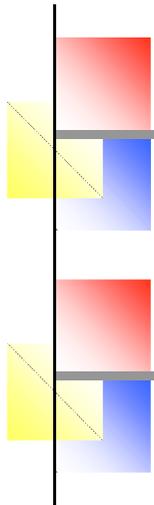




Universidade Federal Fluminense
Instituto de Física
Física IV



Física Nuclear
Cap. 43

Daniel

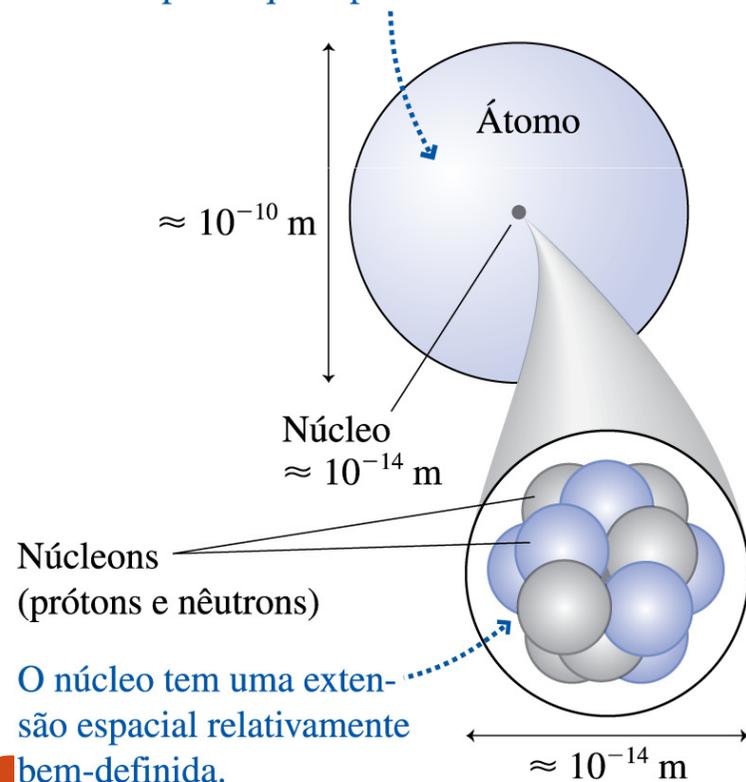
Niterói, 03 de novembro de 2013

Estrutura Nuclear

Núcleons = prótons e nêutrons (constituintes do núcleo)

Spin = $\frac{1}{2}$ (obedecem o princípio de exclusão de Pauli)

Esta ilustração de um átomo precisaria ter 10 m de diâmetro se fosse desenhada na mesma escala do ponto que representa o núcleo.



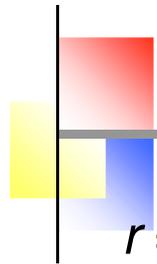
- *Número atômico* (Z) = número prótons no núcleo.

- *Número de massa* (A) = Número de prótons (Z) mais o de nêutrons (N) $A = Z + N$

- *Isótopos* – Mesmo elemento (Z igual) porém com A diferente (^{12}C e ^{14}C ; $Z = 6$).

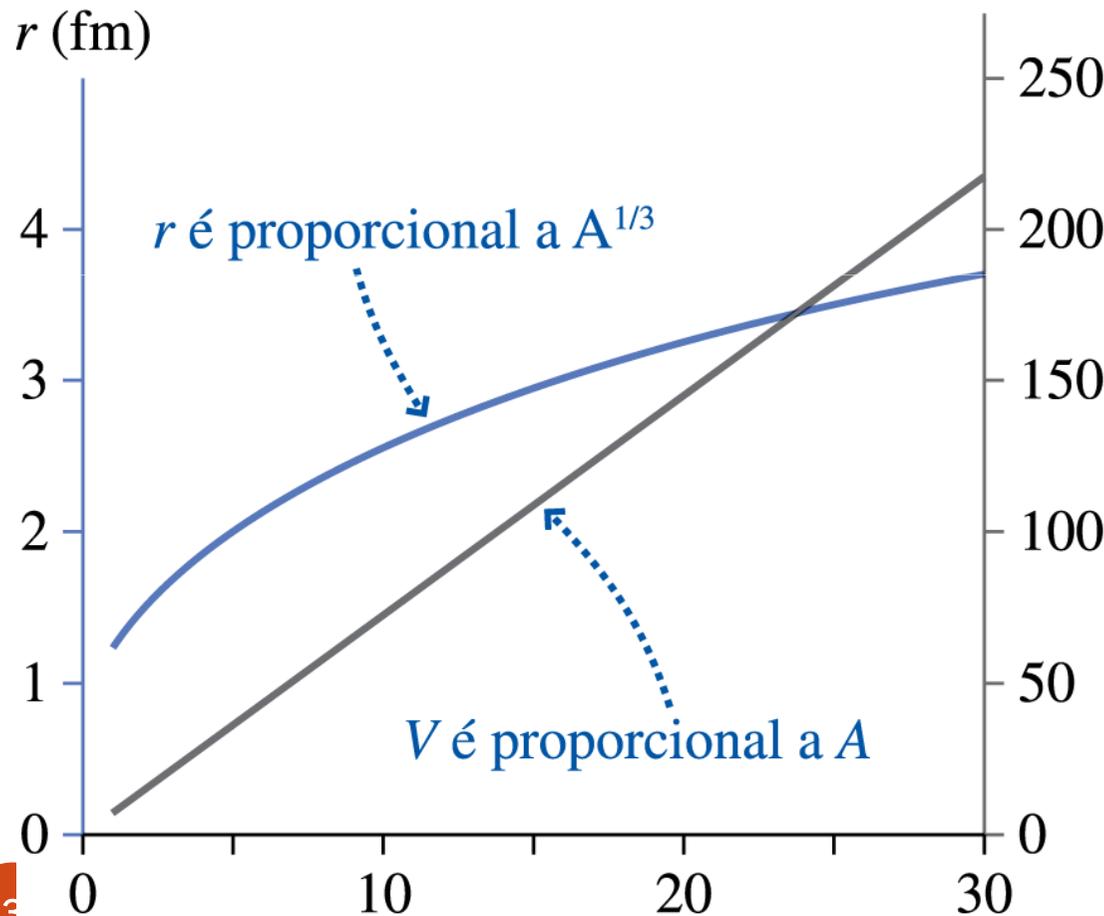
- *Isóbaros* – Z diferente com o mesmo A (Ex. ^{14}C , ^{14}N e ^{14}O)

Tamanho Nuclear



$$r = r_0 A^{1/3} \text{ onde } r_0 = 1,2 \text{ fm (fentômetro } 10^{-15} \text{ m)}$$

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 \text{ (fm}^3\text{)}$$



• Os núcleos são incompressíveis.

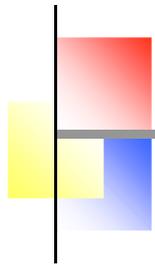
$$\rho \cong A u / (4/3\pi r^3)$$

$$\rho \cong 2,3 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$$

• Estrela de nêutrons 10^{18} Kg/m^3

Número de massa A

Massa atômica



A massa atômica do isótopo ^{12}C equivale a 12 u (unidades de massa atômica)

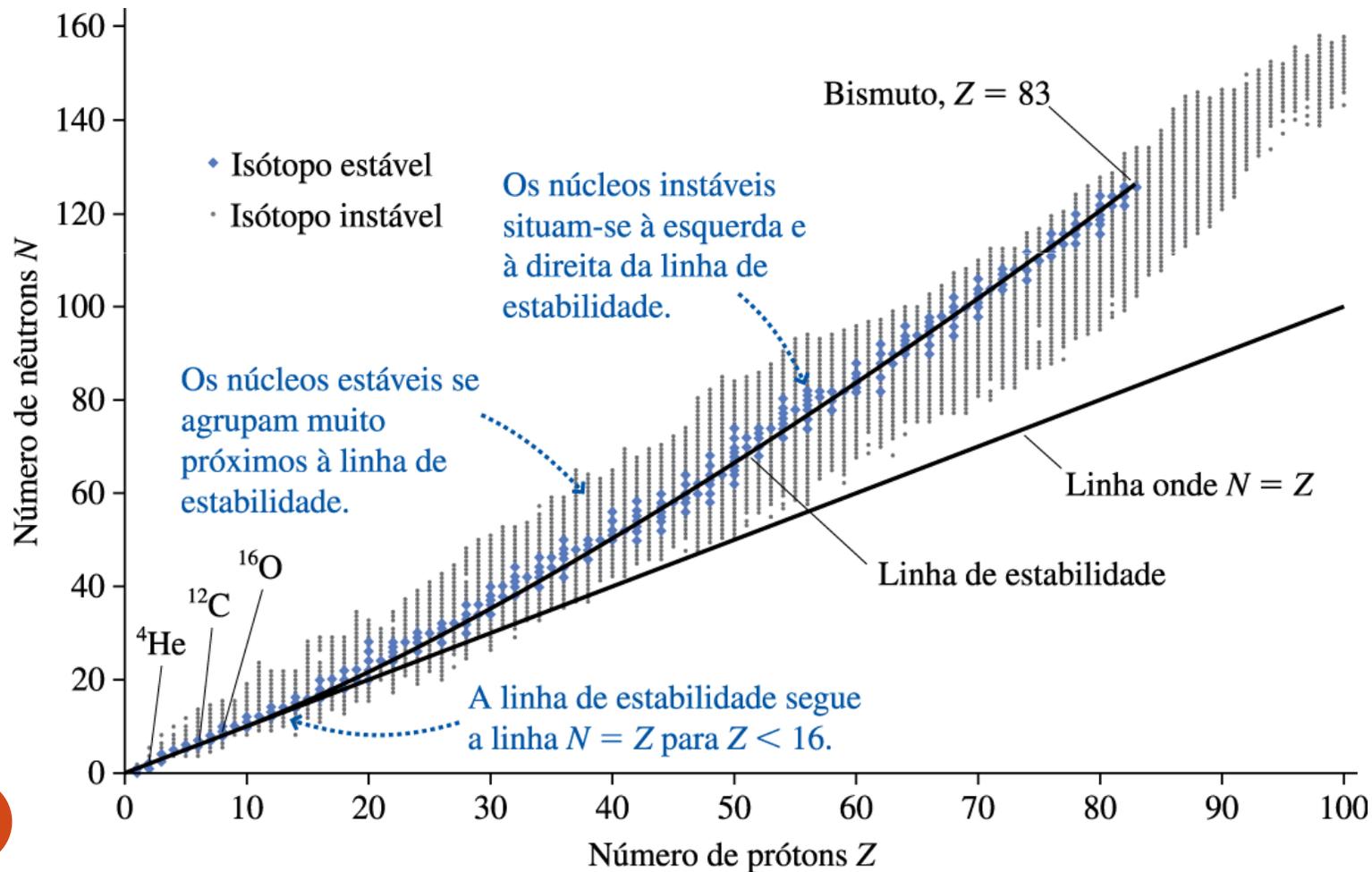
- $1\text{ u} = 1,6605 \times 10^{-27}\text{ kg}$
- $E_0 = mc^2 = (1,6605 \times 10^{-27}\text{ kg})(2.9979 \times 10^8\text{ m/s})^2$
- $E_0 = 1,4924 \times 10^{-10}\text{ J} = 931.49\text{ MeV}$

- $1\text{ u} = 931.49\text{ MeV}/c^2$ (Observe que é unidade de massa)

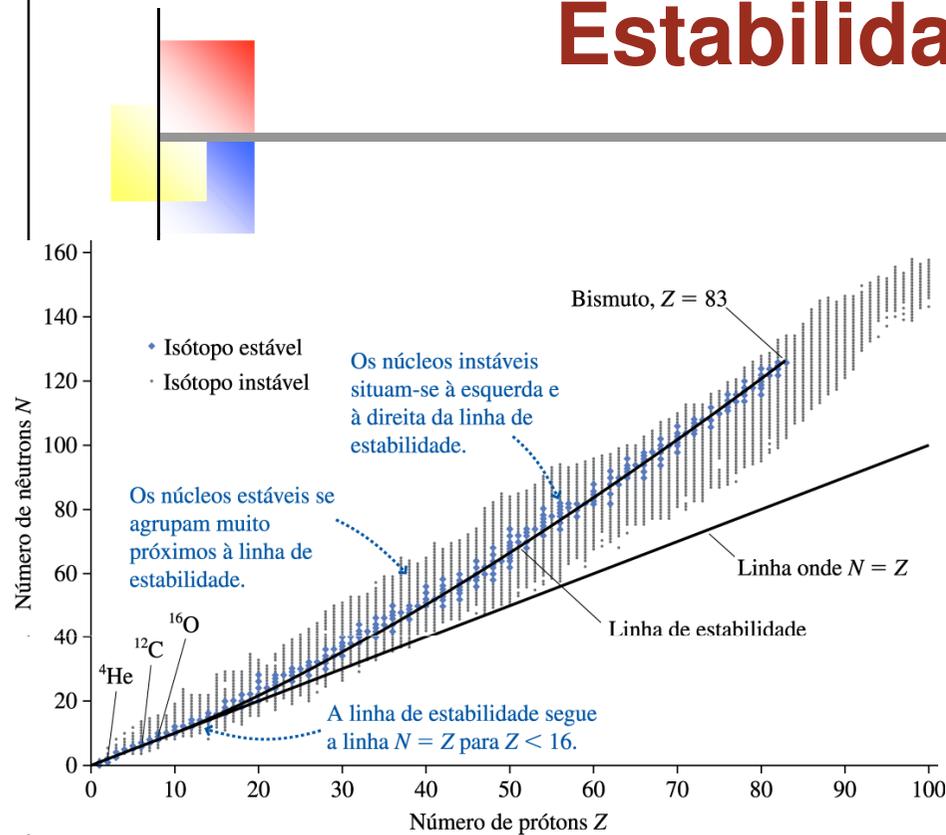
- As massas atômicas na tabela periódica é a *média ponderada* das massas de todos os isótopos que ocorrem naturalmente.
- Ex: ^{35}Cl ($m = 34.97\text{ u} - 75.8\%$) e ^{37}Cl ($m = 36.97 - 24.2\%$) – $m_{\text{Cl}} = 35.45\text{ u}$

Estabilidade Nuclear

Menos de 10 % dos núcleos conhecidos são estáveis (não-radioativos)



Estabilidade Nuclear

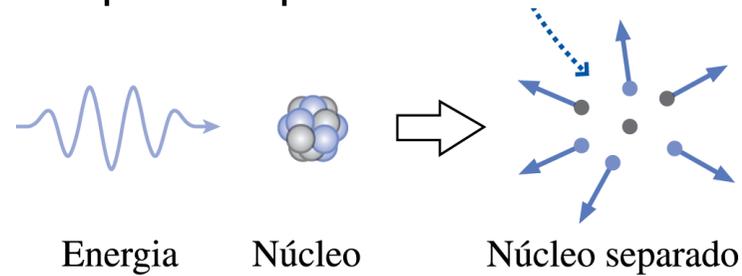


- Estáveis estão próximos a linha de estabilidade.
- Não existe núcleo estável com $Z > 83$ (Bismuto)
- Núcleos instáveis estão agrupados em bandas situadas a esquerda e a direita da linha de estabilidade.

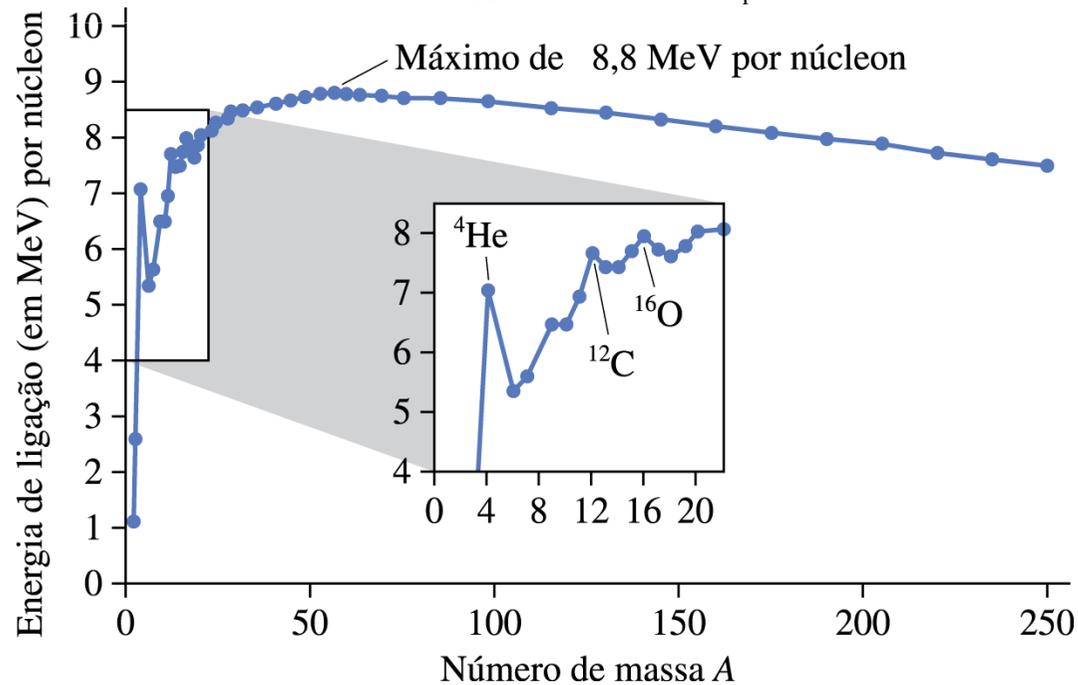
- Os elementos mais leves, com $Z < 16$, são estáveis quando $N \cong Z$.
- A medida que Z aumenta, o número de nêutrons necessários para haver estabilidade aumenta bem mais do que no número de prótons.

Energia de Ligação

- Energia necessária para separar o núcleo em núcleons individuais.



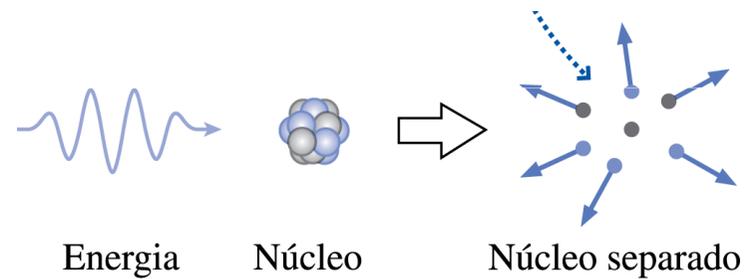
$$B + m_{\text{nuc}}c^2 = (Zm_p + Nm_n)c^2$$



Pergunta?

• O que mantém (força ou interação) os núcleons juntos?

- A) Força elétrica.
- B) Força magnética.
- C) As forças em A e B.
- D) Força gravitacional.
- E) Força de outra natureza.



Energia

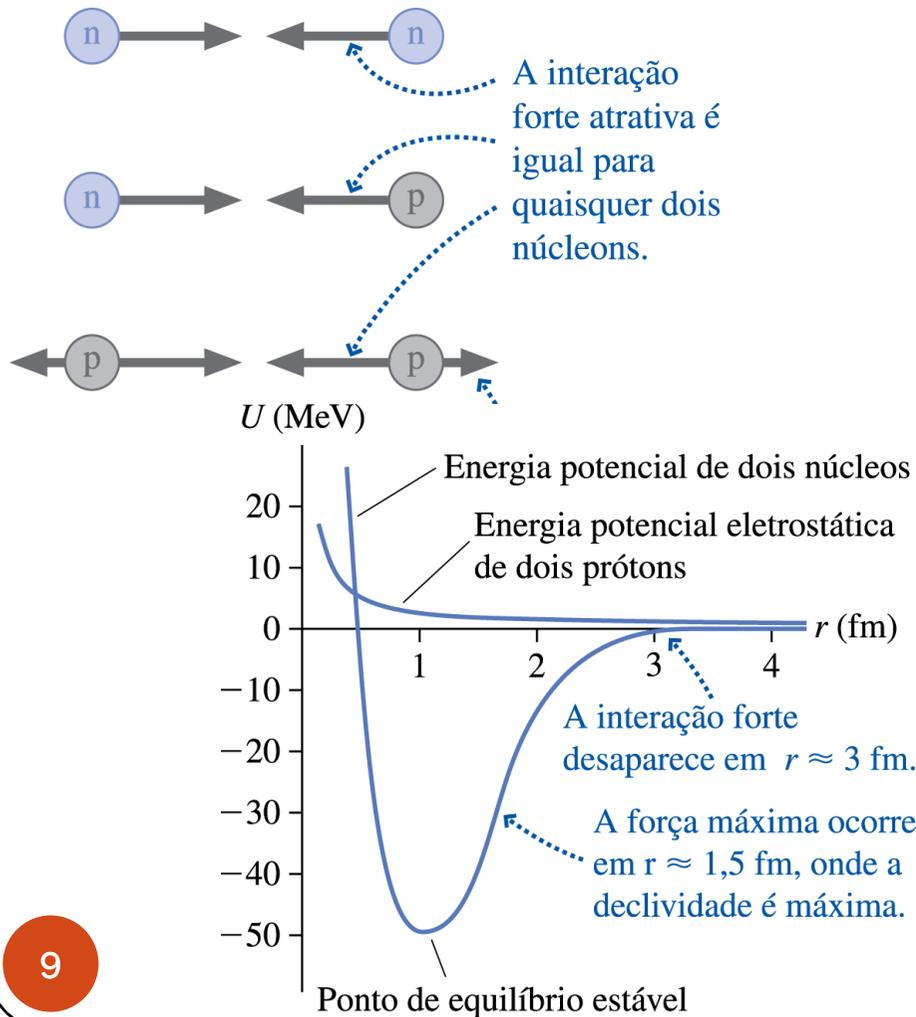
Núcleo

Núcleo separado

$$B + m_{\text{nuc}}c^2 = (Zm_p + Nm_n)c^2$$

Interação forte

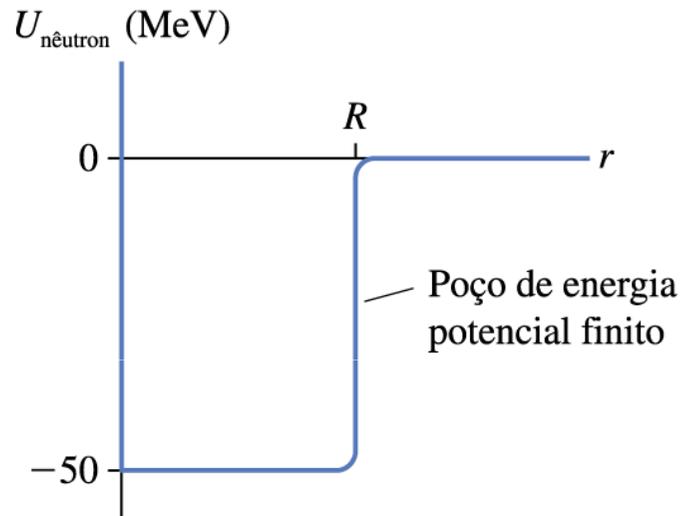
• O que mantém os núcleos compactos, já que os prótons se repelem? **R: Interação FORTE**



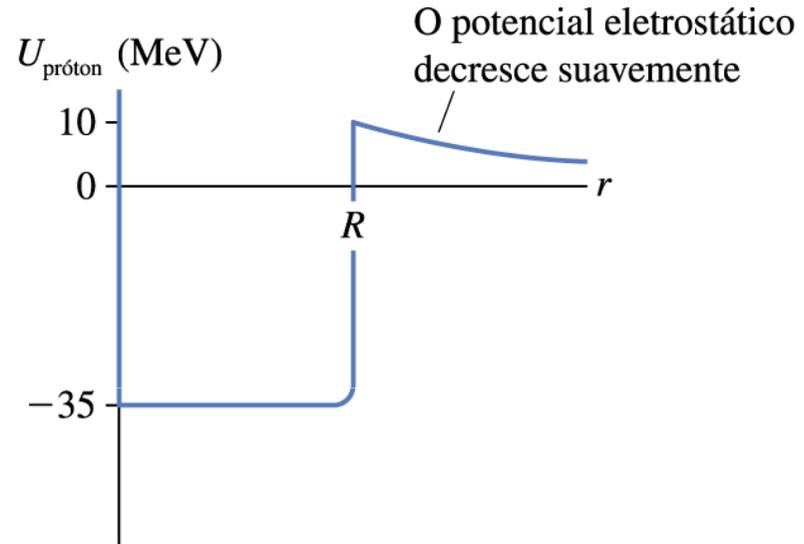
- Força atrativa
- Ela não é exercida sobre os elétrons.
- Força de curto alcance exercida em distâncias nucleares.
- Dentro de seu alcance ela é mais forte que a força eletrostática.
- Para Z grande é necessário haver muitos nêutrons para aumentar a interação FORTE.

Modelo de camadas

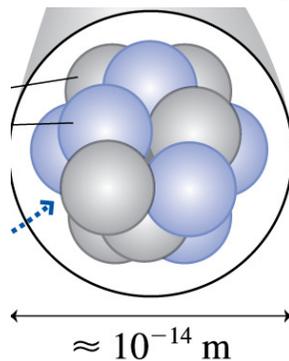
Poços de Potencial do Nêutron e do Próton



A energia potencial média de um nêutron deve-se à interação forte.



A energia potencial média de um próton se deve à interação forte e à força elétrica. Essa profundidade do poço de potencial é para $Z \approx 30$.



Modelo de camadas

Baixo valor de Z

• Poços de Potencial do Nêutron e do Próton

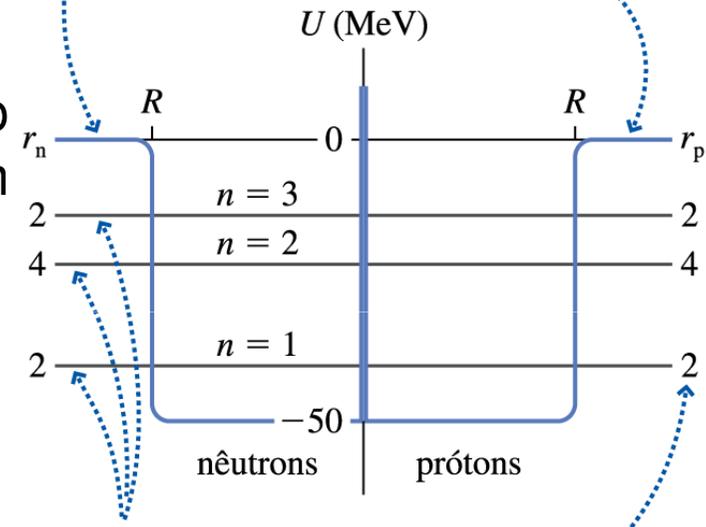
• O Boro e o Nitrogênio podem decair para o C, via decaimento Beta: emissão de um elétron, ou de um pósitron (e^+)

• $p^+ \rightarrow n + e^+$ - Decaimento Beta β^+

• $n \rightarrow p^+ + e^-$ - Decaimento Beta β^-

A distância radial do nêutron é medida à esquerda.

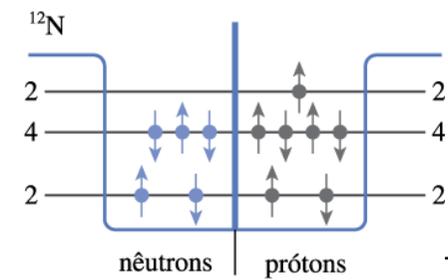
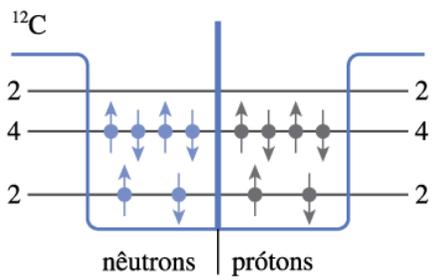
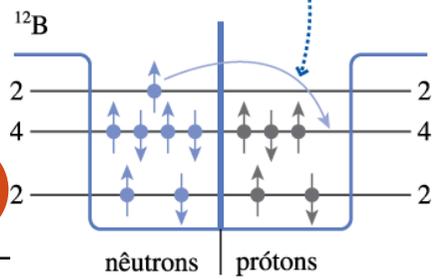
Quando o valor de Z é baixo, a energia potencial do próton é quase idêntica à energia potencial do nêutron.



Estes são os três primeiros níveis de energia permitidos. Eles estão separados

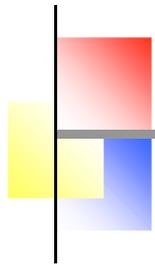
Estes são os números máximos de núcleons permitidos pelo

Um núcleo de ^{12}B poderia baixar sua energia se um nêutron pudesse se transformar em um próton.

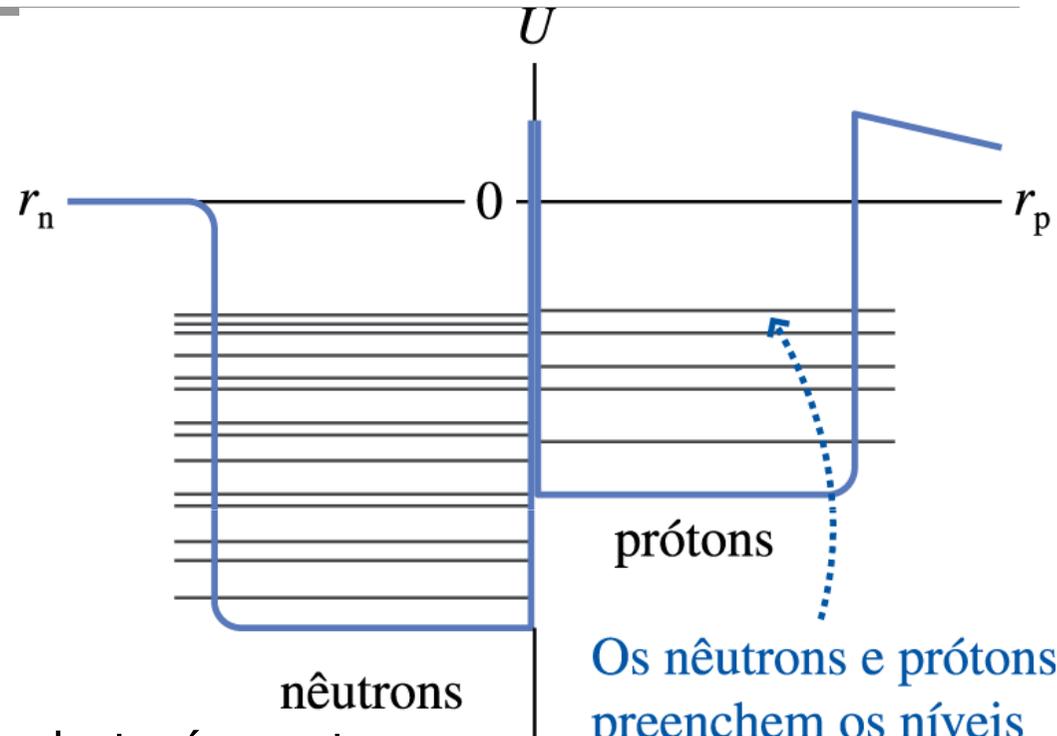


Modelo de camadas

Alto valor de Z



•Poços de Potencial do Nêutron e do Próton



•O resultado final do decaimento beta é manter os níveis preenchidos em ambos os lados com alturas aproximadamente iguais.

• $p^+ \rightarrow n + e^+$

• $n \rightarrow p^+ + e^-$

Os nêutrons e prótons preenchem os níveis de energia até a mesma altura. Para que isso ocorra, são necessários mais nêutrons que prótons.

Radiação e Radioatividade

Após Marie Curie e Pierre Currie descobrirem o rádio, J. J. Thomson e Rutherford, realizaram o experimento abaixo.

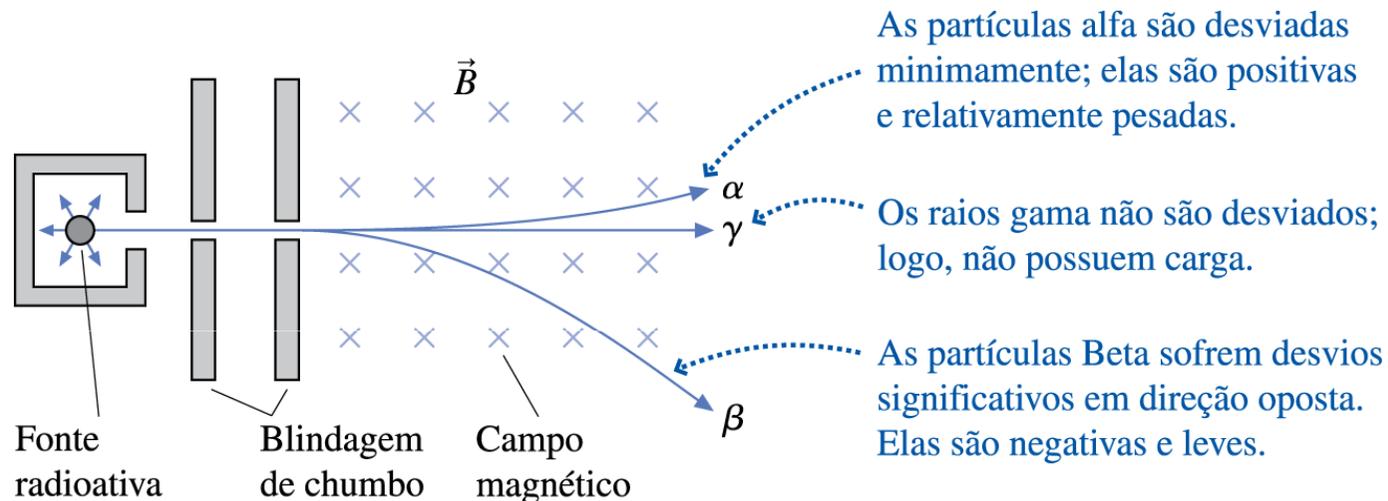


TABELA 43.3 Os três tipos de radiação

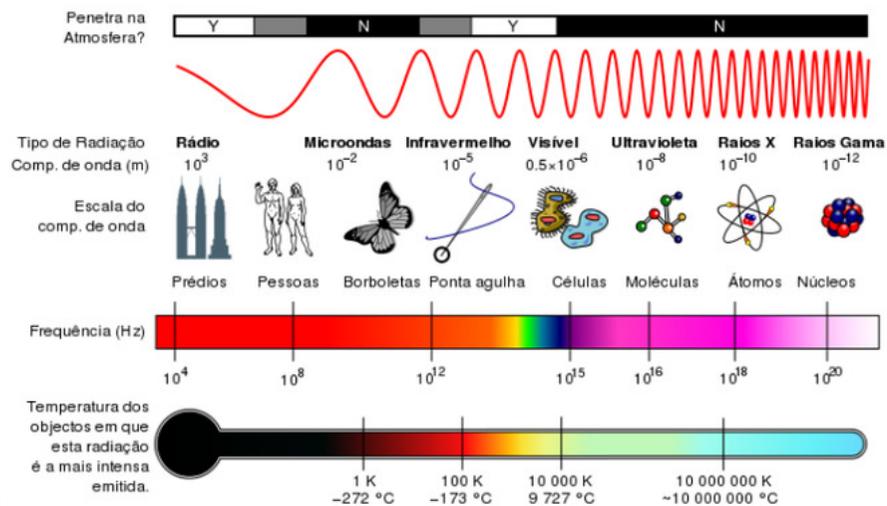
Radiação	Identificação	Carga	Blindada por
Alfa, α	Núcleo de ${}^4\text{He}$	$+2e$	Folha de papel
Beta, β	Elétron	$-e$	Folha de alumínio de alguns mm
Gama, γ	Fóton de alta energia	0	Muitos cm de chumbo

Radiação Ionizante

Raios-X e radiações abaixo – Radiações ionizantes – Ela ioniza a matéria e rompe as ligações moleculares.

TABELA 43.3 Os três tipos de radiação

Radiação	Identificação	Carga	Blindada por
Alfa, α	Núcleo de ${}^4\text{He}$	$+2e$	Folha de papel
Beta, β	Elétron	$-e$	Folha de alumínio de alguns mm
Gama, γ	Fóton de alta energia	0	Muitos cm de chumbo



Isso pode causar mutações e tumores. Mas não torna os materiais radioativos.

Radiação Ionizante

Contador Geiger:

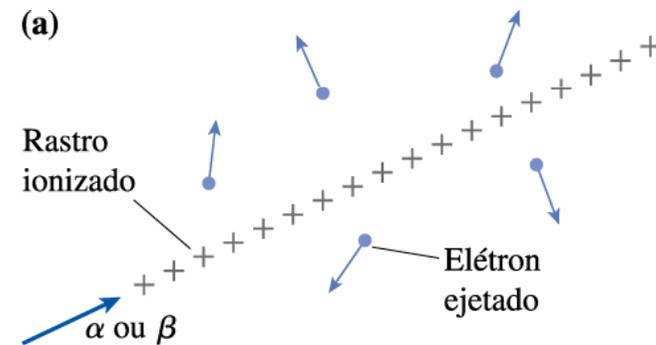
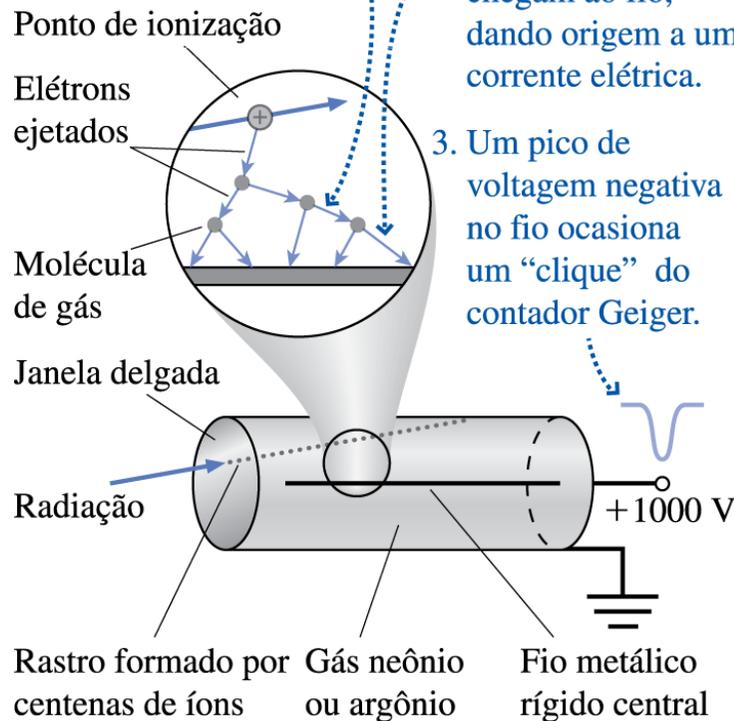
TABELA 43.3 Os três tipos de radiação

Radiação	Identificação	Carga	Blindada por
Alfa, α	Núcleo de ${}^4\text{He}$	$+2e$	Folha de papel
Beta, β	Elétron	$-e$	Folha de alumínio de alguns mm
Gama, γ	Fóton de alta energia	0	Muitos cm de chumbo

1. Elétrons ejetados causam uma reação em cadeia de ionização do gás.

2. Milhares de elétrons chegam ao fio, dando origem a uma corrente elétrica.

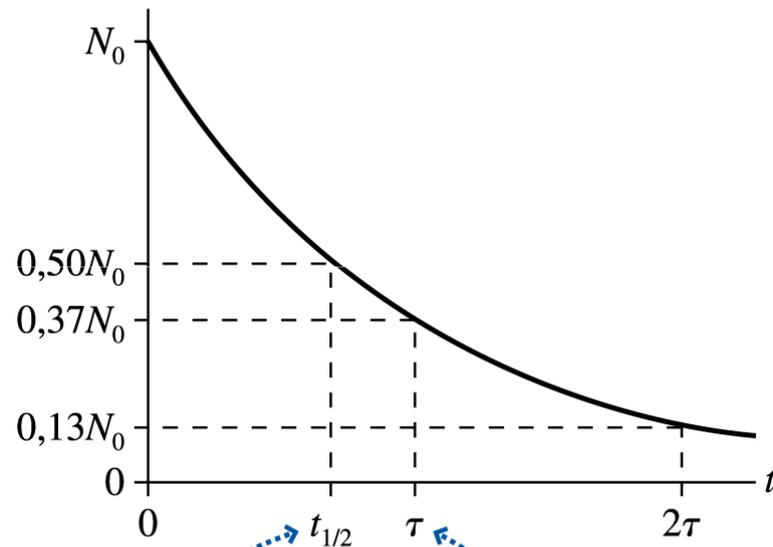
3. Um pico de voltagem negativa no fio ocasiona um “clique” do contador Geiger.



Decaimento Nuclear e Meia vida

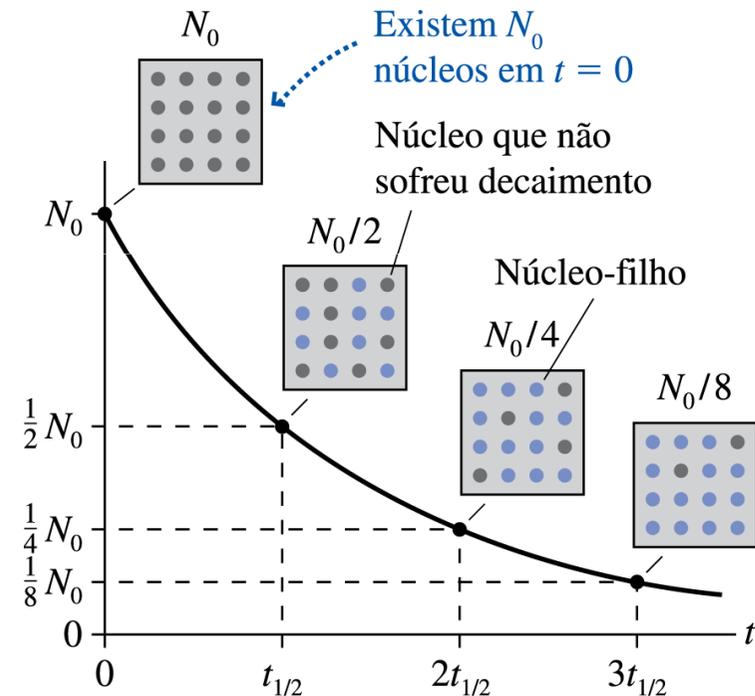
Meia Vida ($t_{1/2}$) e Constante de Tempo (τ)

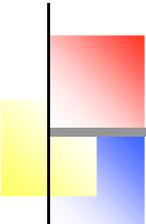
Número de núcleos restantes



A meia-vida é o tempo durante o qual decai a metade dos núcleos originais.

A constante de tempo é o instante de tempo em que o número de núcleos é e^{-1} , ou 37% do número inicial.





Decaimento Nuclear e Meia vida

43,2 - O isótopo de iodo ^{131}I , com uma meia-vida de oito dias, é usado na medicina nuclear. Uma amostra do isótopo contendo $2,00 \times 10^{12}$ átomos é criada em um reator nuclear.

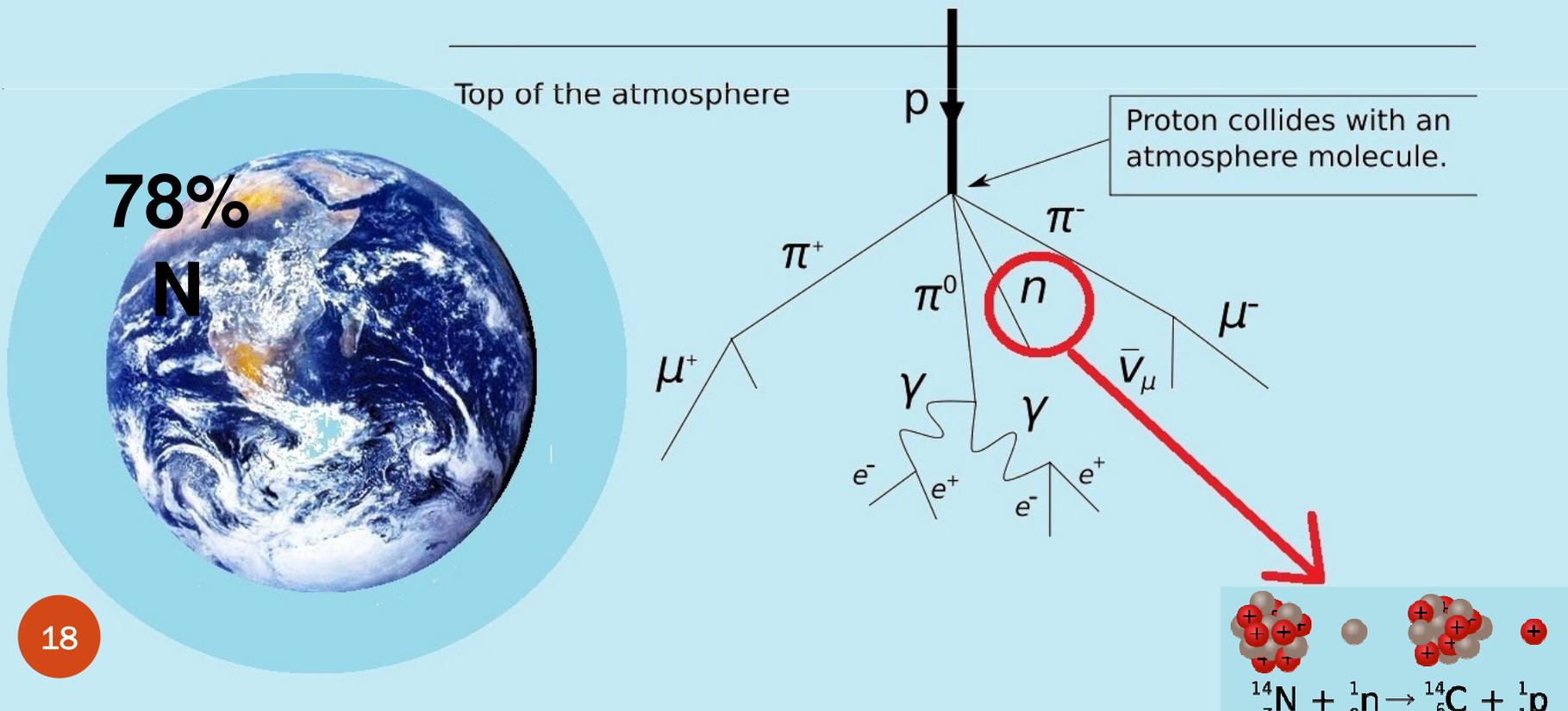
- a) Quantos átomos de ^{131}I restam 36 horas após a amostra ser entregue a um hospital?
- b) A radioatividade da amostra enfraquece constantemente, mas ainda pode ser usada desde que haja nela pelo menos $5,00 \times 10^{11}$ átomos de ^{131}I . Qual é o prazo máximo para a amostra tornar-se sem utilidade?

Respostas: a) $1,76 \times 10^{12}$ núcleos

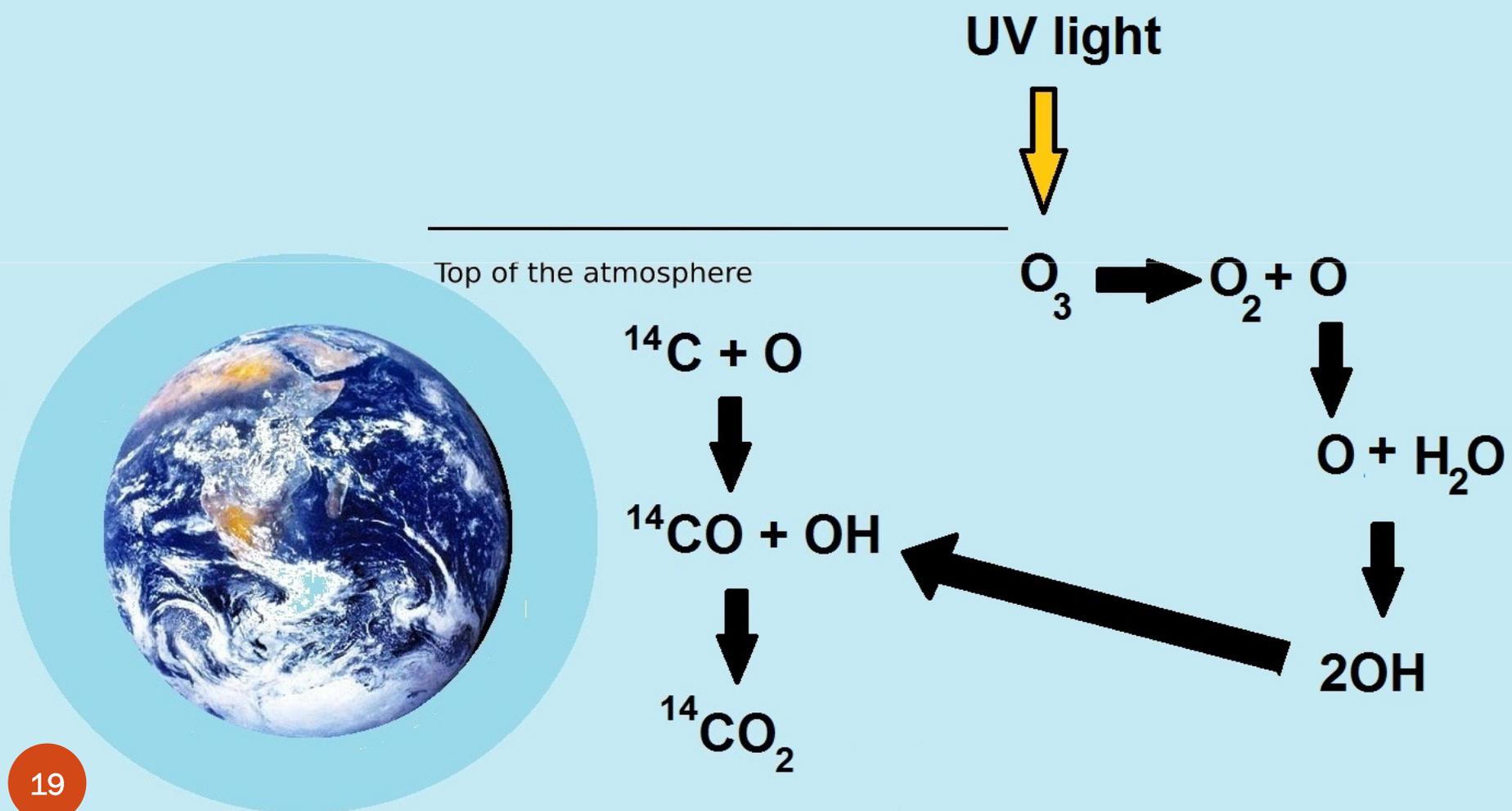
b) Duas vidas médias.

Produção de Radiocarbono (^{14}C)

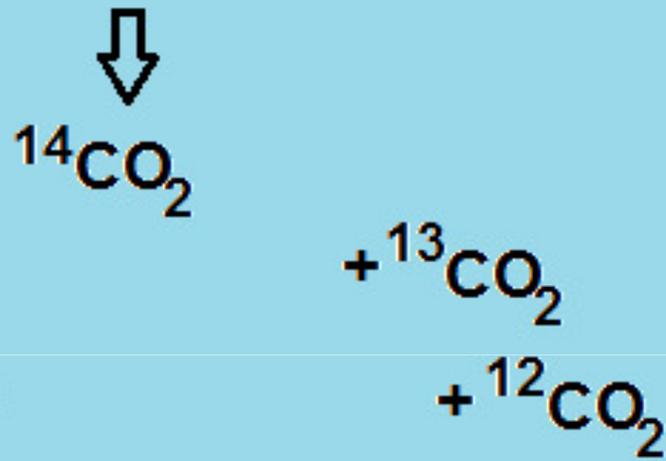
próton energético vindo do espaço profundo (“raio cósmico”)



Produção de dióxido de carbono



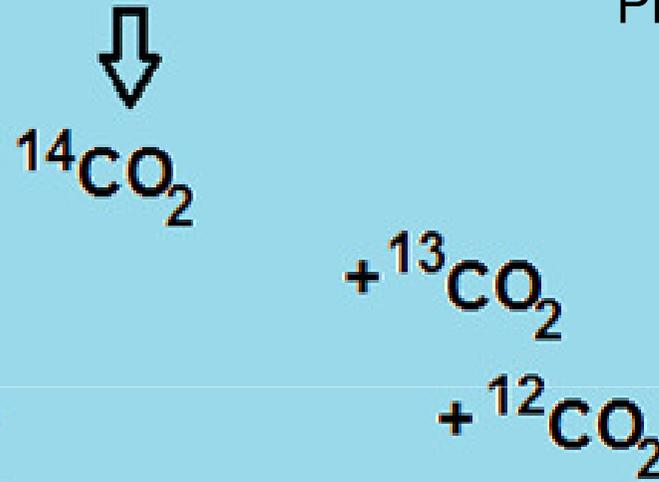
O ciclo do carbono



Equilíbrio: a produção compensa as perdas por decaimento

Proporção de equilíbrio:

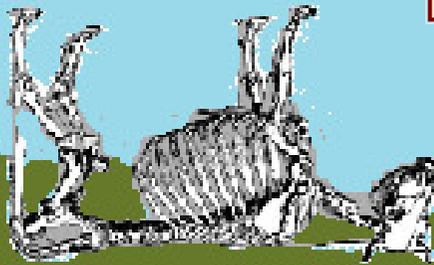
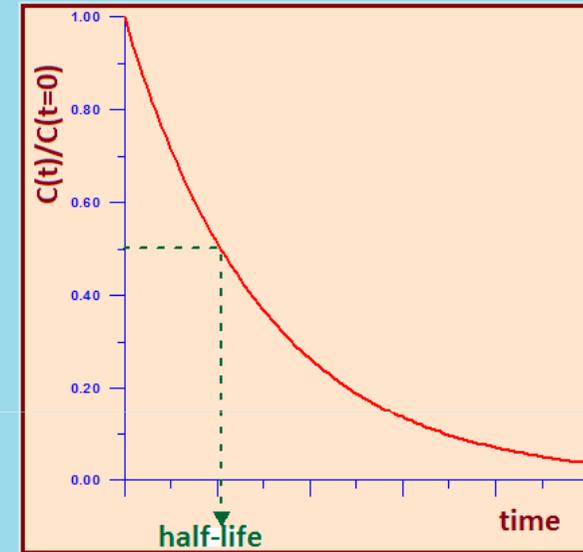
$$^{14}\text{C} / ^{12}\text{C} = 1,3 \times 10^{-12}$$



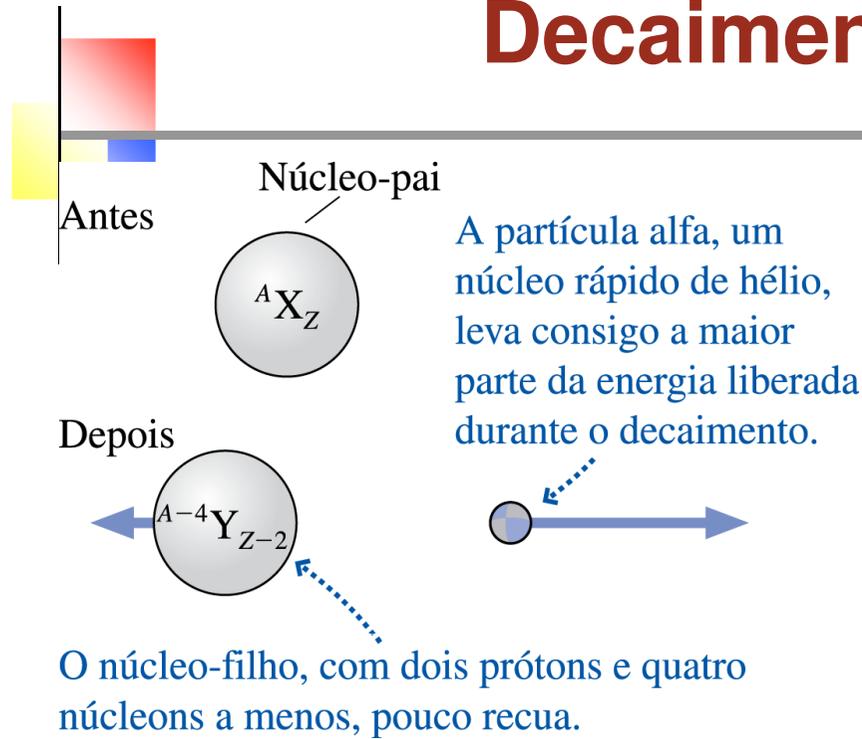
Morte: as trocas de carbono são interrompidas



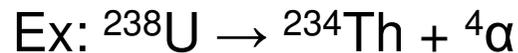
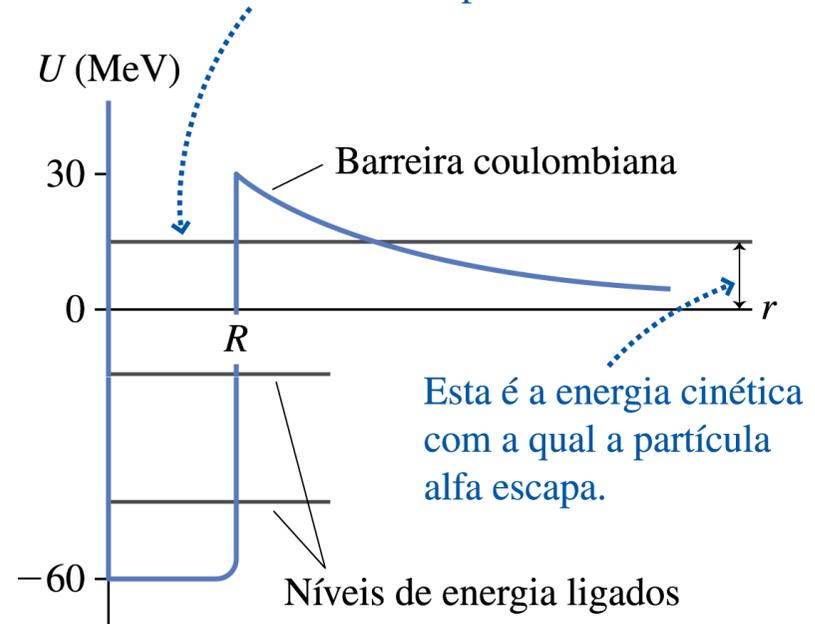
Sistema fechado: apenas o decaimento altera a razão isotópica



Decaimento alfa (α)



Uma partícula alfa pode tunelar através da barreira coulombiana e escapar.



$$m_{\text{U}} = 238,0505\text{u};$$

$$m_{\text{Th}} = 234,0436\text{u};$$

$$m_{\text{He}} = 4,0026\text{u}$$

$$\begin{aligned} \Delta E &= (m_{\text{U}} - m_{\text{Th}} - m_{\text{He}})c^2 \\ &= 0,0046\text{u} = 4,3\text{MeV} \sim K_{\alpha} \end{aligned}$$

Decaimento Beta (β)

(a) Decaimento beta-menos

Antes: ${}^A X_Z$

Depois: ${}^A Y_{Z+1}$

Um nêutron se transforma em um próton e um elétron. O elétron é ejetado para fora do núcleo.



Antes ${}^A X_Z$

depois ${}^A Y_{Z+1}$

e^-

$\bar{\nu}$

Se apenas o elétron e o núcleo-filho fossem detectados, pareceria não haver conservação de energia e momentum. A energia e o momentum “perdidos” são levados pelo antineutrino não-detectado.

(b) Decaimento beta-mais

Antes: ${}^A X_Z$

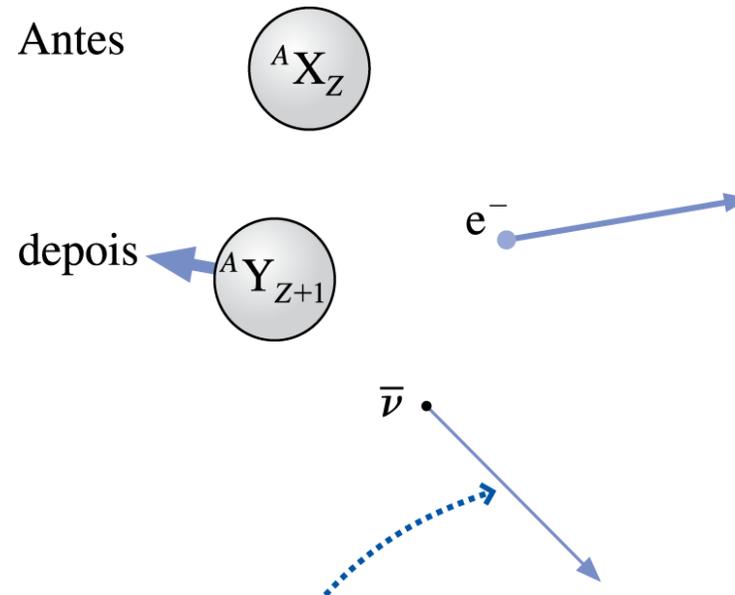
Depois: ${}^A Y_{Z-1}$

Um próton se transforma em um nêutron e um pósitron. O pósitron é ejetado para fora do núcleo.



Decaimento β e a força nuclear fraca

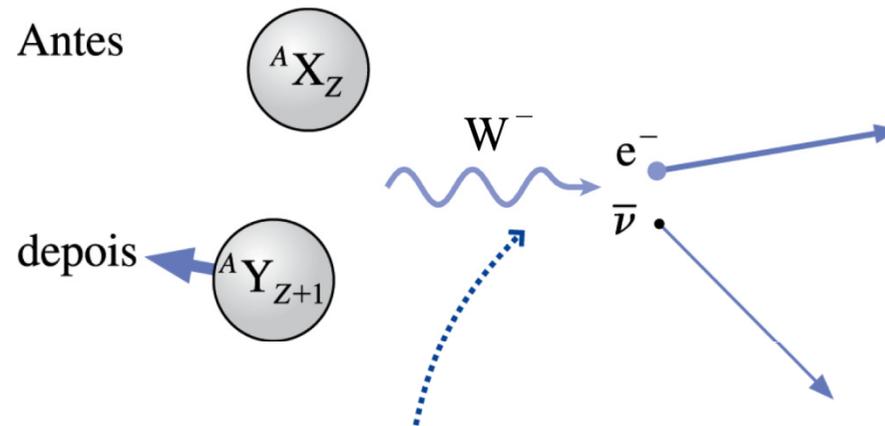
Na realidade é mais complicado....



Um (*anti*)*neutrino* também é criado, levando parte da energia e momentum do nêutron original. Essa partícula é muito difícil de detectar, pois não tem carga e sua massa é (pelo menos) 100000 vezes menor que a do elétron.

Decaimento β e a força nuclear fraca

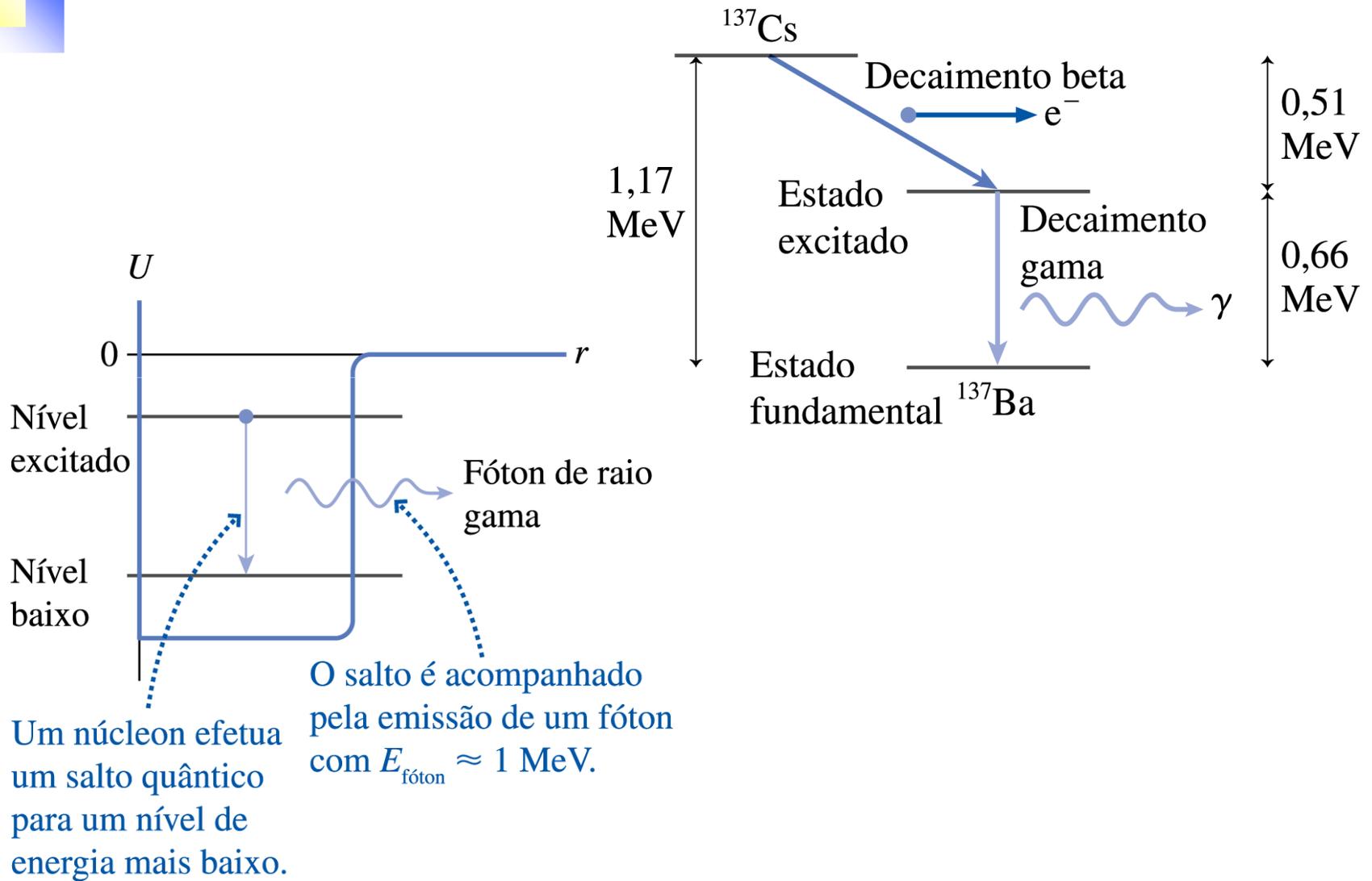
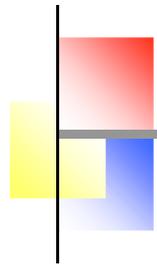
Na realidade é mais complicado *ainda*....



emissão de uma partícula W^- , a qual rapidamente decai no e^- e no $\bar{\nu}$

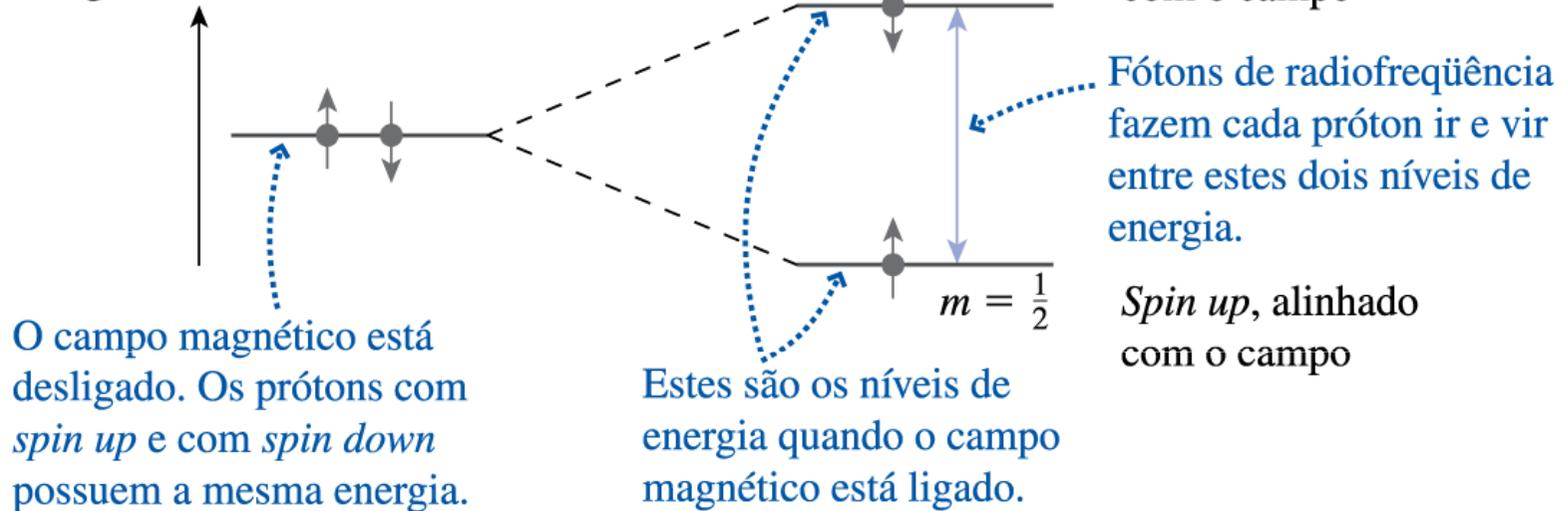
Essa partícula é análoga a um fóton, mas ao invés de transmitir a força eletromagnética ela é responsável por uma nova força, chamada **força nuclear fraca** (pois só age no interior do núcleo, mas é muito mais fraca que a força nuclear forte). Existem ainda outras duas 'versões' dessa partícula, chamadas W^+ (emitida no decaimento β^+) e Z (neutra, responsável pela interação entre neutrinos e elétrons). A existência de todas elas só foi confirmada em 1983.

Decaimento Gama (γ)

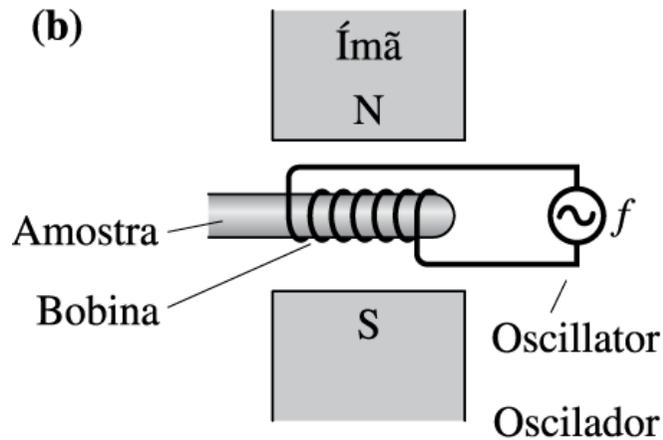


Ressonância Magnética (Nuclear)

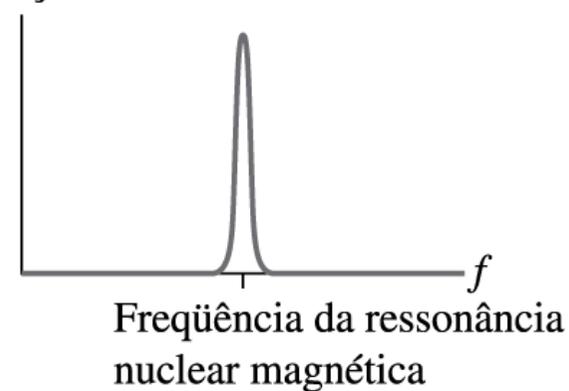
(a) Aumento de energia

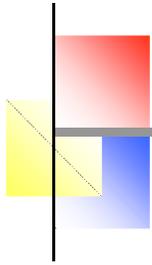


(b)



Absorção





Ressonancia Magnética (Nuclear)

Cada tecido tem frequências ressonantes ligeiramente diferentes (conhecidas). Além disso, colocando o corpo como um todo em um campo magnético estático inhomogêneo, essas frequências passam também a variar ligeiramente de ponto para ponto. Assim é possível se determinar precisamente qual parte do corpo está absorvendo qual frequência, e mapear os tecidos. Um programa de computador interpreta os dados e gera uma imagem

