

### C-0 Modelo Atômico

Neste subtema relembra-se a estrutura atômica e aborda-se a estabilidade dos núcleos. Termina-se com uma breve referência à radioatividade.

#### 1 O núcleo atômico

Antes de se analisar a estabilidade dos núcleos e a energia de ligação nuclear, convém lembrar a estrutura dos átomos, nomeadamente a constituição dos núcleos atômicos.

##### 1.1 Constituição do núcleo

###### Como é constituído o núcleo de um átomo?

Os átomos dos elementos químicos são constituídos por prótons, neutrões e eletrões.

Os prótons são partículas com carga elétrica positiva, os neutrões não têm carga elétrica e os eletrões têm carga elétrica negativa.

Os **prótons** e os **neutrões** encontram-se na região central dos átomos, no **núcleo**, e os eletrões giram à volta do núcleo.

Os átomos são neutros porque têm igual número de cargas elétricas positivas, os prótons, e de cargas elétricas negativas, os eletrões.

Se um átomo ganhar eletrões origina um ião negativo e se perder eletrões transforma-se num ião positivo.

###### A saber:

*O núcleo de um átomo é constituído por prótons e por neutrões.*

##### 1.2 Número atômico e número de massa. Nuclido

O **número atômico**, que se designa por **Z**, corresponde ao **número de prótons** existentes no núcleo. O número atômico caracteriza um elemento químico, pois elementos químicos diferentes, têm diferente número atômico.

O **número de massa**, que se representa por **A**, corresponde à **soma** do número de **prótons** com o número de **neutrões**, ou seja, corresponde ao número de partículas do núcleo, chamados **nucleões**.

Um **núcleo atômico** pode ser definido pelo símbolo químico do elemento e pelos números atômico e de massa,



###### A saber:

*O número de neutrões corresponde à diferença entre o número massa, A, e o número atômico, Z.*

Sendo:

$X \rightarrow$  símbolo químico

$A \rightarrow$  número de massa

$Z \rightarrow$  número atômico

Por exemplo, um núcleo de hélio que é constituído por 2 prótons e 2 neutrões, é representado simbolicamente por:



**Nuclido** é a designação de uma espécie atômica constituída por átomos cujos núcleos têm exatamente a mesma constituição, isto é, têm o mesmo número de prótons e o mesmo número de neutrões.

Os átomos de um elemento químico têm todos o mesmo número atômico, mas podem diferir no número de neutrões, isto é, terem diferente número de massa. Estes nuclidos que têm o mesmo número atômico e diferente número de massa designam-se por **isótopos**.

Por exemplo, o hidrogénio tem três isótopos, o **prótio**, o **deutério** e o **trítio**.

**Prótio:**  ${}^1_1\text{H}$ ; **Deutério:**  ${}^2_1\text{H}$ ; **Trítio:**  ${}^3_1\text{H}$ .

#### A saber:

Símbolo de um nuclido:  ${}^A_Z\text{X}$

### Questões resolvidas

1. Represente um nuclido de:

1.1. Oxigénio, que tem número de massa 17 e número atômico 8.

1.2. Sódio, constituído por 11 prótons e 12 neutrões.

**Resolução:**

1.1.  ${}^{17}_8\text{O}$ .

1.2.  ${}^{23}_{11}\text{Na}$ .

2. Indique o número de prótons e de neutrões dos seguintes nuclidos:  ${}^7_4\text{Be}$ ;  ${}^{22}_{10}\text{Ne}$ ;  ${}^{40}_{19}\text{K}$ ;  ${}^{238}_{92}\text{U}$ .

**Resolução:**

2.  ${}^7_4\text{Be}$ : 4 prótons e 3 neutrões.

${}^{22}_{10}\text{Ne}$ : 10 prótons e 12 neutrões.

${}^{40}_{19}\text{K}$ : 19 prótons e 21 neutrões.

${}^{238}_{92}\text{U}$ : 92 prótons e 146 neutrões.

### 1.3 Energia de ligação nuclear

#### A que se deve a energia de ligação nuclear?

A **massa** dos átomos pode ser obtida com muita precisão, através de um aparelho chamado **espectrómetro de massa**. Essas massas são expressas em **unidades de massa atômica, u**.

Sendo a massa do isótopo 12 do carbono,  $^{12}\text{C}$ , 12 u, então:

**1 u é 1/12 da massa do átomo de carbono 12.**

A relação entre uma unidade de massa atômica e o quilograma, é:

$$1 \text{ u} = 1,66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

A massa do próton é sensivelmente igual à massa do neutrão e a massa do elétron é muito menor, cerca de 1836 vezes inferior à do próton. Na tabela seguinte são mostrados estes dados.

Massa do próton (kg)	$1,6727 \times 10^{-27}$
Massa do neutrão (kg)	$1,6750 \times 10^{-27}$
Massa do elétron (kg)	$9,109 \times 10^{-31}$

Tabela 5 – Massas do próton, neutrão e elétron, em repouso.

A **massa** total de um **núcleo** é sempre **menor** do que a **soma das massas** dos seus **nucleões** (prótons e neutrões), com exceção do prótio,  $^1\text{H}$ , que não tem neutrões.

Há uma **diferença de massa** entre os prótons e os neutrões separados e os mesmos prótons e neutrões juntos, num núcleo atômico. Isto deve-se à **energia de ligação nuclear**.

De acordo com a relação de **equivalência entre massa e energia** de Einstein:

$$E = m c^2$$

Pode-se calcular a **energia libertada,  $\Delta E$** , no processo de **formação de um núcleo** a partir dos prótons e neutrões considerados em separado. Esta energia corresponde à **diminuição de massa,  $\Delta m$** , que se verifica nesse processo.

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

Assim, a **energia de ligação nuclear** é:

$$\Delta E = (Zm_p + Nm_n - \overset{A}{M}) c^2$$

Em que:

- **Z** representa o número de prótons;

- $m_p$  representa a massa do próton;
- $N$  representa o número de nêutrons;
- $m_n$  representa a massa do nêutron;
- ${}^A_ZM$  representa a massa total do núcleo;
- $c$  representa a velocidade, no vácuo, de uma radiação eletromagnética.

$E$ , a diferença de massa:  $\Delta m = Zm_p + Nm_n - {}^A_ZM$  chama-se **defeito de massa**.

A massa total do núcleo corresponde à massa atômica, pois os elétrons têm uma massa praticamente desprezável.

Na tabela seguinte apresentam-se as massas atômicas do nêutron, do próton e de um isótopo. Na Tabela Periódica, no final do manual, encontram-se as massas atômicas dos núcleos dos elementos.

### A saber:

*A energia de ligação nuclear é a energia libertada quando um núcleo se forma a partir dos seus constituintes ou a energia fornecida para desagregar um núcleo nas suas partículas constituintes.*

Elemento	Símbolo	Número atômico, $Z$	Massa atômica (u)
Nêutron	${}_0^1n$	0	1,008665
Próton	${}_1^1p$ ou ${}_1^1H$	1	1,007825
Trítio	${}_1^3H$	1	3,016050

Tabela 6 – Massas atômicas.

## Questão resolvida

1. Determine a energia de ligação do núcleo de hélio,  ${}^4_2He$ .

### Resolução:

1. Dados:  $m_p = 1,007825$  u

$$m_n = 1,008665$$
 u

$$m({}^4_2He) = 4,002602$$
 u

$$1 \text{ u} = 1,66054 \times 10^{-27}$$
 kg

$$\Delta m = 2 m_p + 2 m_n - {}^4_2M$$

$$\Delta m = 2 \times 1,007825 + 2 \times 1,008665 - 4,002602 = 0,030378 \text{ u} = 5,0444 \times 10^{-29}$$
 kg

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

$$\Delta E = 5,0444 \times 10^{-29} \times (3 \times 10^8)^2$$

$$\Delta E = 4,54 \times 10^{-12}$$
 J.

## 1.4 Estabilidade do núcleo

### Como analisar a estabilidade de um núcleo?

A maior ou menor estabilidade de um núcleo deve-se ao modo como os nucleões se encontram ligados ao núcleo. Ou seja, depende da quantidade de energia que é requerida para separar o núcleo nas partículas que o constituem.

#### A saber:

A energia de ligação associada a um núcleo é um indicador da estabilidade do núcleo.

Quanto maior for a diferença de massa, maior é a energia de ligação nuclear e mais estável é o núcleo. Também, no caso de um núcleo atômico com maior número de nucleões, isto é, com maior número de massa,  $A$ , a energia de ligação é maior.

No entanto, cada núcleo tem diferente número de nucleões e por isso é mais significativo analisar a estabilidade de um núcleo usando a energia de ligação por nucleão,  $\Delta E/\text{nucleão}$ :

$$\Delta E/\text{nucleão} = \frac{\Delta E}{n.^\circ \text{ nucleões}}$$

A figura 123 representa a energia de ligação por nucleão em função do número de massa.

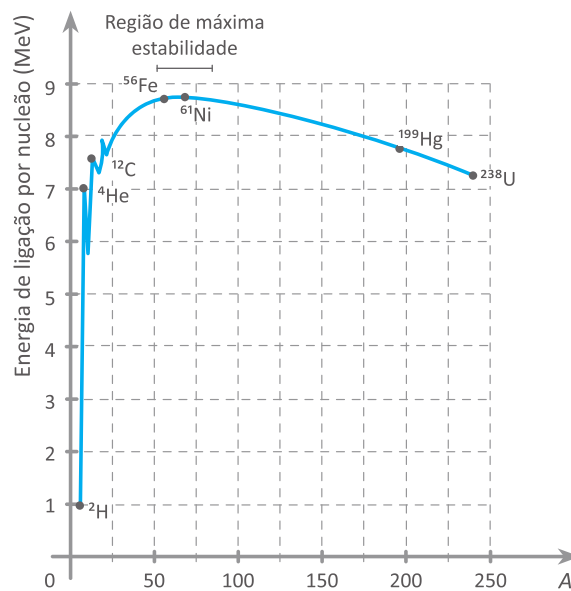


Figura 123 – Energia de ligação por nucleão em função do número de massa,  $A$ .

Analisando o gráfico, verifica-se que:

- existe uma zona de máxima estabilidade, em torno de 8,8 MeV, onde se situam os núcleos de ferro, cobalto e níquel, que são os mais fortemente ligados, tendo o Fe-56 o valor máximo;
- para números de massa superiores, a energia de ligação por nucleão decresce um pouco, mas continua a ser elevada;
- o valor mais baixo para a energia de ligação por nucleão corresponde ao núcleo de deutério, que é o isótopo H-2 do hidrogénio, sendo este o núcleo mais fácil de separar nas suas partículas constituintes.

### Questão resolvida

1. Calcule a energia de ligação por nucleão para o nuclídeo  ${}^{14}_6\text{C}$ , sabendo que a sua massa atómica é 14,00324 u, a massa do protão é 1,007825 u, a massa do neutrão é 1,008665 u e que 1 u equivale a  $1,66054 \times 10^{-27}$  kg.

#### Resolução:

$$1. \Delta E = (Zm_p + Nm_n - {}^A_ZM) c^2$$

$$\Delta E = (6 m_p + 8 m_n - {}^{14}_6M) c^2$$

$$\Delta E = (6 \times 1,007825 + 8 \times 1,008665 - 14,00324) \times 1,66054 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2$$

$$\Delta E = 1,689 \times 10^{-11} \text{ J}$$

$$\Delta E/\text{nucleão} = 1,206 \times 10^{-12} \text{ J/nucleão.}$$

## 2 Radioatividade

### Quem descobriu a radioatividade?



Antoine Henry Becquerel (1852-1908)

Em 1896, Antoine Henry **Becquerel** descobriu acidentalmente que sais de urânio emitiam espontaneamente uma radiação invisível, altamente penetrante, capaz de impressionar placas fotográficas e de ionizar gases. Becquerel descobriu, assim, a **radioatividade**.

No início do século XX o trabalho de Ernest **Rutherford** mostrou a existência de três tipos de radiações, que designou por **radiações alfa ( $\alpha$ )**, **beta ( $\beta$ )** e **gama ( $\gamma$ )** de acordo com a sua capacidade de penetrar na matéria e de ionizar o ar.



Ernest Rutherford (1871-1937)

A **radiação  $\alpha$**  era a menos penetrante e a que produzia maior ionização e a **radiação  $\gamma$**  era a mais penetrante e a que produzia menor ionização.

Chama-se **radioatividade** ao fenómeno que ocorre quando um núcleo não é estável e se transforma noutro, mais estável, por emissão de partículas ou de radiação eletromagnética.

### Resumo

- O núcleo de um átomo é constituído por protões e por neutrões.
- O número atómico corresponde ao número de protões.
- O número de massa corresponde à soma do número de protões com o número de neutrões.
- A energia de ligação nuclear deve-se à diferença de massa entre os protões e os neutrões separados e os mesmos protões e neutrões juntos, num núcleo atómico.
- Chama-se radioatividade ao fenómeno que ocorre quando um núcleo não é estável e se transforma noutro, mais estável, por emissão de partículas ou de radiação eletromagnética.

## Questões para resolver

1. A representação simbólica de um nuclido de estrôncio é  ${}_{38}^{90}\text{Sr}$ .

Indique a constituição desse núcleo.

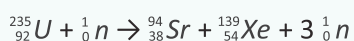
2. Represente um nuclido de:

2.1. Potássio, que tem número de massa 40 e número atômico 19.

2.2. Ferro, constituído por 26 prótons e 30 neutrões.

3. Indique o número de prótons e de neutrões dos seguintes nuclidos:  ${}_{92}^{235}\text{U}$ ;  ${}_{38}^{94}\text{Sr}$ ;  ${}_{54}^{139}\text{Xe}$ .

4. Considere a reacção de fissão nuclear do urânio-235.



4.1. Calcule, em unidades SI, a variação de massa,  $\Delta m$ , durante o processo de fissão.

4.2. Determine a energia equivalente à perda de massa.

Dados:

$$m({}_{92}^{235}\text{U}) = 235,0439 \text{ u}$$

$$m_n = 1,008665 \text{ u}$$

$$m({}_{38}^{94}\text{Sr}) = 89,907 \text{ u}$$

$$m({}_{54}^{139}\text{Xe}) = 104,908 \text{ u}$$

$$1 \text{ u} = 1,66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

5. Determine a energia de ligação por nucleão para o trítio  ${}^3_1\text{H}$ , sabendo que a sua massa atômica é 3,016049 u, a massa do próton é 1,007825 u, a massa do neutrão é 1,008665 u e que 1 u equivale a  $1,66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$ .