

Capítulo 9: Química Nuclear

9.1- Natureza das reacções nucleares

9.2- Estabilidade nuclear

9.3- Radioactividade natural

9.4- Transmutação nuclear

9.5- Cisão nuclear e fusão nuclear

9.6- Aplicação de isótopos

9.7- Efeitos biológicos da radiação

9.1- Natureza das reacções nucleares

Com excepção do ${}^1_1\text{H}$, todos os núcleos contêm dois tipos de partículas fundamentais: os prótons e os neutrões.

Todos os elementos com número atómico superior a 83 são radioactivos.

Radioactividade: emissão espontânea de partículas, de radiação electromagnética ou de ambas.

Principais tipos de radiação:

- **partículas α** (ou núcleos de He com duas cargas: He^{2+});
- **partículas β** (ou electrões);
- **raios γ** (ondas electromagnéticas de comprimento de onda muito pequeno: 0,1 nm a 10^{-4} nm);
- **emissão de positrão**
- **captação de electrões**

Número atómico (Z) = número de prótons no núcleo

Número de massa (A) = número de prótons + número de neutrões
= número atómico (Z) + número de neutrões

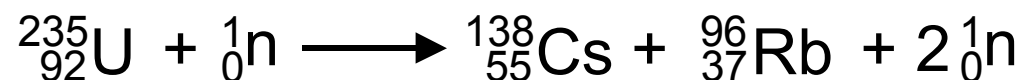
Número de massa \longrightarrow A
Número atómico \longrightarrow Z X \longleftarrow Símbolo do elemento

	próton ${}^1_1\text{p}$ ou ${}^1_1\text{H}$	neutrão ${}^1_0\text{n}$	electrão ${}^0_{-1}\text{e}$ ou ${}^0_{-1}\beta$	positrão ${}^0_{+1}\text{e}$ ou ${}^0_{+1}\beta$	partícula α ${}^4_2\text{He}$ ou ${}^4_2\alpha$
A	1	1	0	0	4
Z	1	0	-1	+1	2

Acerto de Equações Nucleares

1. Conservação do número de massa (A).

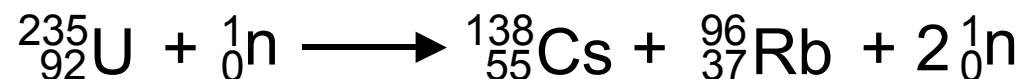
O número total de prótons mais neutrões nos produtos e nos reagentes deve ser o mesmo.



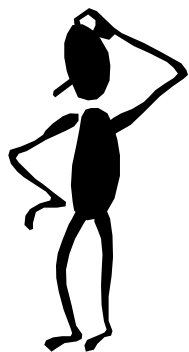
$$235 + 1 = 138 + 96 + 2$$

2. Conservação do número atômico (Z) ou carga nuclear.

O número total de cargas nucleares nos produtos e nos reagentes deve ser o mesmo.

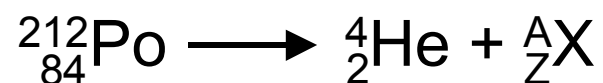


$$92 + 0 = 55 + 37 + 0$$



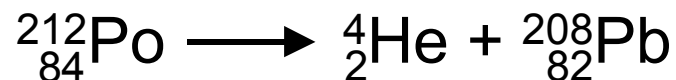
^{212}Po desintegra-se através de emissão alfa. Escreva a equação nuclear acertada da desintegração.

partícula alfa – ^4_2He ou $^4_2\alpha$



$$212 = 4 + A \qquad A = 208$$

$$84 = 2 + Z \qquad Z = 82$$



Comparação de Reacções Químicas e de Reacções Nucleares**Reacções Químicas**

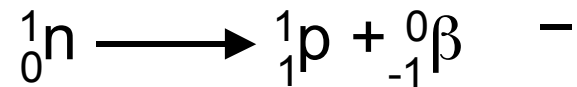
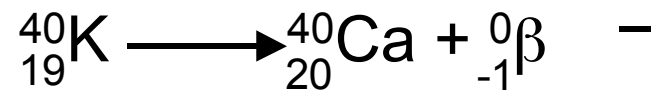
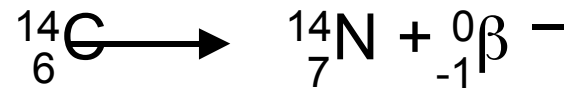
1. Os átomos são reagrupados pela ruptura e formação de ligações químicas.
2. Apenas estão envolvidos os electrões das orbitais atómicas ou moleculares na ruptura e na formação de ligações.
3. As reacções são acompanhadas da absorção ou libertação de pequenas quantidades de energia.
4. As velocidades das reacções são influenciadas pela temperatura, pela pressão, pela concentração e pela catálise.

Reacções Nucleares

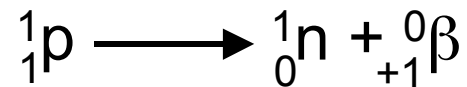
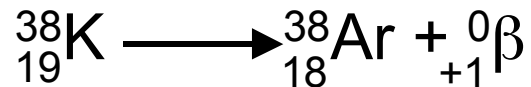
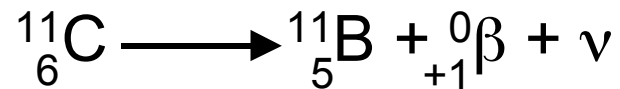
1. Os elementos (ou isótopos do mesmo elemento) são convertidos um no outro.
2. Podem estar envolvidos os protões, os neutrões, os electrões e outras partículas elementares.
3. As reacções são acompanhadas da absorção ou libertação de grandes quantidades de energia.
4. As velocidades das reacções normalmente não são afectadas pela temperatura, pela pressão ou pela catálise.

9.2- Estabilidade nuclear e Desintegração Radioactiva

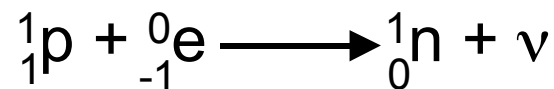
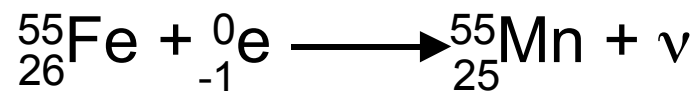
Emissão partículas beta



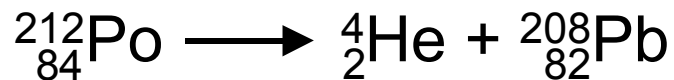
Emissão de positrão



Captura eletrónica



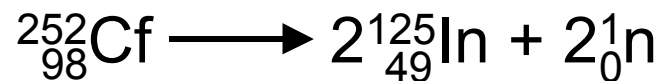
Emissão partículas alfa

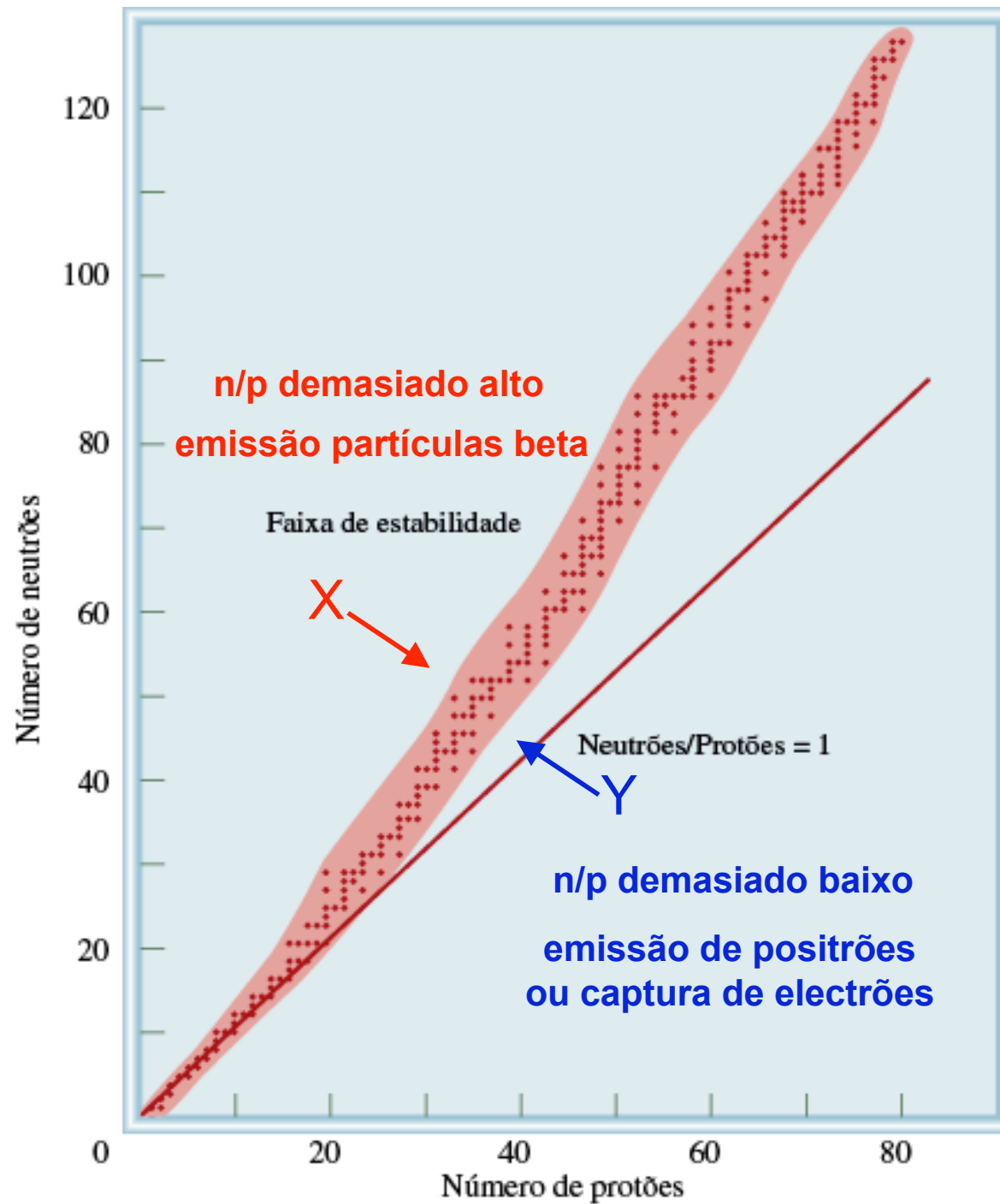


Diminuição do n.º de neutrões por 2

Diminuição do n.º de protões por 2

Cisão espontânea





Estabilidade Nuclear

- Determinados números de neutrões e protões têm estabilidade **extra**
 - n ou $p = 2, 8, 20, 50, 82$ e 126

Como os números extra estáveis de electrões nos gases nobres ($e^- = 2, 10, 18, 36, 54$ e 86)

- Núcleos com números pares de protões e neutrões são mais estáveis do que os que com números ímpares.
- Todos os isótopos dos elementos com números atómicos superiores a 83 são radioactivos
- Todos os isótopos de Tc e Pm são radioactivos

TABELA 23.2	Números de Isótopos Estáveis com Números Pares e Ímpares de Protões e de Neutrões		
	Protões	Neutrões	Número de Isótopos Estáveis
	Ímpar	Ímpar	004
	Ímpar	Par	050
	Par	Ímpar	053
	Par	Par	164

Energia de ligação nuclear (EL) : energia necessária para separar o núcleo nos seus prótons e neutrões.

Expressa a conversão de massa em energia, que ocorre durante uma reacção extérmica.

Provém de estudos das propriedades nucleares que mostram que as massas dos núcleos são sempre inferiores à soma das massas dos nucleões.

Defeito de massa = diferença entre a massa de um átomo e a soma das massas dos seus prótons, neutrões e electrões

$$\text{Massa } {}^{19}_{9}\text{F} = 18.9984$$

$$\text{massa } {}^{19}\text{F} - [9 \times (\text{massa } p) + 10 \times (\text{massa } n)]$$

$$18.9984 - (9 \times 1,007825 + 10 \times 1,008665)$$

$$18.9984 - 19,15708 = - 0.1587$$

A Teoria da Relatividade diz que a perda de massa aparece como energia (calor) libertado para a vizinhança.

De acordo com a relação de equivalência massa-energia de Einstein:

$$E = mc^2$$

E = energia

m= massa

C = velocidade da luz

Podemos calcular a quantidade de energia libertada:

$$\Delta E = (\Delta m)c^2$$

$$\Delta m = 18.9984 - 19,15708 = - 0.1587 \text{ u}$$

$$\Delta E = (- 0.1587 \text{ u}) \times (3,00 \times 10^8 \text{ m/s})^2 = - 1,43 \times 10^{16} \text{ um}^2/\text{s}^2$$

Com os factores de conversão:

Obtemos:

$$1 \text{ Kg} = 6,0022 \times 10^{26} \text{ u}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Kg m}^2/\text{s}^2$$

$$\Delta E = - 2,37 \times 10^{-11} \text{ J}$$

Esta é a quantidade de energia libertada quando se forma um um núcleo de ^{19}F a partir de 9 prótons e 10 neutrões.

A **Energia de Ligação Nuclear** é de $2,37 \times 10^{11}\text{J}$: quantidade de energia necessária para decompor o núcleo em prótons e neutrões.

Na formação de 1 mole de núcleos de Fluor a energia libertada é:

$$\Delta E = (- 2,37 \times 10^{11}\text{J}) \times (6,022 \times 10^{23} / \text{mol}) = - 1,43 \times 10^{10} \text{ KJ/mol}$$

A energia de ligação nuclear é portanto **$1,43 \times 10^{10} \text{ KJ}$** , para uma mole de núcleos de F o que representa uma quantidade extremamente grande quando consideramos que as as entalpias das reacções químicas normais são da ordem de apenas **200 KJ**.

A **Energia de Ligação Nuclear** é uma indicação da estabilidade de um núcleo.

Contudo ao compararmos a estabilidade de dois núcleos temos que ter em conta que possuem números de nucleões diferentes.

Devemos por isso usar a Energia de Ligação por Nucleão que nos permite comparar a energia de todos os núcleos tendo uma base comum.

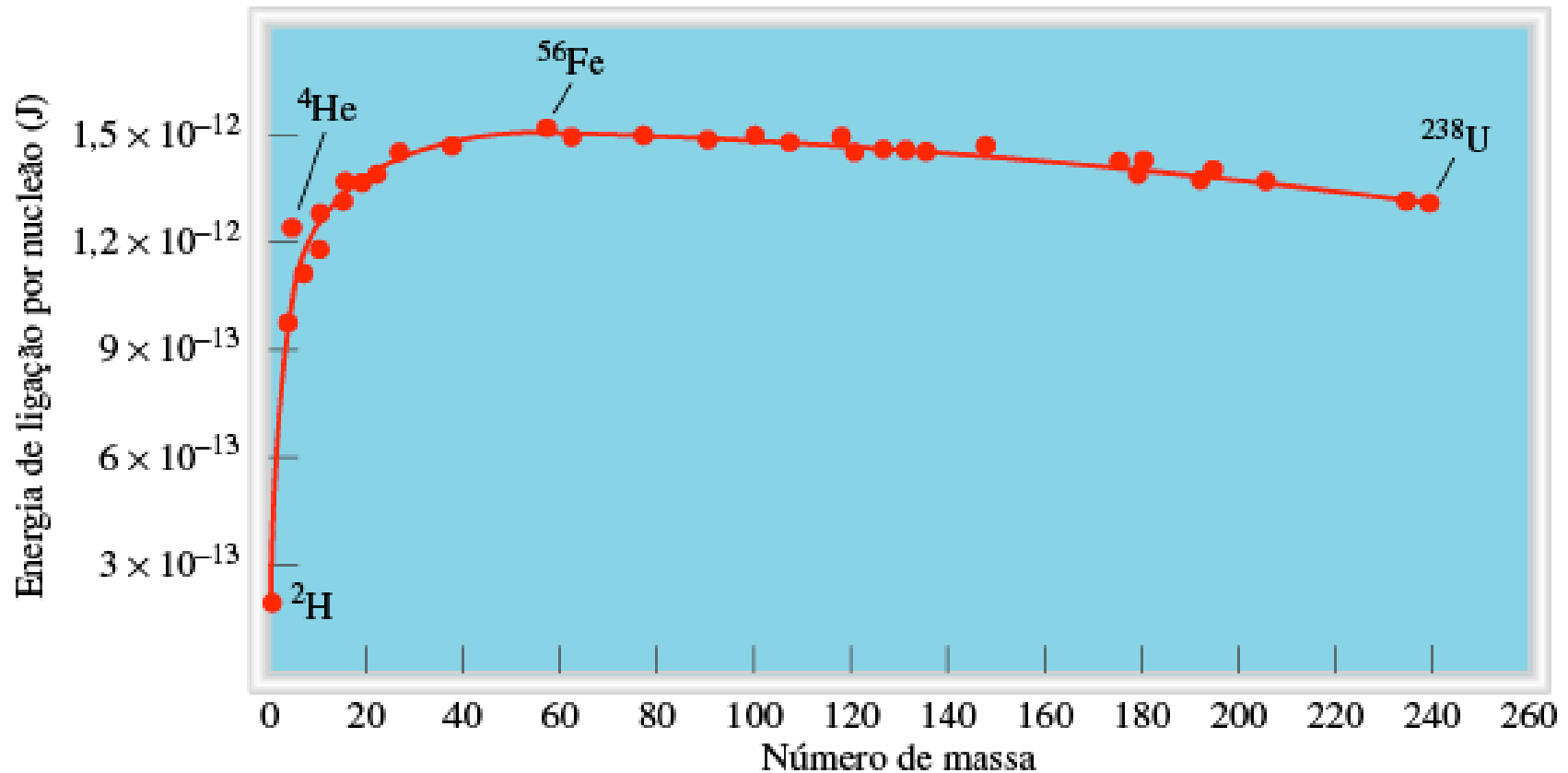
$$\text{Energia de Ligação por Nucleão} = \frac{\text{energia de ligação nuclear}}{\text{nucleão}}$$

Exemplo: núcleo de ^{19}F :

$$\text{Energia de Ligação por Nucleão: } \frac{2,37 \times 10^{-11} \text{ J}}{19 \text{ nucleões}} = 1,25 \times 10^{-12} \text{ J /nucleão}$$

Os núcleos que estão fora da faixa de estabilidade bem como os núcleos com mais de 83 prótons tendem a ser instáveis.

Energia de ligação nuclear por nucleão vs. número de massa



energia de ligação nuclear
nucleão ↑

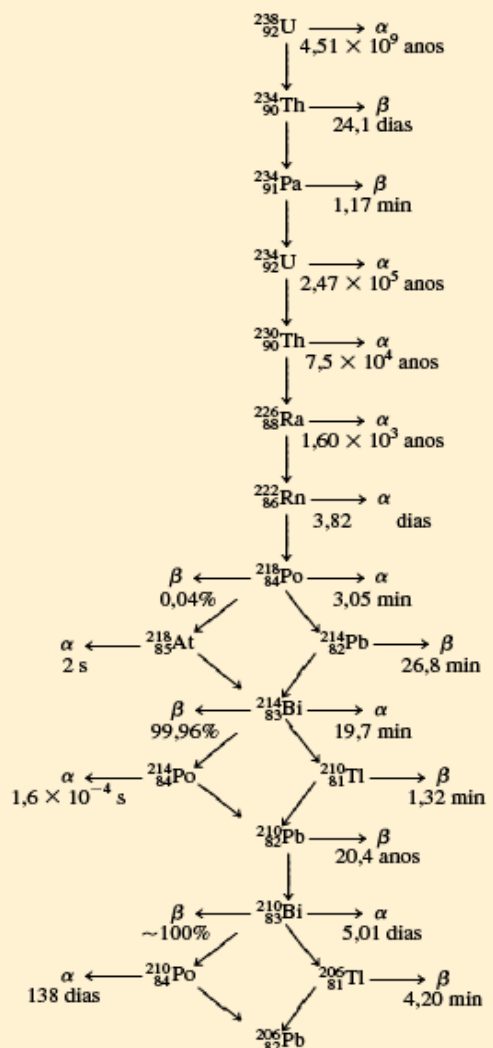
estabilidade
nuclear ↑

9.3- Radioatividade natural

A desintegração de um núcleo radioactivo é por vezes o início de uma série de decaimentos radioactivos, que é uma sequência de reacções nucleares que no final resultam na formação do isótopo mais estável.

TABELA 23.3

A Série de Desintegração do Urânio

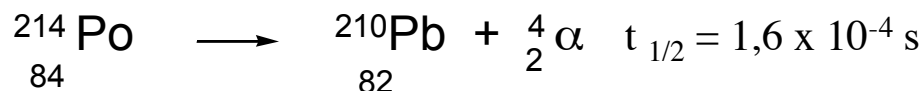
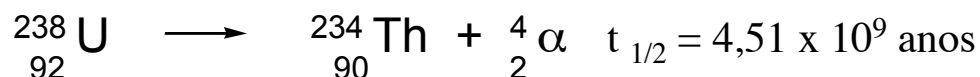


Cinética do decaimento radioactivo

Todos os decaimentos radioactivos seguem uma cinética de primeira ordem e o tempo de meia-vida correspondente é dado por:

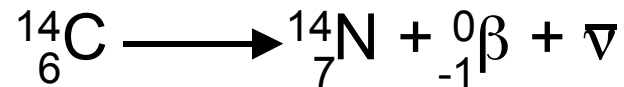
$$t_{1/2} = 0,693 / \lambda$$

Os tempos de meia-vida variam bastante de isótopo para isótopo:



Datação: os tempos de meia-vida de certos isótopos têm sido usados
Como “relógios atômicos” para determinar a idade de certos “objectos”.

Datação pelo Radiocarbono:



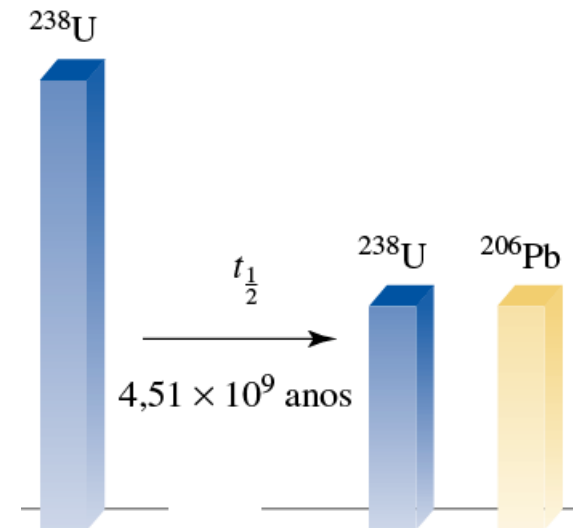
O isótopo C-14 é obtido quando o nitrogénio atômico é bombardeado por raios cósmicos.

$$t_{1/2} = 5730 \text{ anos}$$

Datação pelo Urânio-238



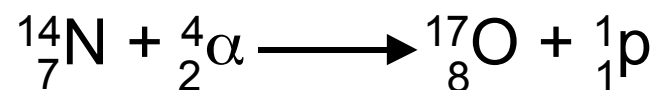
$$t_{1/2} = 4,51 \times 10^9 \text{ anos}$$



9.4- Transmutação nuclear

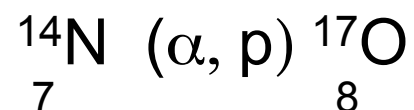
Radioactividade artificial: difere do decaimento radioactivo pelo facto de ser provocada pelo choque de duas partículas.

Rutherford em 1919 bombardeou uma amostra de N com partículas α :



Produziu-se um isótopo do O-17 com emissão de um protão

A reacção pode ser abreviada como:



Outro exemplo:



Transmutação Nuclear

TABELA 23.4

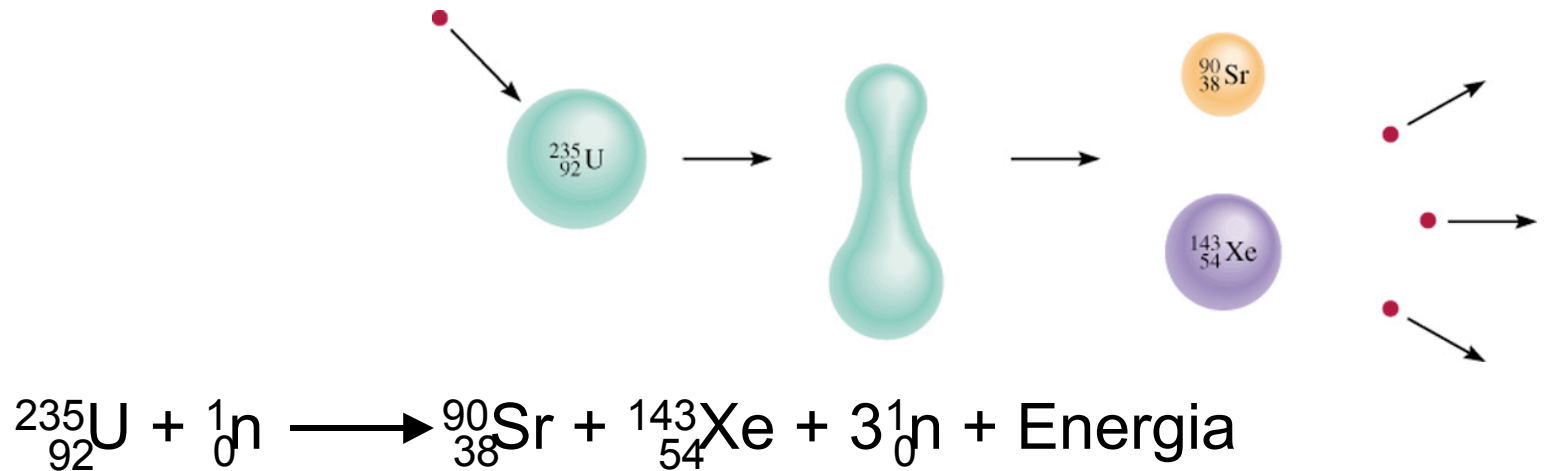
Os Elementos Transurânicos

Número Atômico	Nome	Símbolo	Preparação
93	Neptúncio	Np	${}_{92}^{238}\text{U} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{93}^{239}\text{Np} + {}_{-1}^0\text{b}$
94	Plutônio	Pu	${}_{93}^{239}\text{Np} \longrightarrow {}_{94}^{239}\text{Pu} + {}_{-1}^0\text{b}$
95	Americônio	Am	${}_{94}^{239}\text{Pu} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{95}^{240}\text{Am} + {}_{-1}^0\text{b}$
96	Cúrio	Cm	${}_{94}^{239}\text{Pu} + {}_2^4\text{a} \longrightarrow {}_{96}^{242}\text{Cm} + {}_0^1\text{n}$
97	Berquílio	Bk	${}_{95}^{241}\text{Am} + {}_2^4\text{a} \longrightarrow {}_{97}^{243}\text{Bk} + 2{}_0^1\text{n}$
98	Califórnia	Cf	${}_{96}^{242}\text{Cm} + {}_2^4\text{a} \longrightarrow {}_{98}^{245}\text{Cf} + {}_0^1\text{n}$
99	Einsteinio	Es	${}_{92}^{238}\text{U} + 15{}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{99}^{253}\text{Es} + 7{}_{-1}^0\text{b}$
100	Férmio	Fm	${}_{92}^{238}\text{U} + 17{}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{100}^{255}\text{Fm} + 8{}_{-1}^0\text{b}$
101	Mendelévio	Md	${}_{99}^{253}\text{Es} + {}_2^4\text{a} \longrightarrow {}_{101}^{256}\text{Md} + {}_0^1\text{n}$
102	Nobélio	No	${}_{96}^{246}\text{Cm} + {}_6^{12}\text{C} \longrightarrow {}_{102}^{254}\text{No} + 4{}_0^1\text{n}$
103	Laurêncio	Lr	${}_{98}^{252}\text{Cf} + {}_5^{10}\text{B} \longrightarrow {}_{103}^{253}\text{Lr} + 5{}_0^1\text{n}$
104	Ruterfórdio	Rf	${}_{98}^{249}\text{Cf} + {}_6^{12}\text{C} \longrightarrow {}_{104}^{257}\text{Rf} + 4{}_0^1\text{n}$
105	Dúbnio	Db	${}_{98}^{249}\text{Cf} + {}_7^{15}\text{N} \longrightarrow {}_{105}^{260}\text{Db} + 4{}_0^1\text{n}$
106	Sibórgio	Sg	${}_{98}^{249}\text{Cf} + {}_8^{18}\text{O} \longrightarrow {}_{106}^{263}\text{Sg} + 4{}_0^1\text{n}$
107	Bóhrnio	Bh	${}_{83}^{209}\text{Bi} + {}_{24}^{54}\text{Cr} \longrightarrow {}_{107}^{266}\text{Bh} + {}_0^1\text{n}$
108	Hássio	Hs	${}_{82}^{208}\text{Pb} + {}_{26}^{58}\text{Fe} \longrightarrow {}_{108}^{265}\text{Hs} + {}_0^1\text{n}$
109	Meitnério	Mt	${}_{83}^{209}\text{Bi} + {}_{26}^{58}\text{Fe} \longrightarrow {}_{109}^{266}\text{Mt} + {}_0^1\text{n}$

9.5- Cisão nuclear

Processo no qual um núcleo pesado (com número de massa > 200) se divide para formar núcleos menores com massas intermédias e um ou mais neutrões.

Como o núcleo pesado é menos estável do que os núcleos que gera este processo liberta uma grande quantidade de energia.



$$\text{Energia} = [\text{massa } {}^{235}\text{U} + \text{massa } n - (\text{massa } {}^{90}\text{Sr} + \text{massa } {}^{143}\text{Xe} + 3 \times \text{massa } n)] \times c^2$$

$$\text{Energia} = 3,3 \times 10^{-11} \text{ J por } {}^{235}\text{U} = 2,0 \times 10^{13} \text{ J por mole } {}^{235}\text{U}$$

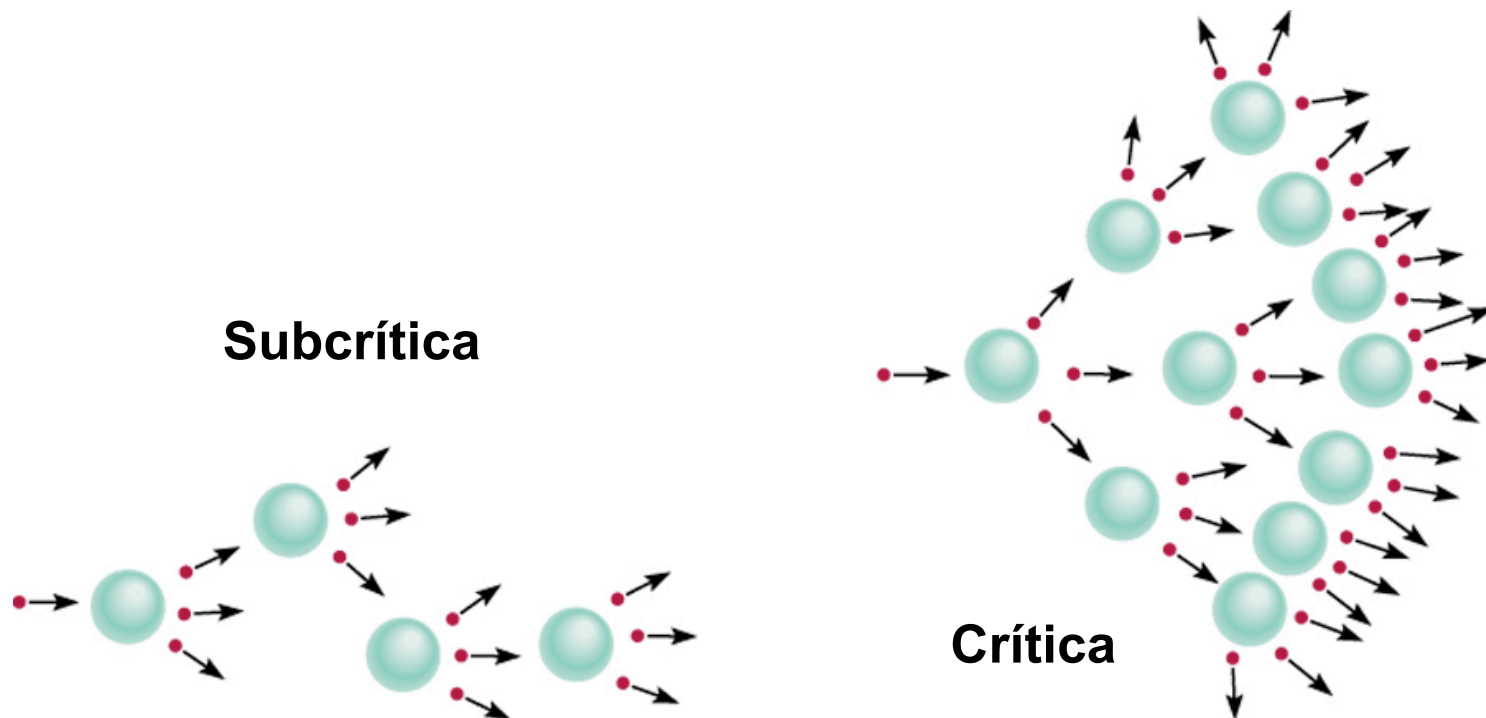
$$\text{Combustão de 1 ton de carvão} = 5 \times 10^7 \text{ J}$$

Cisão Nuclear

O aspecto significativo da cisão do **Urânio-235** não é apenas a enorme quantidade de energia libertada mas também por se produzirem mais neutrões do que os que são capturados no processo. O que origina a possibilidade de uma **reacção nuclear em cadeia**.

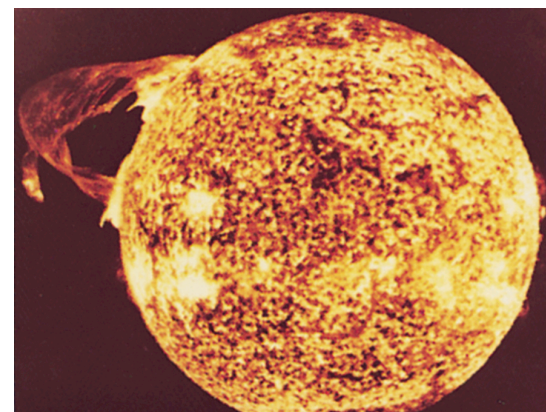
Massa crítica - massa mínima de material cindível necessária para gerar uma reacção nuclear em cadeia auto-sustentável.

Aplicações: *i)* bomba atómica; *ii)* obtenção de electricidade usando o calor da reacção nuclear em cadeia (os reactores nucleares fornecem 20% da energia eléctrica nos EUA).



Fusão Nuclear- combinação de núcleos pequenos originando núcleos maiores.

Reacção de Fusão	Energia Libertada
${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \longrightarrow {}^3_1\text{H} + {}^1_1\text{H}$	$6,3 \times 10^{-13} \text{ J}$
${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$	$2,8 \times 10^{-12} \text{ J}$
${}^6_3\text{Li} + {}^2_1\text{H} \longrightarrow 2 {}^4_2\text{He}$	$3,6 \times 10^{-12} \text{ J}$



A fusão nuclear ocorre constantemente no sol.

O Sol é constituído essencialmente por **H** e **He**. No seu interior as temperaturas atingem cerca de 15 milhões de graus celsius.

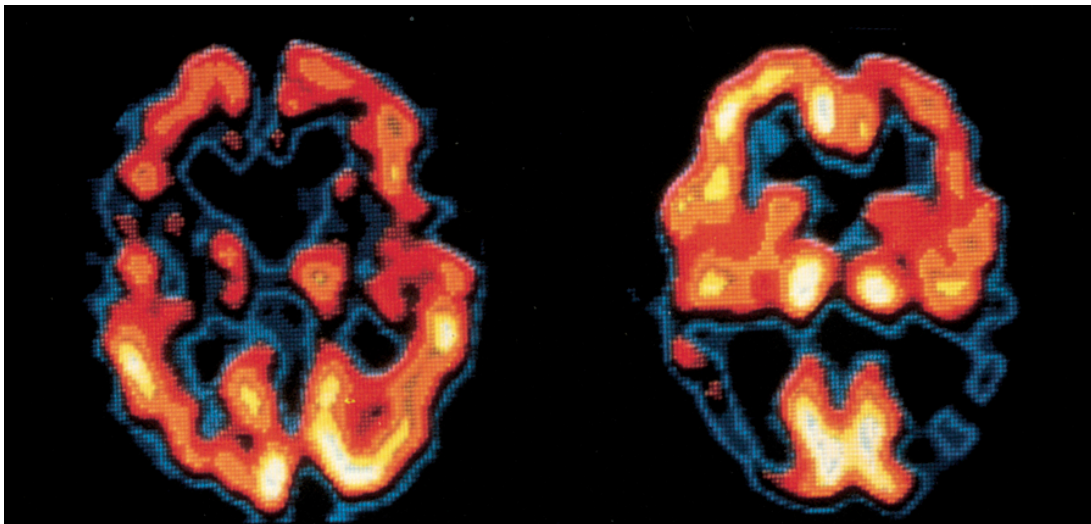
Como as **reacções de fusão** ocorrem geralmente a temperaturas muito elevadas são denominadas **reacções termonucleares**.

Aplicação: Fonte de energia promissora.

9.6- Aplicação de isótopos

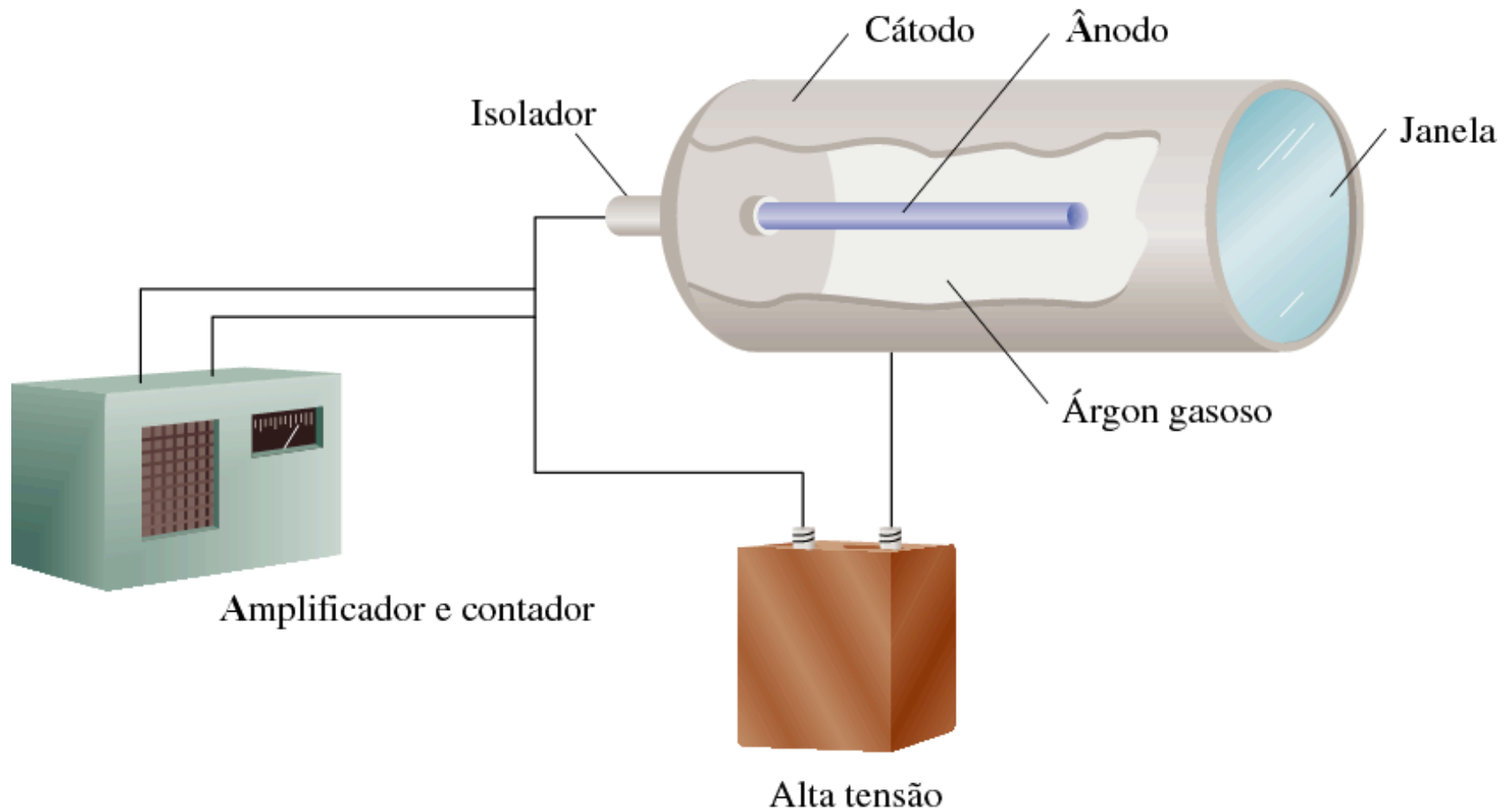
Isótopos Radioactivos na Medicina

- 1 em cada 3 doentes hospitalizado beneficiará de um procedimento médico nuclear
- ^{24}Na , $t_{1/2} = 14,8 \text{ h}$, emissor β , controlo do fluxo sanguíneo
- ^{131}I , $t_{1/2} = 8 \text{ d}$, emissor β , actividade da tiróide
- ^{123}I , $t_{1/2} = 13,3 \text{ h}$, emissor de raios γ , imagens do cérebro
- ^{18}F , $t_{1/2} = 1,8 \text{ h}$, emissor β^+ , tomografia por emissão de positrões
- $^{99\text{m}}\text{Tc}$, $t_{1/2} = 6 \text{ hr}$, emissor de raios γ , obtenção de imagens



Imagens do cérebro
obtidas com um composto
marcado com ^{123}I .

Contador Geiger



9.7- Efeitos biológicos da radiação

Depende da parte do corpo irradiada e também do tipo de radiação. Por isso o **rad** é muitas vezes multiplicado por um factor chamado **RBE** (relative biological effectiveness).

Unidade para a dose de radiação absorvida:

Radiação absorvida dose (rad): $1 \text{ rad} = 1 \times 10^{-5} \text{ J/g}$ de material

Roentgen equivalent for man (rem): $1 \text{ rem} = 1 \text{ rad} \times \text{RBE}$

TABELA 23.6

Doses de Radiação Médias Anuais para os Americanos

Fonte	Dose (mrem*/ano)
Raios cósmicos	20-50
Solo e vizinhança	25
Corpo humano**	26
Raios X medicinais e dentista	50-75
Viagens aéreas	5
Descarga de testes nucleares	5
Resíduos nucleares	2
Total	133-188

* $1 \text{ mrem} = 1 \text{ milirem} = 1 \times 10^{-3} \text{ rem}$.

** A radioactividade no corpo provém dos alimentos e do ar.

α -têm o menor poder de penetração

γ -têm o maior poder de penetração: λ pequenos e energias elevadas e como não têm carga não podem ser detidas tão facilmente por materiais de protecção tais como as partículas α e β .

A Irradiação de Alimentos



Doses de Irradiação de Alimentos e os seus Efeitos*

Dose	Efeito
Dose baixa [Até 100 krad (1 kGy)]	Inibe o gelar das batatas, nas cebolas e nos alhos. Inactiva os embriões de lombriga na carne de porco Mata ou impede a reprodução de insectos nos cereais, na fruta e nos vegetais após a colheita.
Dose média [100-1000 krad (1-10 Gy)]	Atrasa o estragar da carne, das aves e do peixe matando os micro-organismos responsáveis pela deterioração. Reduz a salmonela e outros patogéneos gerados nos alimentos: na carne, no peixe e nas aves. Prolonga o tempo de prateleira atrasando o crescimento de bolores em morangos e algumas outras frutas.
Dose alta [1000 a 10000 krad (10 a 100 Gy)]	Esteriliza a carne, as aves, o peixe e alguns outros alimentos. Mata os microorganismos e insectos nas especiarias e nos temperos.

* Fonte: *Chemical&Engineering News*, 5 de Maio de 1986.