – a divisão do átomo de urânio. O núcleo do átomo de urânio bombardeado com nêutrons foi dividido em bário, criptônio e outros produtos menores. Eles também determinaram que o processo emite enormes quantidades de energia.



A bomba atômica

Os cientistas rapidamente perceberam que uma amostra rica em U-235 pode sofrer uma reação em cadeia na qual nêutrons produzidos pela fissão de um núcleo de urânio induzem a fissão em outros núcleos de urânio. Esta reação autoamplificadora é capaz de produzir uma enorme quantidade de energia. Esta é a energia aproveitada em uma bomba atômica. No entanto, para fabricar uma bomba, é necessária uma massa crítica de U-235 – U-235 suficiente para produzir uma reação autossustentada.

