

# Energia de ligação nuclear



## Relembrar

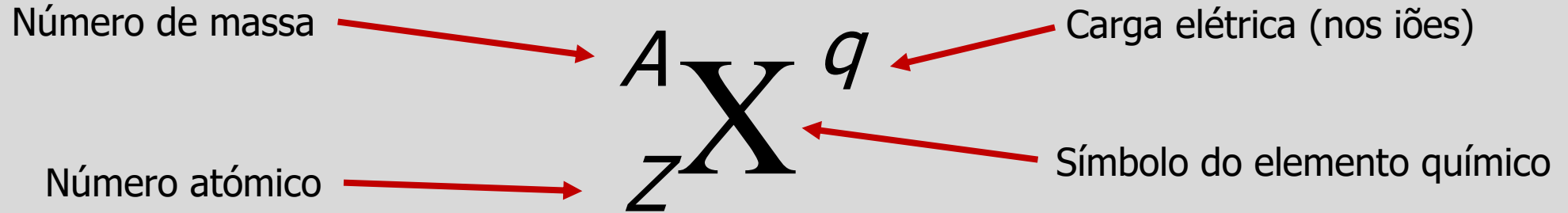
### Constituição do átomo

Partícula	Ano/autor da descoberta	Carga elétrica	Massa (kg)
Elétrão	1897 Thomson	negativa	$9,109 \times 10^{-31}$ (1830 vezes inferior ao próton)
Próton	1914 Rutherford	positiva	$1,673 \times 10^{-27}$ (aproximadamente igual ao neutrão)
Neutrão	1932 Chadwick	neutra	$1,675 \times 10^{-27}$ (aproximadamente igual ao próton)

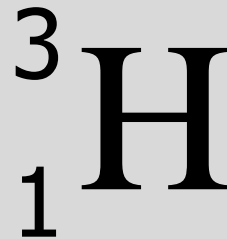
Cada átomo tem um **número igual de prótons e de elétrons**, o que o torna **eletricamente neutro**.

## Relembrar

### Representação do átomo



Por exemplo, um átomo de hidrogénio (H), que tem número atómico 1 ( $Z=1$ ) e que tem 2 neutrões ( $N=2$ ):



## Relembrar

### Isótopos

Isótopos são átomos do **mesmo elemento químico** (mesmo  $Z$ ) com **diferente número de massa** ( $A$ ).

Têm diferentes número de neutrões.

Exemplos:

$^1\text{H}$	hidrogénio-1	prótio	1 próton	+ 1 eletrão
$^2\text{H}$	hidrogénio-2	deutério	1 próton + 1 neutrão	+ 1 eletrão
$^3\text{H}$	hidrogénio-3	trítio	1 próton + 2 neutrões	+ 1 eletrão
$^{12}\text{C}$	carbono-12		6 prótons + 6 neutrões	+ 6 eletrões
$^{13}\text{C}$	carbono-13		6 prótons + 7 neutrões	+ 6 eletrões
$^{14}\text{C}$	carbono-14		6 prótons + 8 neutrões	+ 6 eletrões

Os isótopos de um elemento não existem na natureza em igual percentagem!

## Relembrar

### Interações fundamentais

Interação	Agente	Intensidade relativa	Alcance	Partícula mediadora
Gravitacional	Partículas com massa	1	Infinito	Gravitão
Fraca	Alguns <i>quarks</i>	$10^{35}$	$< 10^{-18}$ m	$W^+$ $W^-$ $Z^0$
Eletromagnética	Partículas carregadas	$10^{38}$	Infinito	Fotão
Forte	<i>Quarks</i> e partículas constituídas por <i>quarks</i>	$10^{40}$	$< 10^{-15}$ m	Gluão

## Isóbaros

Átomos de diferentes elementos químicos (diferente número de prótons) com **igual número de massa** ( $A$ ).

Exemplos:

$^{40}\text{Ar}$     18 prótons + 22 nêutrons

$^{40}\text{K}$     19 prótons + 21 nêutrons

$^{40}\text{Ca}$     20 prótons + 20 nêutrons

## Raios-X

Wilhem Röntgen, em 1895, descobriu os raios X.



Wilhelm Conrad Röntgen  
(1845-1923).  
Nobel da Física (1901) pela  
descoberta dos raios-X.

## Manchas nas placas...

Henri Becquerel, em 1896, observou a emissão de radiações altamente energéticas de um composto de urânio.



As placas fotográficas ficavam manchadas quando colocadas perto de sais de urânio.



[Marie Curie](#) (1867-1934).  
Nobel da Física (1903) e Nobel da Química (1911).

Só anos mais tarde é que se percebeu que as manchas eram provocadas por radiação  $\gamma$  (gama), libertada pelos núcleos de urânio.

Os estudos de Marie e Pierre Curie, de Rutherford e de Soddy demonstraram que os núcleos podem emitir partículas.



## Forças no núcleo

Entre os nucleões existem dois tipos de forças:

Forças repulsivas eletrostáticas (**interação eletromagnética**)  
protão-protão!

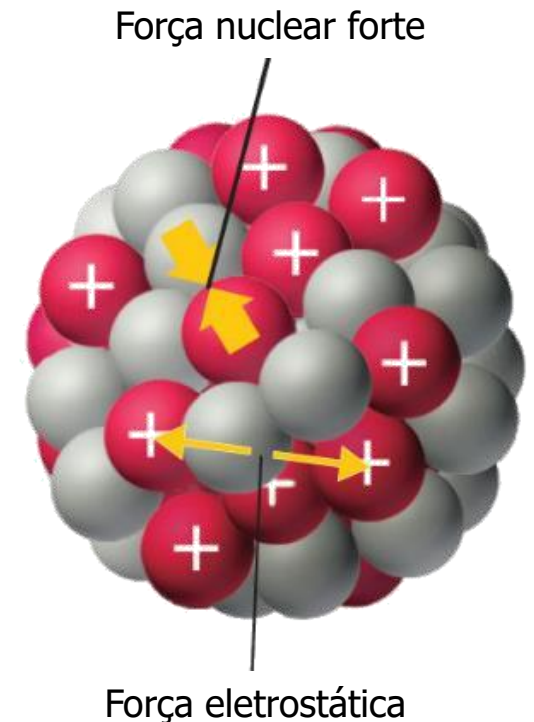
[Alcance da interação eletromagnética: infinito]

Forças atrativas (**interação forte**) protão-neutrão!

[Alcance da interação forte:  $< 10^{-15}$  m]

É a relação entre o número de prótons (forças repulsivas) e prótons e nêutrons (forças atrativas) que define a maior ou menor estabilidade de cada núcleo.

Para núcleos muito grandes a interação forte perde importância (devido ao alcance muito pequeno).

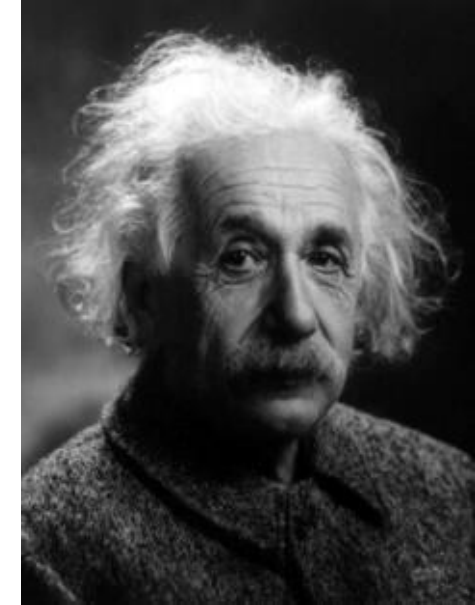


## Equivalência massa-energia

Einstein, em 1905, propôs que **massa e energia são manifestações da mesma grandeza.**

$$E = m c^2$$

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



[Albert Einstein](#) (1879-1955).  
Prémio Nobel da Física em 1921.

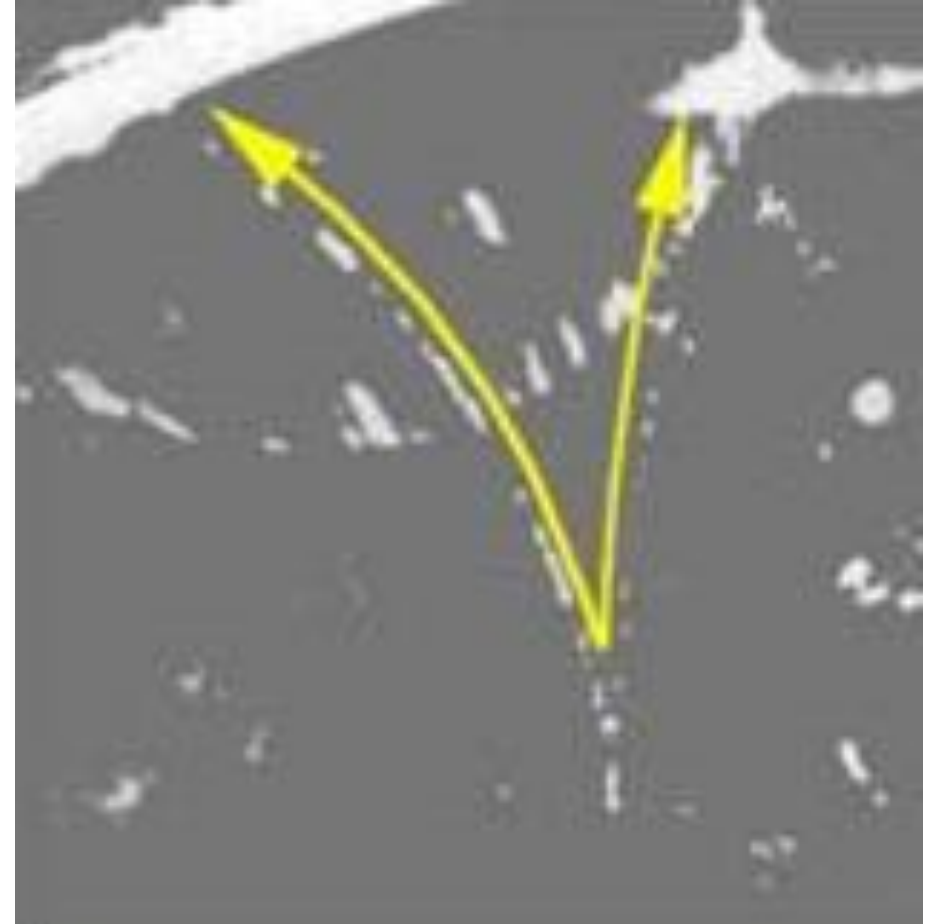
[variação e simplificação da equação  $E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2$ ]

## Equivalência massa-energia

Irène e Frédéric Joliot-Curie, em 1933, conseguiram fotografar este fenômeno usando uma câmara de ar sob a influência de um campo magnético.

Na imagem pode observar-se a criação de duas partículas, com trajetórias opostas, a partir de um radiação (luz).

Na mesma altura, Cockcroft e Walton, em Cambridge, observam o processo inverso (conversão de massa em energia): .



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

## Diferença de massas

**A massa de prótons e nêutrons separados é maior que a massa dos prótons e nêutrons juntos no núcleo!**

$$Zm_p + Nm_n > M$$

em que:

$Zm_p$  – massa dos prótons

$Nm_n$  – massa dos nêutrons

$M$  – massa do núcleo

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - M$$

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

## Energia de ligação nuclear ( $B$ )

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - M$$

$$B = \Delta E = (Zm_p + Nm_n - M) c^2$$

**Esta,  $B$ , é a energia necessária para separar todos os prótons e nêutrons de um núcleo atômico.**

ou...

**É a energia libertada quando os nucleões se unem num núcleo atômico.**

É cerca de 1 milhão de vezes superior às energias de ligação átomo-átomo.

Exemplo:

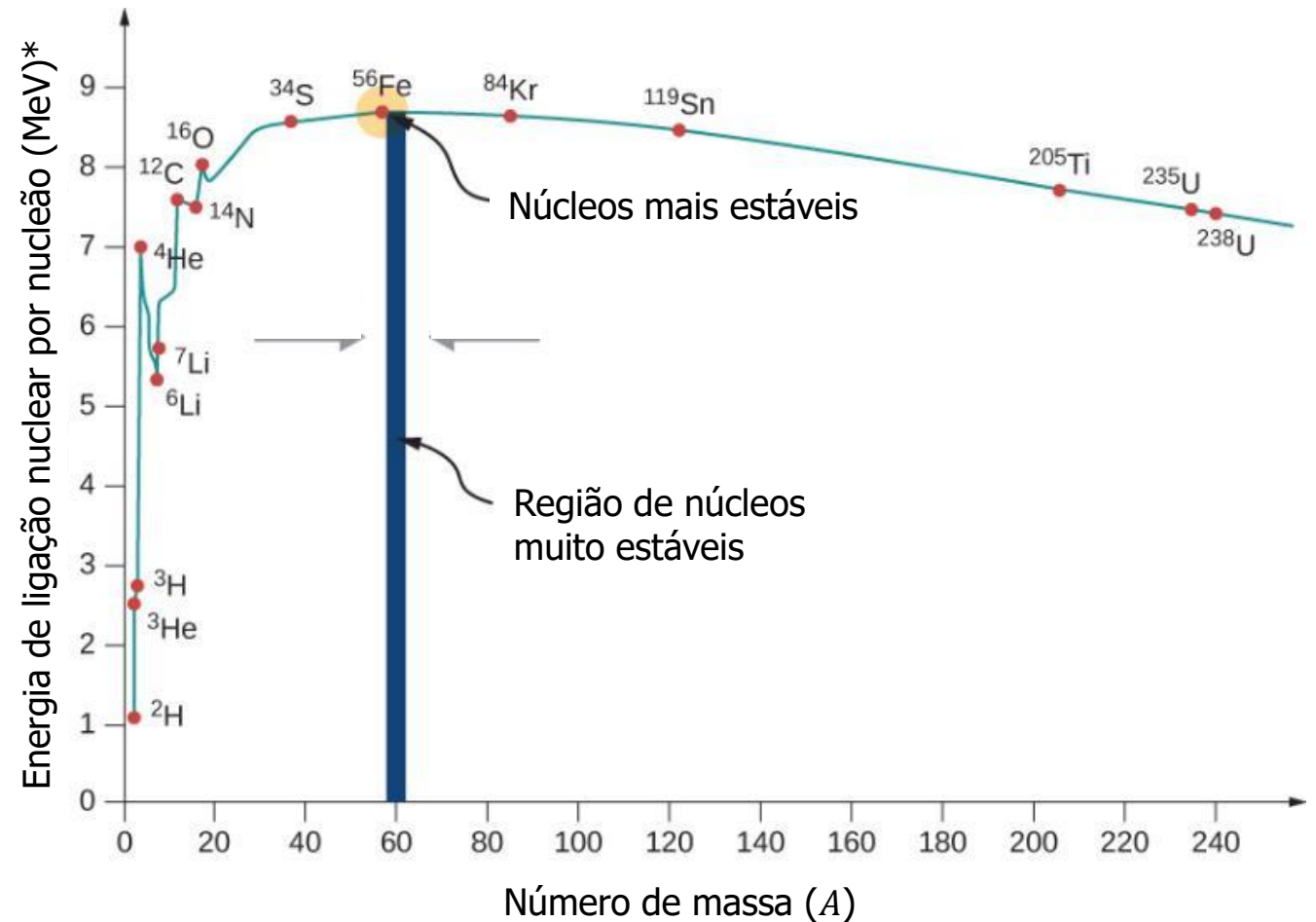
A massa do núcleo de hélio (4,0015 u) é menor do que a soma das massas de dois prótons e dois nêutrons (4,0320 u).

A diferença de massas (0,0305 u) é a energia nuclear que mantém unidos os nucleões.

## Energia de ligação nuclear ( $B$ )

A energia de ligação nuclear aumenta com o número de massa ( $A$ ).

A relação  $\frac{B}{A}$  é praticamente constante.



## **Bibliografia**

- C. Rodrigues, C. Santos, L. Miguelote, P. Santos, S. Machado, "Física 11 A", Areal Editores, Porto, 2016.
- G. Ventura, M. Fiolhais, C. Fiolhais, J. A. Paixão, R. Nogueira e C. Portela, "Novo 12F", Texto Editores, Lisboa, 2017.
- M. Alonso, E. J. Finn, "Física", Escolar Editora, Lisboa, 2012.