
Elementos de Física

2018 – 2019

Grupo IIIB Aulas: TP13 – 17DEZ

Sumário:
Cap. VI: Radioatividade

Bibliografia:
Serway, secções 44.4, 44.5 e 44.6

Partículas fundamentais

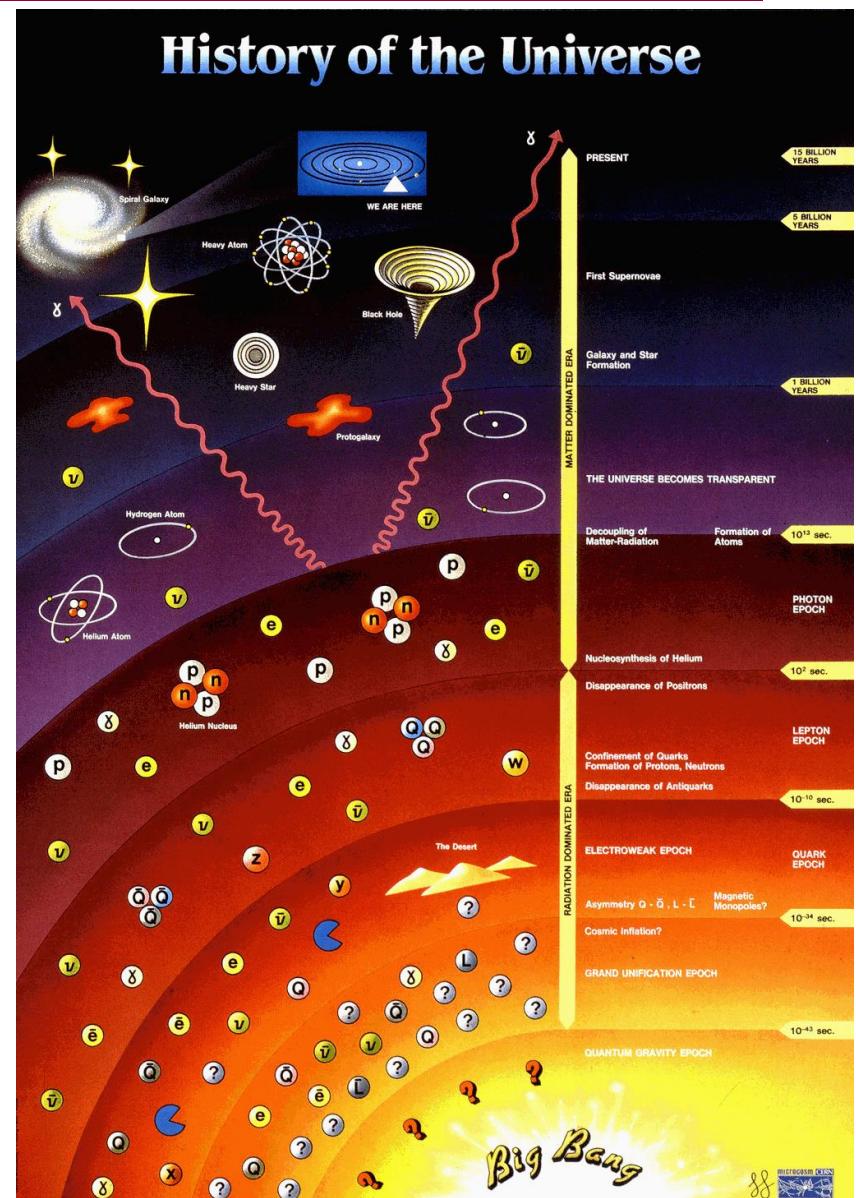
O universo é constituído por partículas (?), que interagem:

- *quarks* (componentes das partículas do núcleo atómico, os protões e neutrões)
- *electrões*
- *neutrinos*

As interacções são realizadas por intermédio de outras partículas (*gluões*, *fotões*, *etc*)

O Universo

Estas partículas
(e outras) surgiram
há cerca de
15 mil milhões de
anos, na
Grande Explosão
Inicial
(Big Bang)



Constituição do núcleo



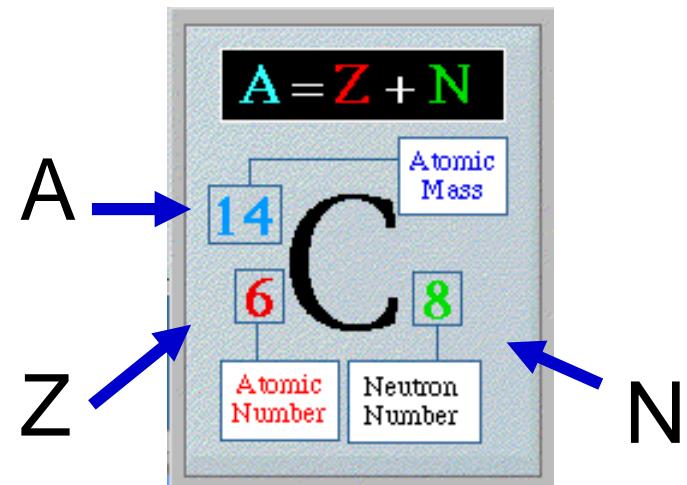
Núcleo = Protões + Neutrões

nucleões

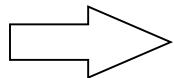
Z =número de protões (nº atómico)

N =número de neutrões

A = número de nucleões (nº massa)



Isótopos



átomos do mesmo elemento
(mesmo Z) e diferente A

Site: [isótopos:](http://ie.lbl.gov/education/isotopes.htm)
[http://ie.lbl.gov/education](http://ie.lbl.gov/education/isotopes.htm)
[/isotopes.htm](http://ie.lbl.gov/education/isotopes.htm)

Hidrogénio = 1.0079 u.m.a.

(valor médio, devido à abundância diferente dos isótopos)

Prótio 1 protão 1 electrão

 1.0070 u.m.a. 99.985 %

Deutério 1 protão 1 electrão 1 neutrão

 2.0141 u.m.a. 0.014 %

Trítio 1 protão 1 electrão 2 neutrões

 3.0220 u.m.a. 0.001 %

Núcleo

- Carga = Z (e)
- Dimensões da ordem de fm (10^{-15} m)
- Massa Aprox. $\approx A$ (u.m.a.)
 - u.m.a. = unidade de massa atómica
 $= 1.66 \times 10^{-27}$ kg
 $= 931.5 \text{ MeV}/c^2$



Calculado a partir da
energia em repouso

$$E_0 = mc^2$$

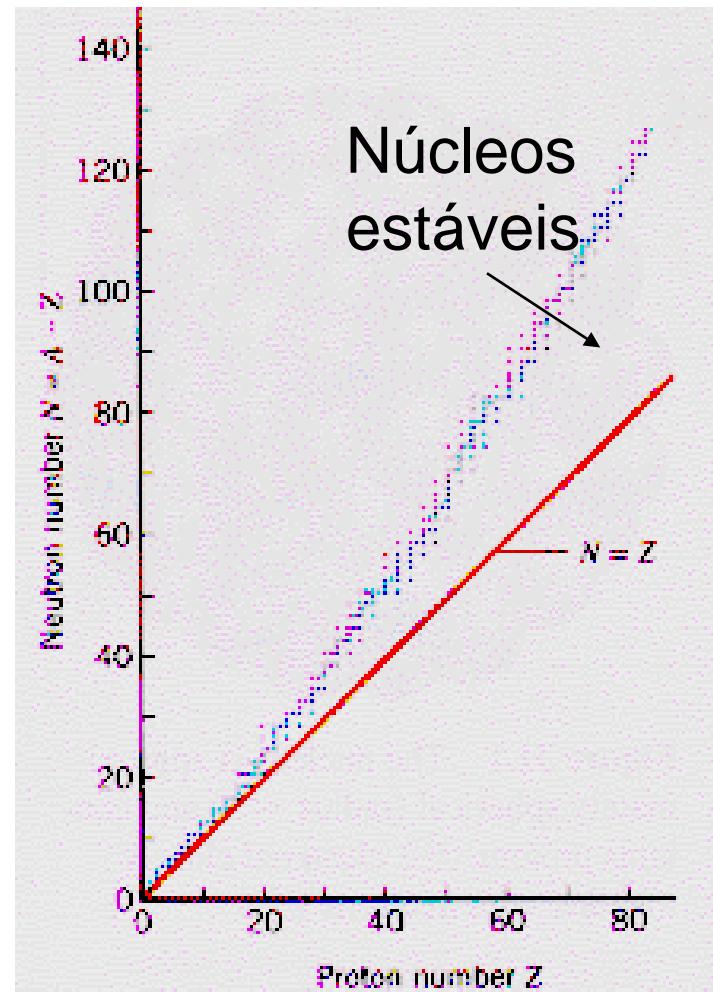
Massa de repouso do protão, neutrão e electrão

Partícula	Kg	u.m.a.	MeV/c ²
protão	$1,6726 \times 10^{-27}$	1,007276	938,28
neutrão	$1,6750 \times 10^{-27}$	1,008665	939,57
electrão	$9,109 \times 10^{-31}$	$5,486 \times 10^{-4}$	0,511

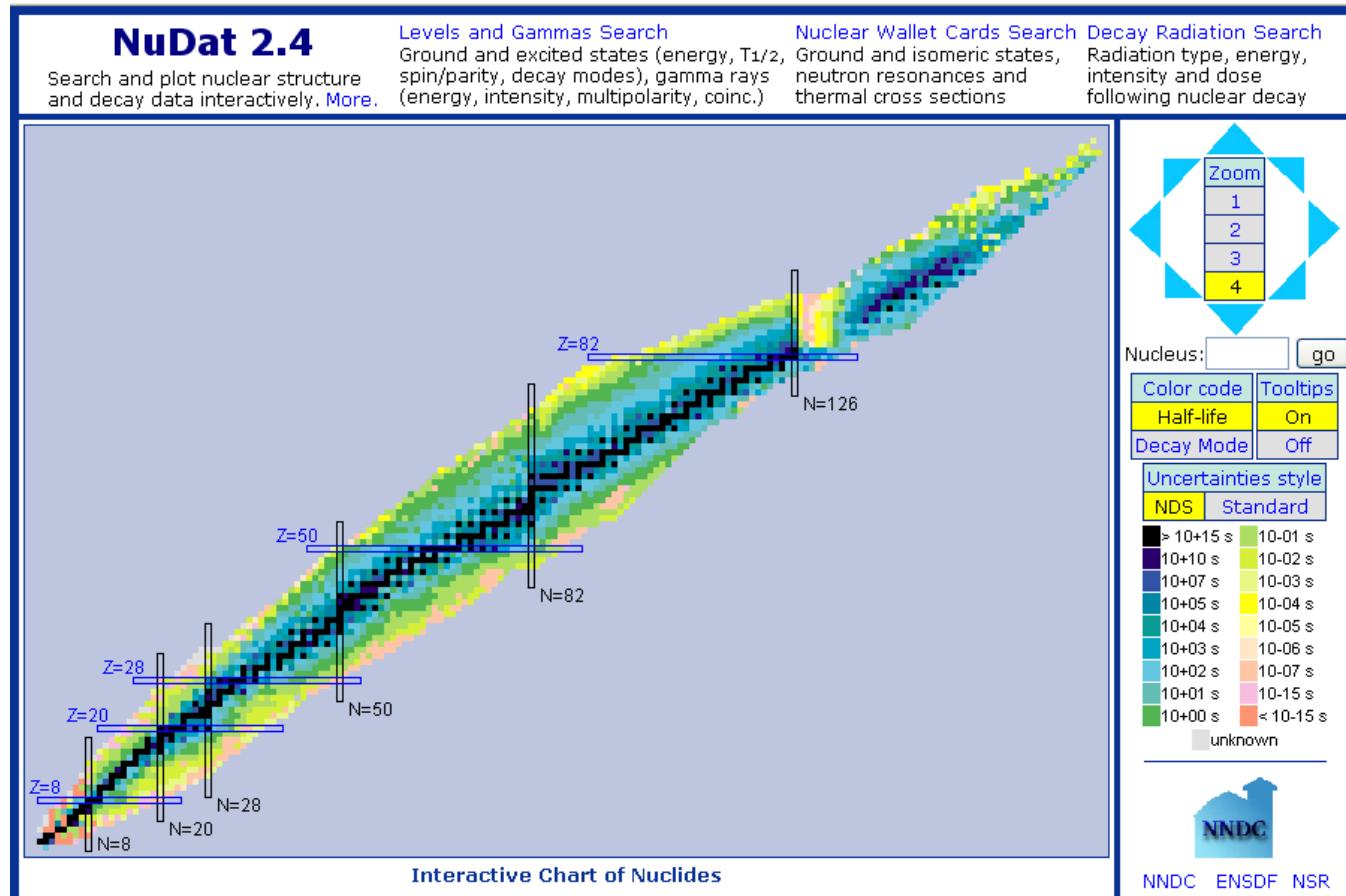
Estabilidade do núcleo

- para A pequenos,
 $N = Z$
- para A elevados,
 $N > Z$

Não há núcleos
estáveis para
 $Z > 83$ (Bi)

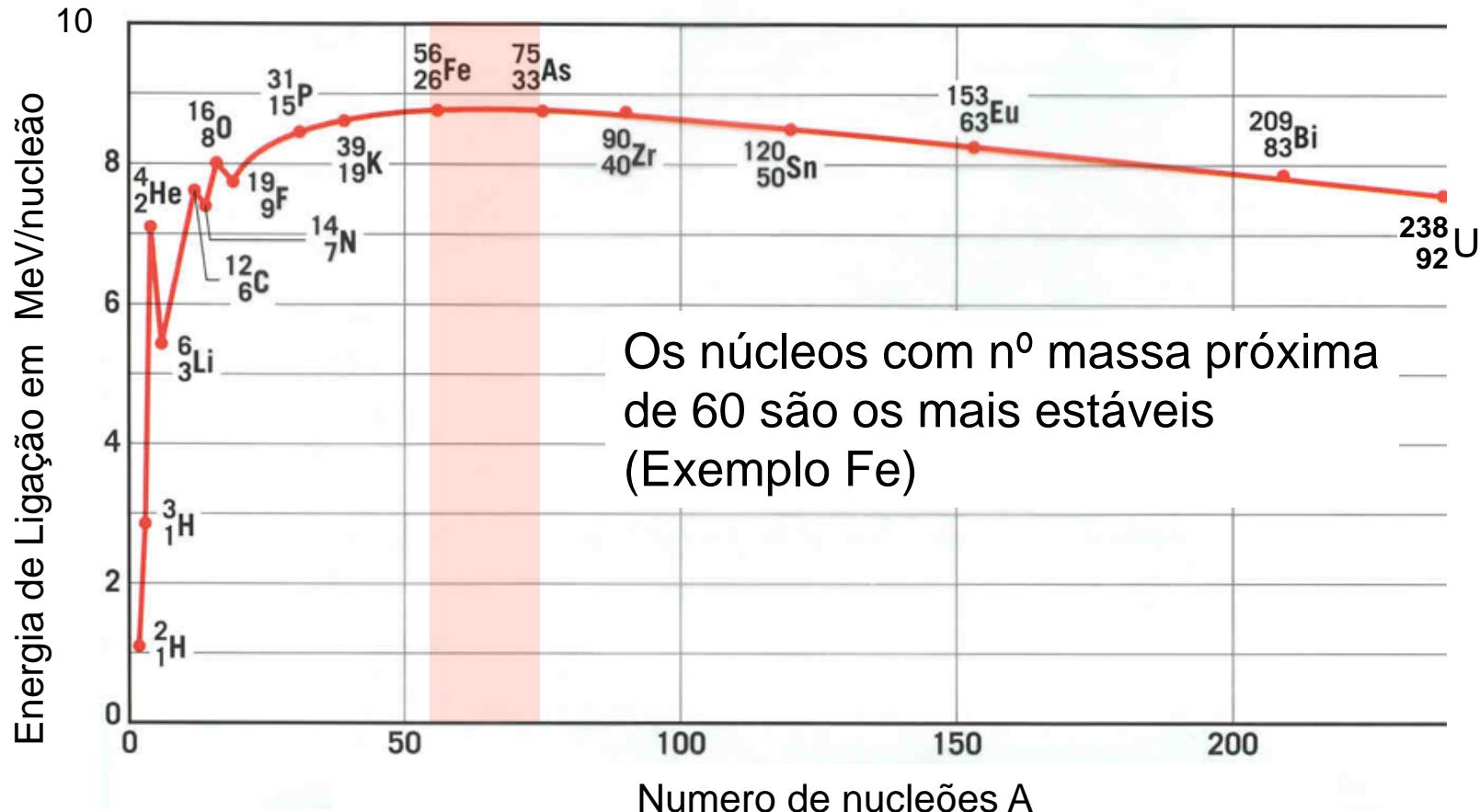


A Tabela Nuclear de Isótopos (Zoo)



<http://www.nndc.bnl.gov/chart/>

Energia de Ligação



Os núcleos com nº massa próxima de 60 são os mais estáveis
(Exemplo Fe)

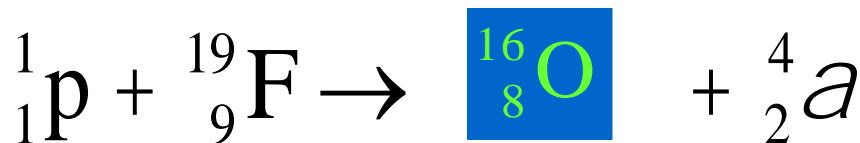
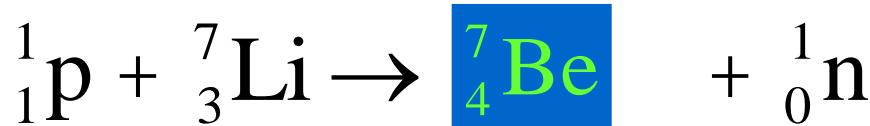


Reações Nucleares

- Um núcleo X é bombardeado por uma partícula a produzindo Y and b



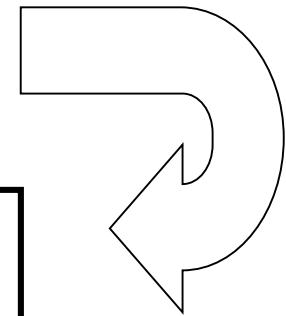
A reacção deve obedecer às
regras de conservação
(carga,número de nucleões, energia e momento)



Energia da Reação

Reação: $a + X \rightarrow Y + b$

Energia de Reagentes =
Energia de Produtos + Q

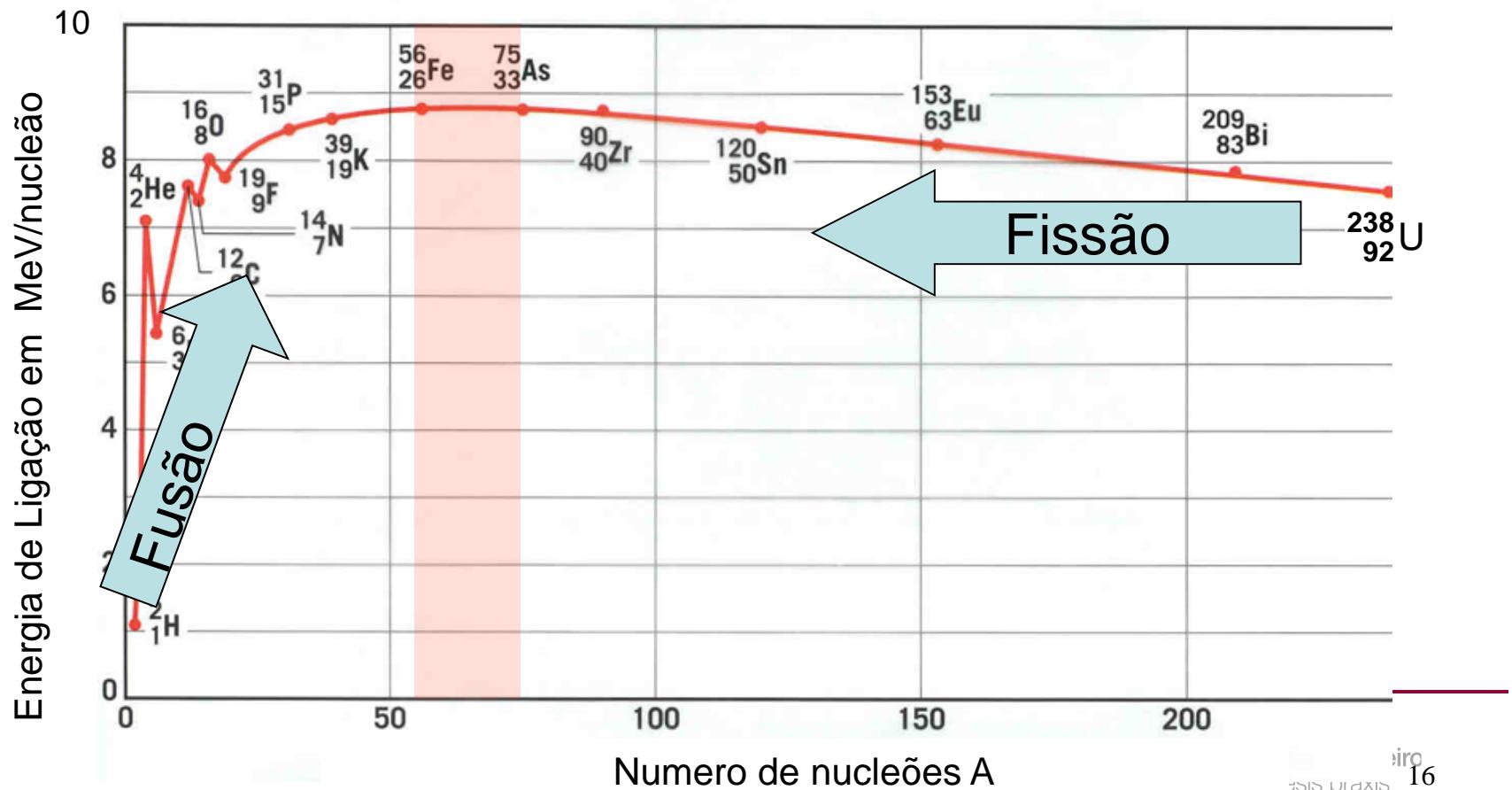


- Se $Q > 0$: reação exotérmica
 - Energia cinética dos produtos é maior
- Se $Q < 0$: reação endotérmica

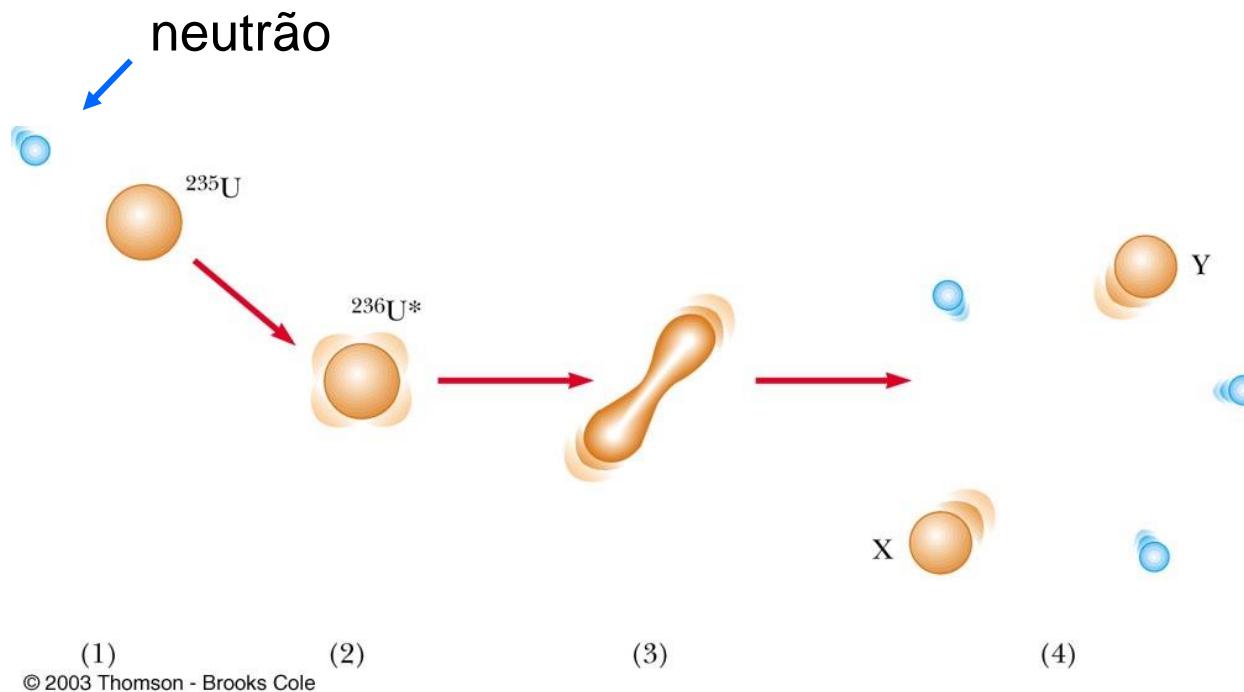
Reacções Nucleares: Energia

Fissão: Desagregar núcleos grandes

Fusão: Agregar núcleos pequenos



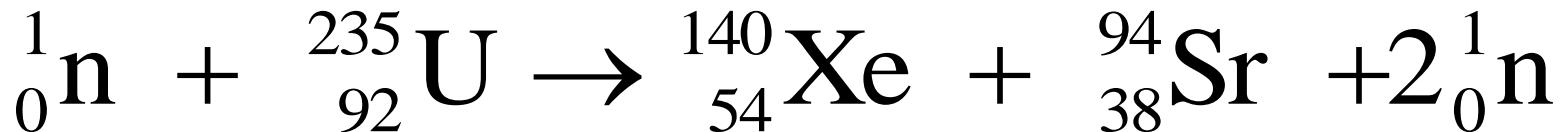
Fissão Nuclear



© 2003 Thomson - Brooks Cole



Fissão Nuclear

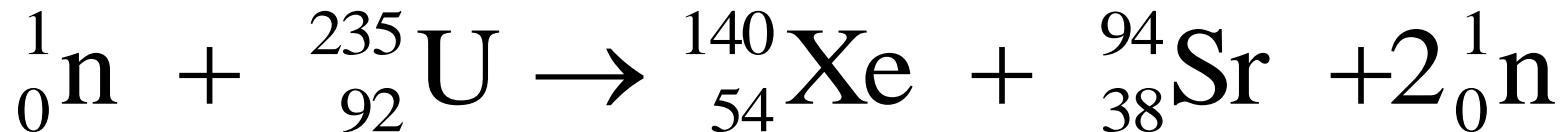


- Divide-se em dois núcleos com

$$Z_1 = 46 + z \quad \text{e} \quad Z_2 = 46 - z$$

- Liberta 2.5 neutrões, em média
- Productos tipicamente radioactivos
 - Decaimento via β^-

Fissão Nuclear



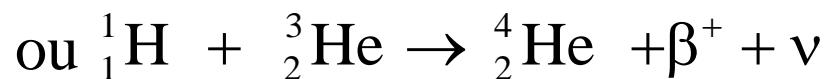
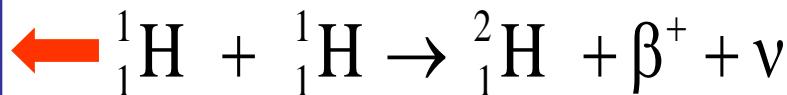
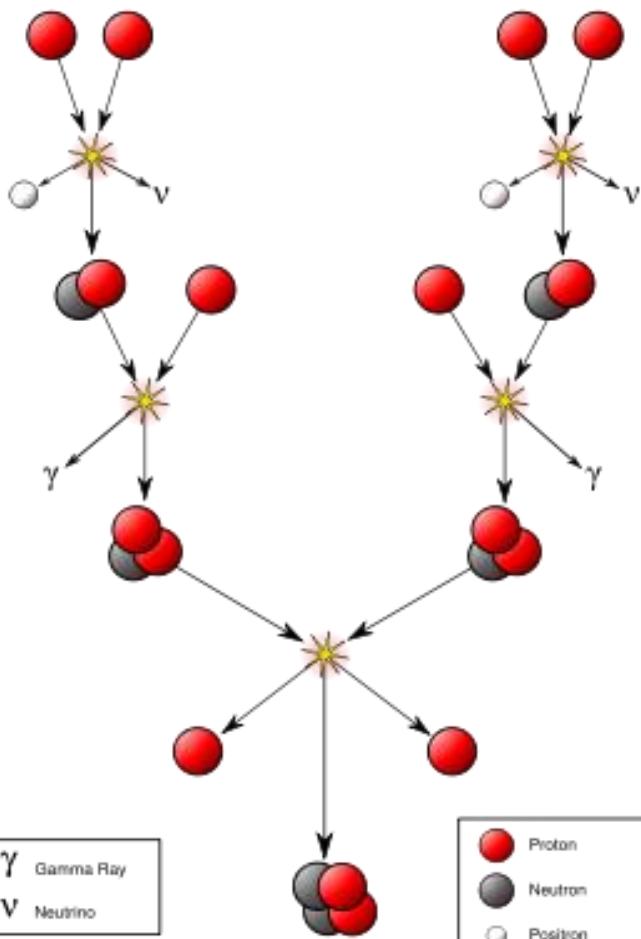
- Xe-140 e Sr-94 são radioactivos
 - Decaimento beta
 - Xe (16 s) → Cs (66 s) → Ba (12.8 d) → La (40.2 h) → Ce-140
 - Sr (1.2 m) → Y (20 m) → Zr-94
 - 6 electrões e 6 antineutrinos

Fusão Nuclear

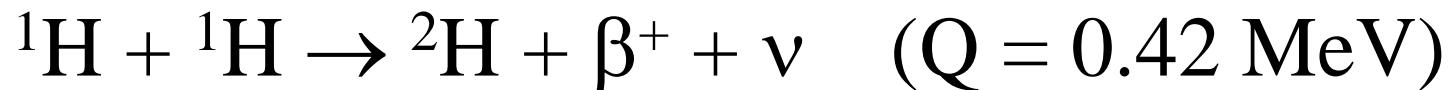
Ciclo protão-protão

$$4 \text{ p} \rightarrow \alpha + 2e^+ + 25 \text{ MeV}$$

Energia gerada nas estrelas!

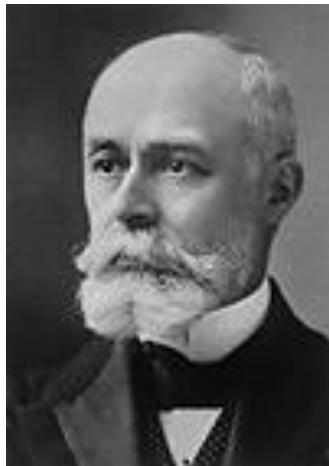


Fusão Nuclear



Radioactividade

Processo de emissão espontânea de radiação/partículas por núcleos instáveis



**Antoine-Henri
Becquerel**



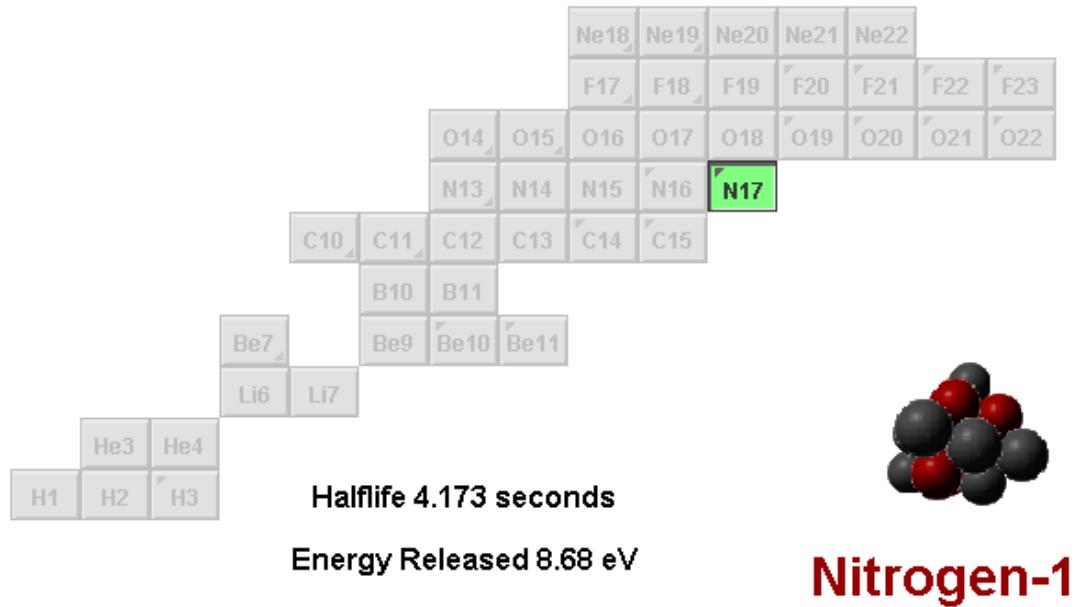
Pierre Curie



Marie Curie

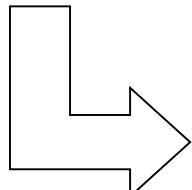
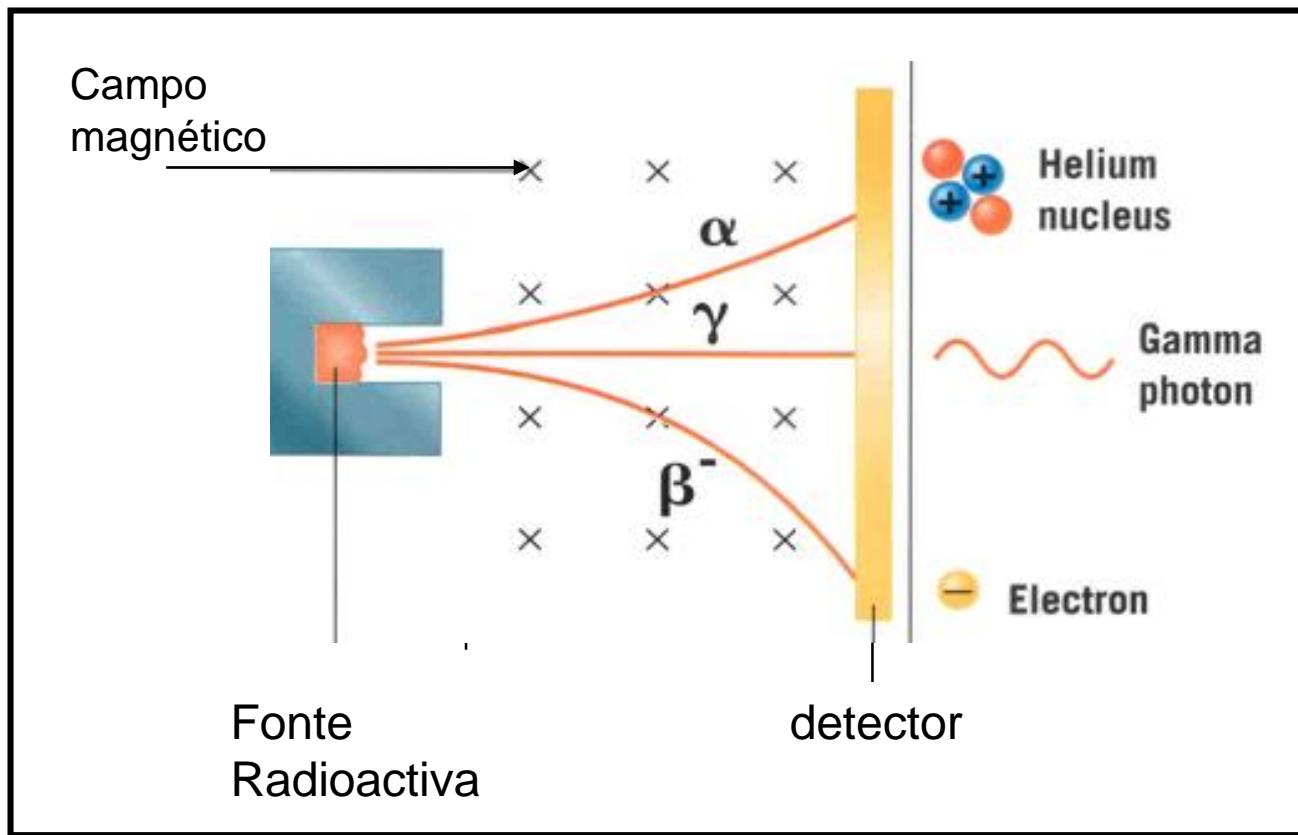
Radioactividade

→ processo estatístico que ocorre em núcleos instáveis



<http://www.colorado.edu/physics/2000/applets/iso.html>

3 Tipos de Radioactividade

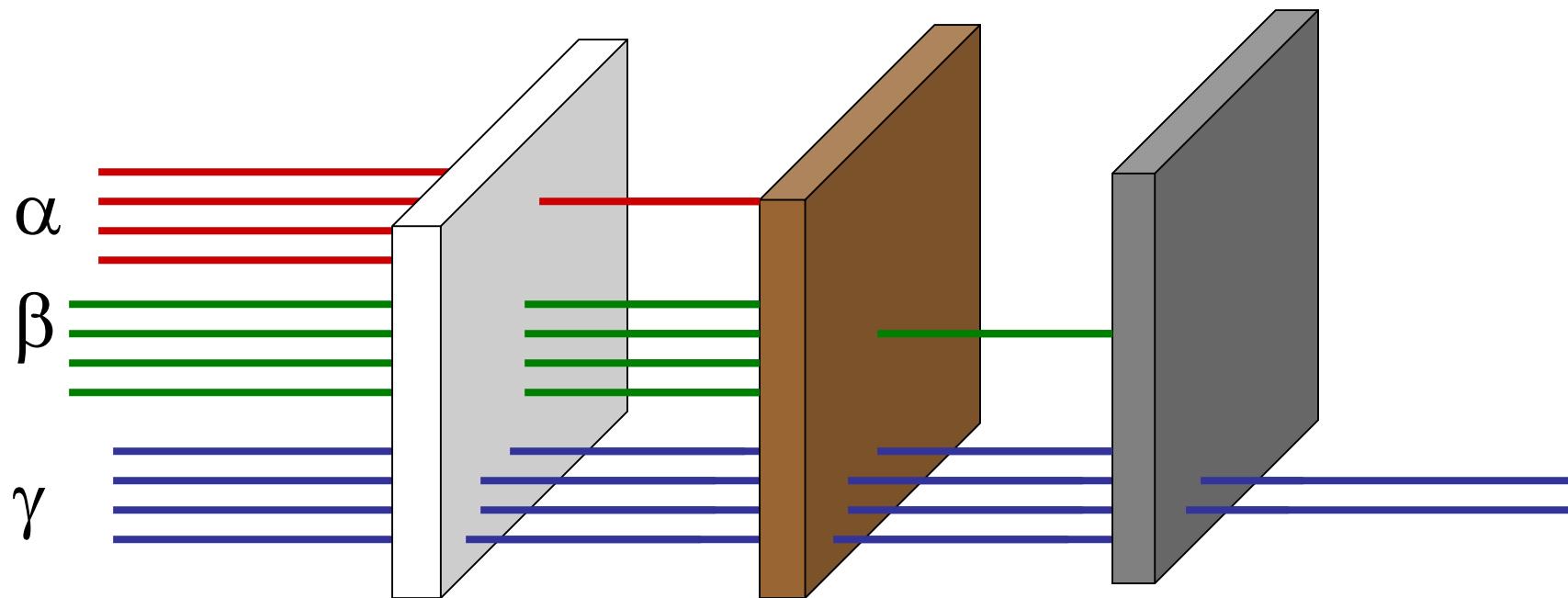


partículas < : núcleos de hélio 4

partículas ®: electrões ® ou positrões ®⁺

©: fotões (mais energéticos que os raios X)

Poder de penetração

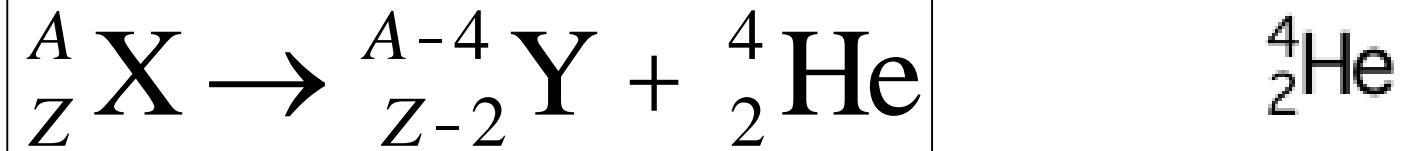


algodão madeira chumbo
os raios γ têm maior poder de penetração

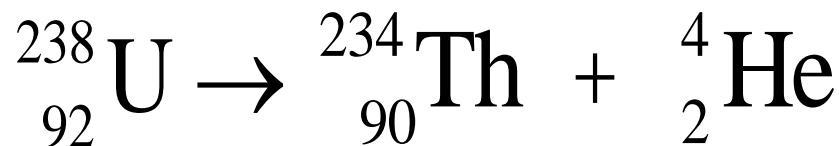
Regras de conservação

- 1) Número de nucleões ($p+n$) é conservado.
- 2) Carga é conservada.
- 3) Energia e momento são conservados.

Decaimento Alfa

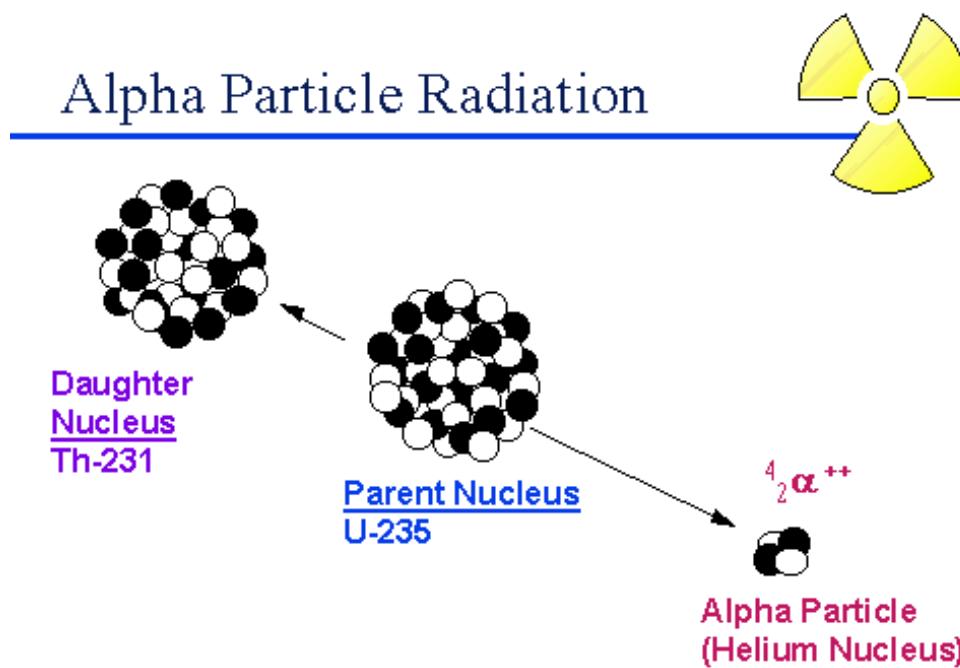
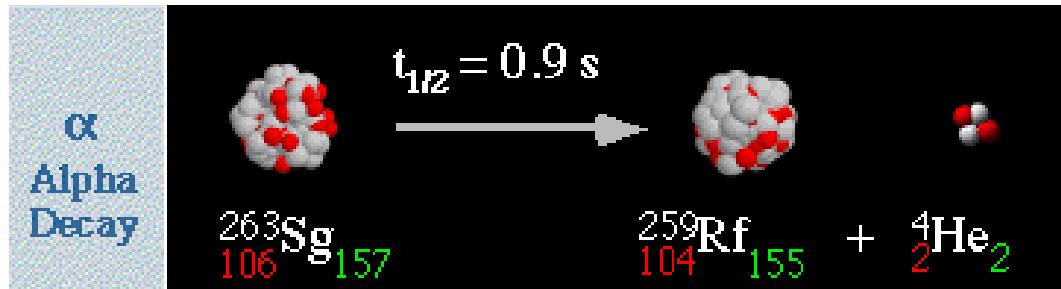


Nota: Só ocorre se $M_X > M_Y + M_\alpha$

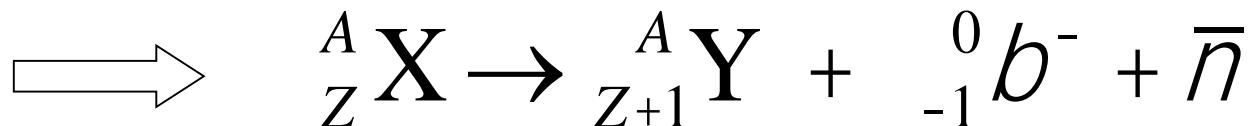


- 1) $238 = 234 + 4$ conservação do nº nucleões
- 2) $92 = 90 + 2$ conservação da carga

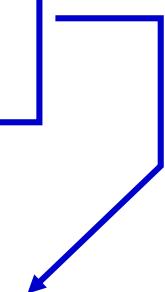
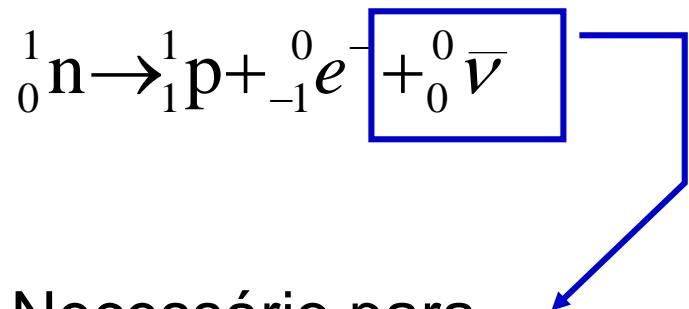
Decaimento Alfa



Decaimento Beta



Exemplo:



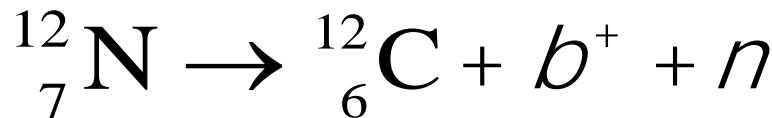
- Electrão (b^-) é relativístico
- Antineutrino (\bar{n}) tem velocidade próxima da da luz

Necessário para conservar o momento.

Decaimento Beta



Exemplo:

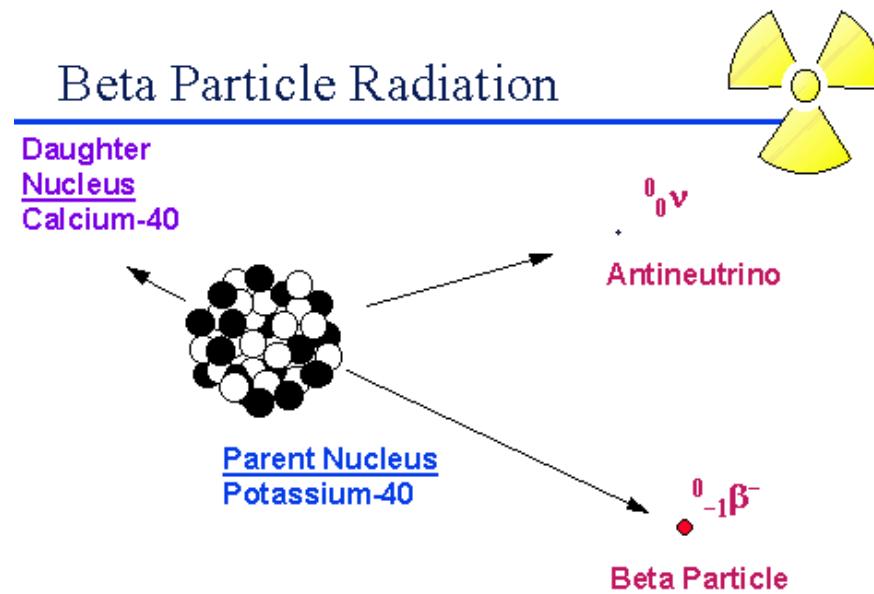
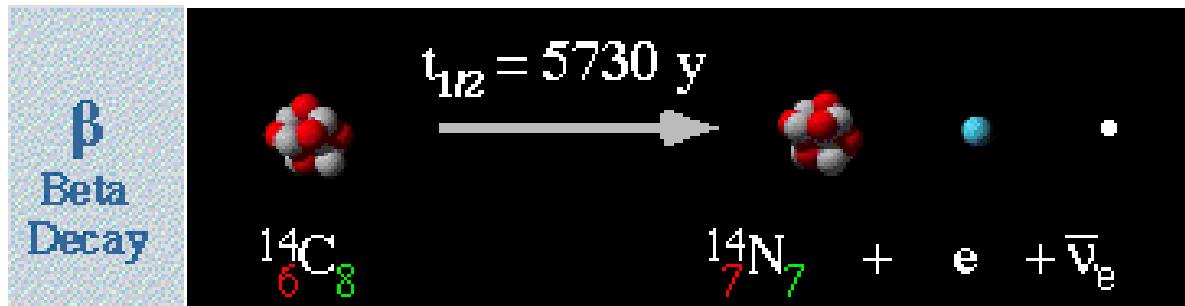


Positrão= b^+
= antielectrão

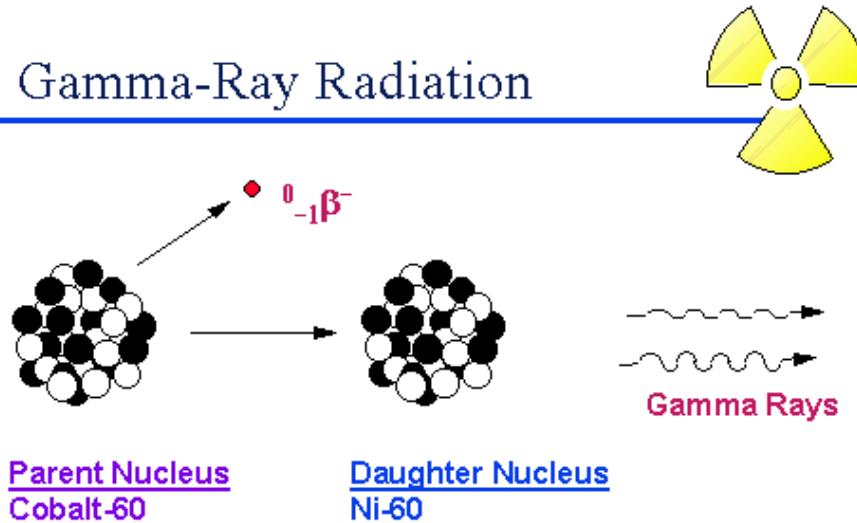
- neutrino = n
- massa $\gg 0$ carga = 0 spin = $\frac{1}{2}$
 - * Interacção fraca 1 em 10^{12}
 - * Observado em 1956



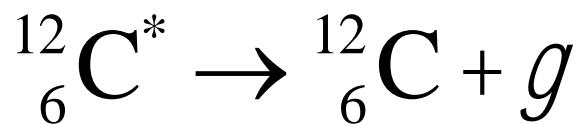
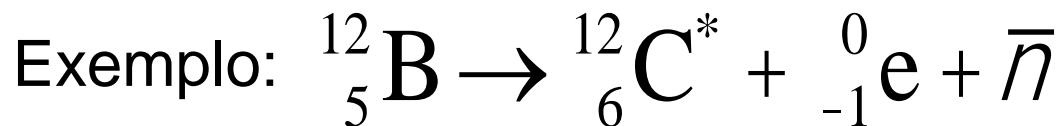
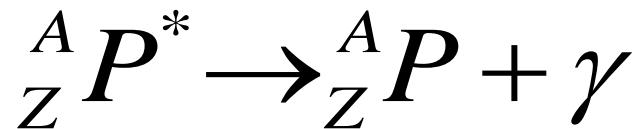
Decaimento Beta



Decaimento Gama



- O núcleo pai decai para um estado excitado
- O núcleo filho emite um fotão γ



Decaimento

O núcleo $^{234}_{90}\text{Th}$ sofre um decaimento β^-

O que é verdade?

1. O nº de protões no núcleo filho aumenta de um.
2. O nº de neutrões no núcleo filho aumenta de um.

O decaimento β^- é acompanhado
pela emissão de um electrão:
criação de uma carga $-e$.

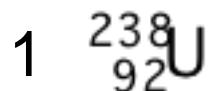


De facto, o electrão e o neutrino
saem do núcleo

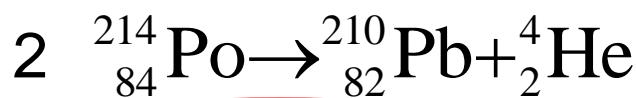


Decaimento

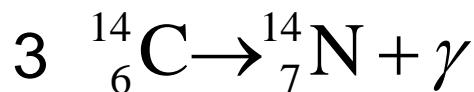
Qual dos seguintes decaimentos não é permitido?



$$238 = 234 + 4$$
$$92 = 90 + 2$$



$$214 = 210 + 4$$
$$84 = 82 + 2$$



$$14 = 14+0$$
$$6 = 7+0$$



$$40 = 40+0+0$$
$$19 = 20-1+0$$



Lei cinética do decaimento

A taxa de decaimento é proporcional ao número núcleos radioactivos presentes

Decaimentos por segundo, ou
“actividade”

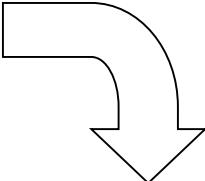
$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

No. de núcleos presentes

λ = constante de decaimento ou de desintegração

- Probabilidade de decaimento por núcleo por segundo

Lei cinética do decaimento

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$


$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Nº núcleos radioactivos
no instante t



Nº núcleos
radioactivos em t=0

Lei cinética do decaimento

$$\frac{dN}{dt} = - | N \Leftrightarrow \frac{dN}{N} = - | dt$$

$$\Leftrightarrow \int_{N_0}^{N_f} \frac{dN}{N} = - \int_0^{t_f} | dt$$

$$\Leftrightarrow \ln\left(\frac{N_f}{N_0}\right) = - | t_f$$

$$N = N_o e^{-| t}$$

Lei cinética do decaimento

$$T_{1/2}$$

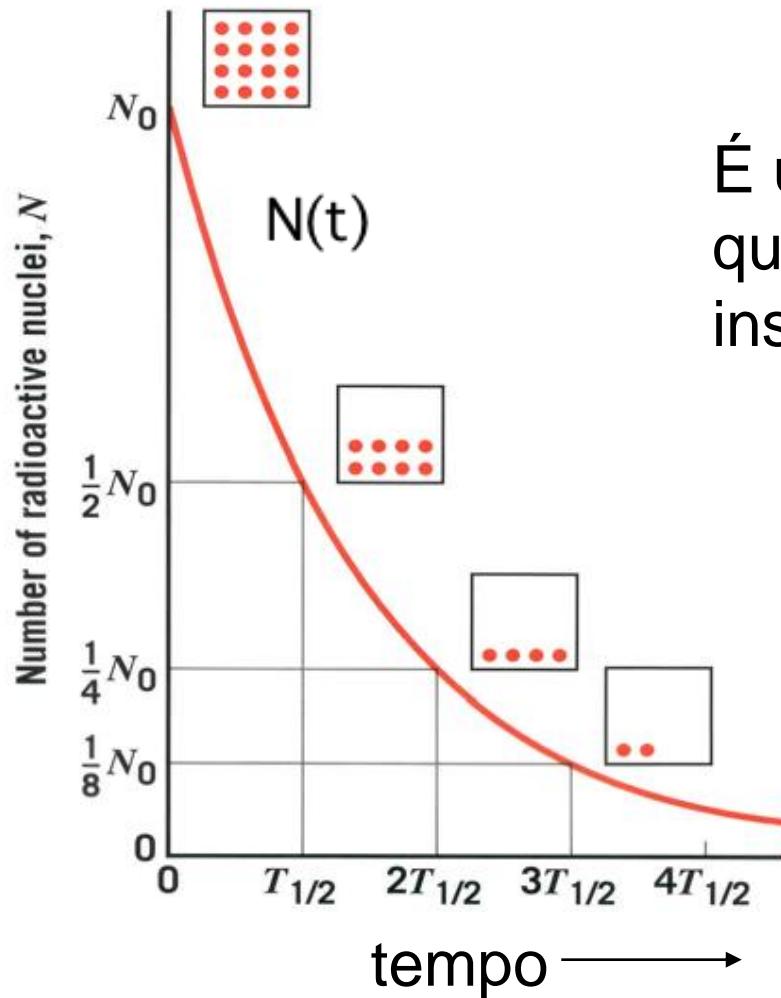
meia-vida: tempo necessário para que metade
do nº inicial de núcleos radioactivos decaia

$$N = N_o e^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \quad \text{P} \quad \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \quad \text{P} \quad 2 = e^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

$$\text{P} \quad T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\text{l}} = \frac{0.693}{\text{l}}$$

$$N = N_o \left(\frac{1}{2} \right)^{t/T_{1/2}}$$

Lei cinética do decaimento



É um processo estatístico que ocorre em núcleos instáveis

Taxa de decaimento ou actividade

número de decaimentos por segundo

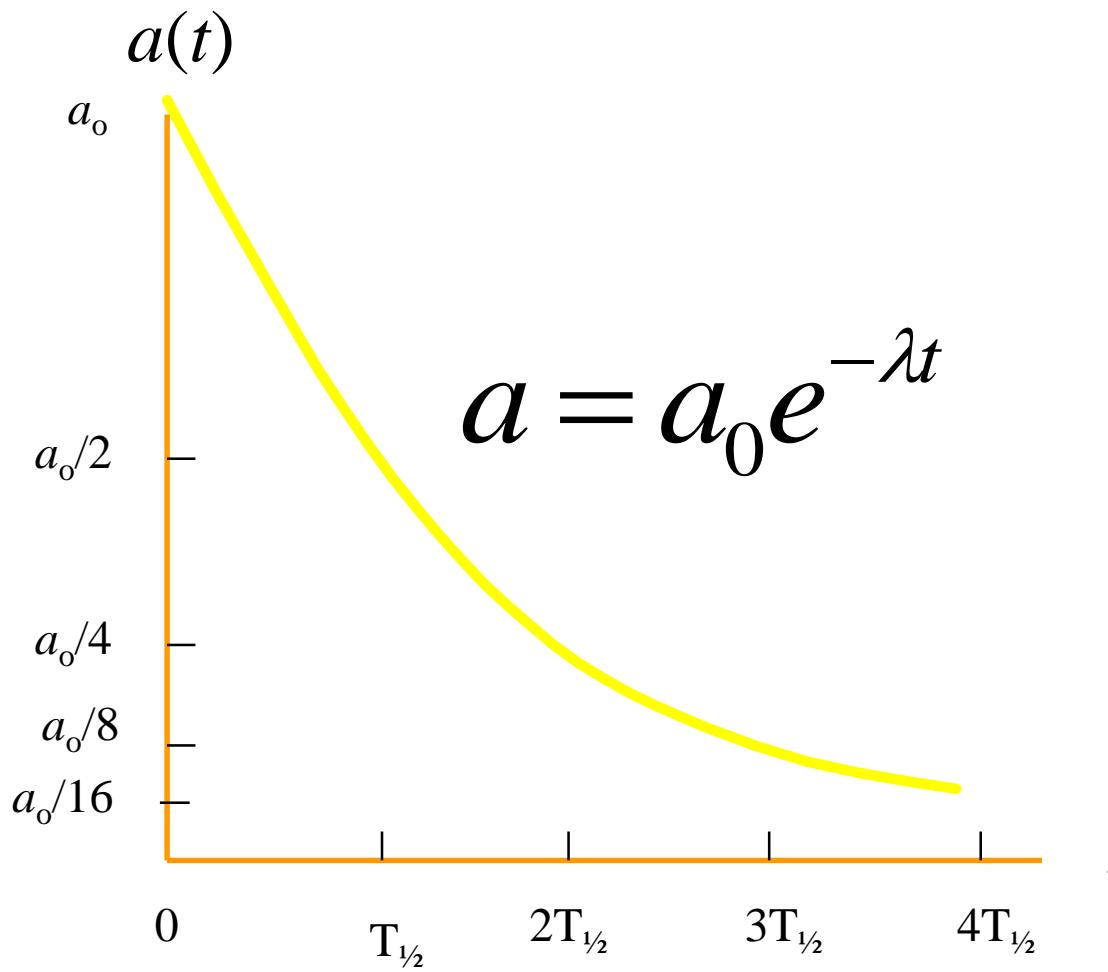
$$a = \left| \frac{dN}{dt} \right| \longrightarrow a = a_0 e^{-\lambda t}$$

$$a_0 = N_0 \lambda \quad a = N \lambda$$

1 curie (Ci) = 3.7×10^{10} decaimentos/segundo

1 becquerel (Bq) = 1 decaimento/segundo

Taxa de decaimento ou actividade: Variação temporal também exponencial



Radioactividade

Se começarmos com 16 átomos de ^{14}C . Após cerca de 6000 anos, só existem 8 átomos.

Quantos existirão após mais 6000 anos?

- 1) 0
- 2) 4
- 3) 8

Cada 6000 anos $\frac{1}{2}$ dos átomos decaem.

Se o número de núcleos radioactivos passar para metade, como se altera a actividade?

1 permanece na mesma

2 passa para metade

3 passa para o dobro

Somos radioactivos!

Um em cada 8.3×10^{11} átomos de carbono é ^{14}C que decai com um tempo de meia vida de 5730 anos.
Determine a taxa de decaimento do Carbono.

$$N_{^{14}} = \left(\frac{1.0 \text{ mole}}{12 \text{ g}} \right) (6.02 \times 10^{23}) \left(\frac{1}{8.3 \times 10^{11}} \right) = 6 \times 10^{10} \frac{\text{atoms}}{\text{g}}$$

$$\lambda = \frac{.693}{T_{1/2}} = \frac{.693}{5730 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60} = 3.83 \times 10^{-12} \text{ s}^{-1} = 1.21 \times 10^{-4} \text{ ano}^{-1}$$

$$a = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N = 0.23 \text{ decaimentos / s por grama}$$



Exemplo: Datação por Carbono

- Na atmosfera a razão de $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ é igual a 1.2×10^{-12}
 - ^{14}C é produzido na alta atmosfera pela colisão dos raios cósmicos com o azoto
 - organismos vivos têm a mesma proporção $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$
- Quando morrem, a razão decresce exponencialmente
- Portanto, a razão $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ pode ser usada como um relógio.

Datação por Carbono

Acabámos de determinar que os organismos vivos devem ter uma taxa de decaimento de 0.23 decaimentos/ segundo/grama de carbono.

O corpo do “homem gelado” (Itália) apresenta uma taxa de decaimento de 0.115 Bq(0.23/ 2)/grama. Podemos estimar que tenha morrido há cerca de 6000 anos.



Actividade Inicial

Quantos átomos de ^{14}C existem num grama de carbono no instante da morte?

$$N_o = \frac{1 \text{ g}}{12.011 \text{ g/mole}} \left(1.2 \cdot 10^{-12}\right) \left(6.0 \cdot 10^{23} \text{ atom/mole}\right)$$
$$= 6.0 \cdot 10^{10} \text{ atoms}$$

Qual é a actividade?

$$0.23Bq = 14 \text{ dec/min}$$

Actividade

Qual é a actividade por grama após 1950 anos?

$$a = a_0 e^{-t/T}$$

$$= 14 \text{ dec/min} \cdot e^{-(1950)(1.21 \cdot 10^{-4} \text{ a}^{-1})} =$$

$$= 11 \text{ dec/min}$$

Outras aplicações:

Datação de rochas
(geocronologia):

$^{40}\text{Ar}/^{40}\text{K}$, $^{237}\text{Pb}/^{236}\text{Pb}$

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$

(Univ. Aveiro)

Variação da temperatura da Terra: $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$
(paleoclimatologia)

Análises isotópicas em artefactos (Louvre)

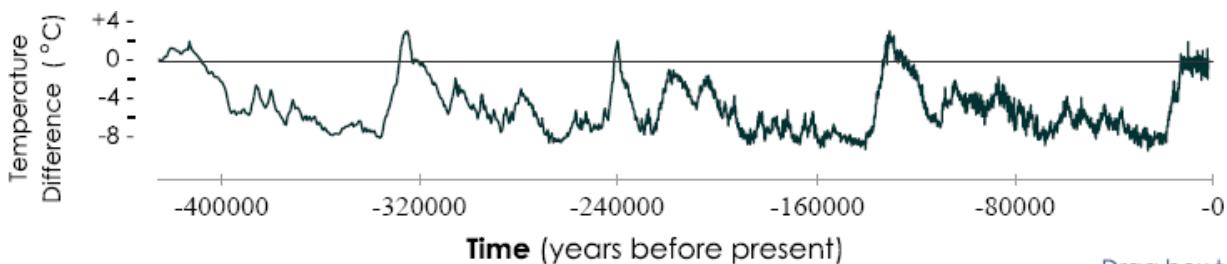
Isótopos Radioactivos
em Medicina

Radioterapia

Imagiologia PET:

^{124}I ou ^{18}F

Outras aplicações:



Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica

J. R. Petit*, J. Jouzel†, D. Raynaud‡, N. I. Barkov‡, J.-M. Barnola‡, I. Basile‡, M. Bender§, J. Chappellaz‡, M. Davis‡, G. Delaygue†, M. Delmotte‡, V. M. Kotlyakov§, M. Legrand‡, V. Y. Lipenkov‡, C. Lorius‡, L. Pépin‡, C. Ritz‡, E. Saltzman|| & M. Stievenard†

Petit, J. R., et al., Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica, *Nature*, 399, 429–436, 1999.

