

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 protões, neutrões e eletrões.

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

Os **protões** 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 protões, 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 protões e por neutrões.

1.2 Número atômico e número de massa. Nuclido

O **número atômico**, que se designa por **Z**, corresponde ao **número de protões** 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 **protões** 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}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, ^1H , 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, ΔE** , no processo de **formação de um núcleo** a partir dos prótons e neutrões considerados em separado. Esta energia corresponde à **diminuição de massa, Δm** , 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 neutrões;
- m_n representa a massa do neutrão;
- 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 atómica, pois os eletrões têm uma massa praticamente desprezável.

Na tabela seguinte apresentam-se as massas atómicas do neutrão, do próton e de um isótopo. Na Tabela Periódica, no final do manual, encontram-se as massas atómicas 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 atómico, Z	Massa atómica (u)
Neutrão	${}_0^1n$	0	1,008665
Próton	${}_1^1p$ ou ${}_1^1H$	1	1,007825
Trítio	${}_1^3H$	1	3,016050

Tabela 6 – Massas atómicas.

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.

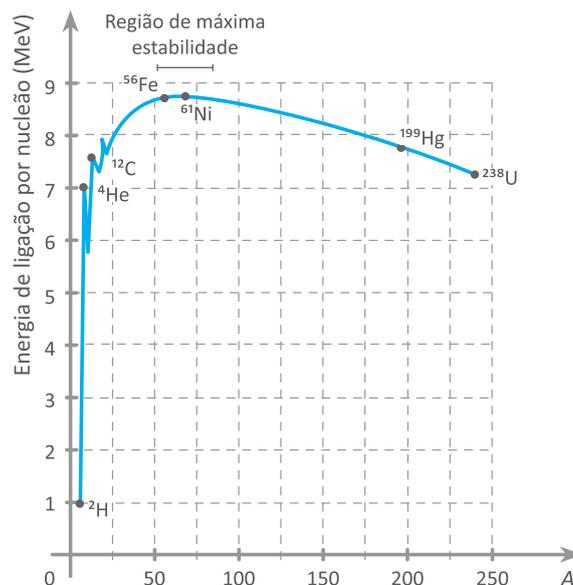


Figura 123 – Energia de ligação por nucleão em função do número de massa, A .

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 (α)**, **beta (β)** e **gama (γ)** de acordo com a sua capacidade de penetrar na matéria e de ionizar o ar.



Ernest Rutherford (1871-1937)

A **radiação α** era a menos penetrante e a que produzia maior ionização e a **radiação γ** 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 ${}^{90}_{38}\text{Sr}$.

Indique a constituição desse núcleo.

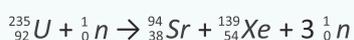
2. Represente um nuclido de:

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: ${}^{235}_{92}\text{U}$; ${}^{94}_{38}\text{Sr}$; ${}^{139}_{54}\text{Xe}$.

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



4.1. Calcule, em unidades SI, a variação de massa, Δm , durante o processo de fissão.

4.2. Determine a energia equivalente à perda de massa.

Dados:

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

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

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

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

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

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