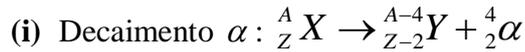


# Física IV – Poli – Engenharia Elétrica: 22ª Aula (11/11/2014)

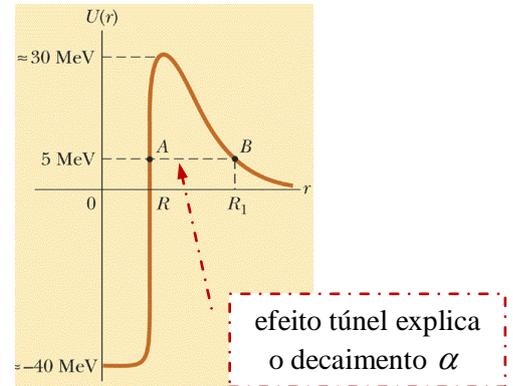
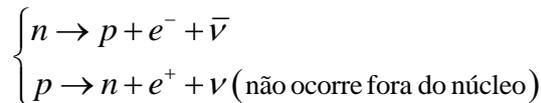
Prof. Alvaro Vannucci

Na última aula vimos:

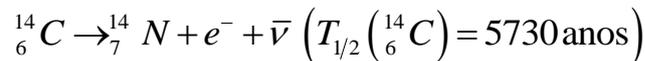
- Tipos de desintegração:



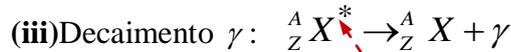
- (ii) Decaimento  $\beta$ :



- Reação importante para datação de amostras arqueológicas:



Sendo que na atmosfera, a razão:  $\frac{N({}^{14}C)}{N({}^{12}C)} \sim 1,3 \times 10^{-12}$  (constante)

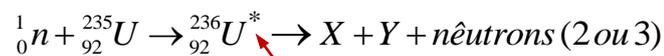


núcleo excitado

- Reações nucleares são do tipo:  $a + X \rightarrow Y + b$
- A energia da reação (endotérmica se  $Q > 0$  e exotérmica se  $Q < 0$ ):

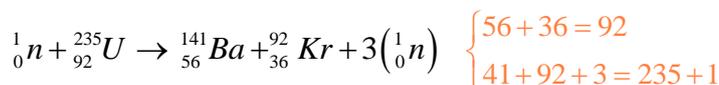
$$Q = (M_a + M_x - M_y - M_b)c^2$$

- Nêutrons livres têm vida-média  $\sim 10$  min e são termalizados através de colisões elásticas com elementos leves (encontrados na água, parafina, etc).
- Fissão nuclear (de núcleons pesados e grandes, como o  ${}^{235}_{92}U$  e o  ${}^{239}_{94}Pu$ ):

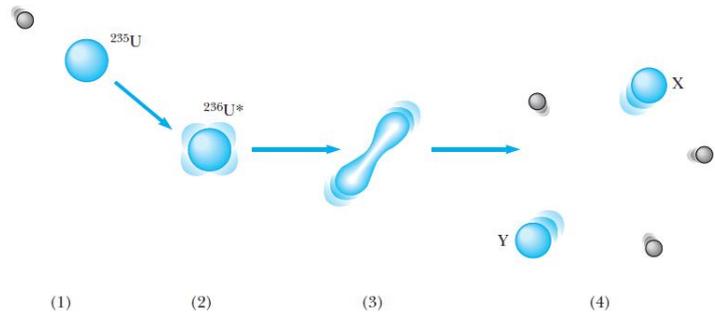


permanece excitado até  $\Delta t \sim 10^{-12} s$

- Energia liberada em cada reação ( $E = \Delta mc^2$ ) é da ordem de  $200 MeV$ ; que é carregada pelos fragmentos de fissão e, principalmente, pelos nêutrons.
- Por exemplo:

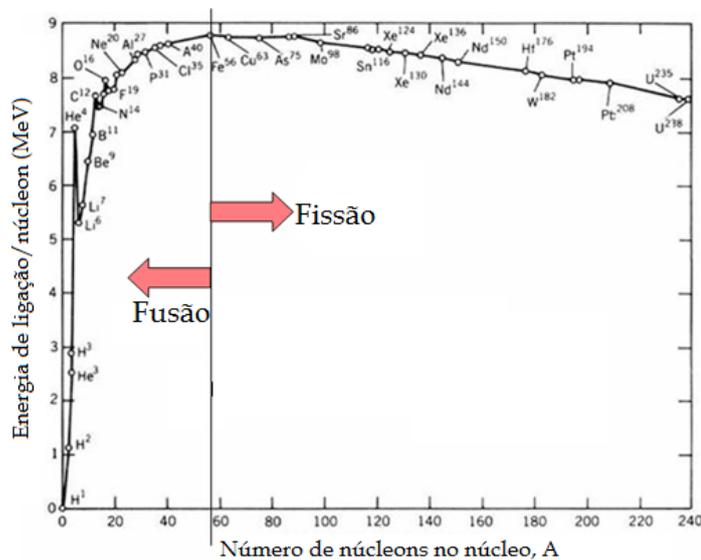


- Um modelo teórico que se utiliza para estudar o processo de fissão nuclear é o da *gota líquida*.
- A fissão se processa de uma forma assimétrica) com relação ao tamanho dos fragmentos de fissão, sendo que um deles terá alto  $(A, Z)$  e o outro baixo  $(A, Z)$ .



- Nos reatores nucleares de fissão, quando um núcleo de  $^{235}\text{U}$  fissiona, em média 2,5 nêutrons são produzidos por evento, e é esse fato que acaba provocando a *reação em cadeia*.

- É interessante também abordar a questão da energia envolvida no processo de fissão (bem como nos demais processos de desintegração nuclear), considerando a *energia de ligação* existente entre os núcleons de um dado elemento.
- Na figura, veja que os núcleons mais pesados possuem energia de ligação  $E_l \sim 7,6 \text{ MeV} / \text{nucleon}$ ; enquanto que os núcleos de massa intermediária ( $40 \lesssim A \lesssim 120$ ) têm  $E_l \sim 8,5 \text{ MeV} / \text{nucleon}$ .



- Isto significa que os fragmentos de fissão, por terem menor massa em relação ao núcleo físsil mãe e se situarem na região intermediária, têm *maior* energia de ligação.
- De forma que, quando ocorre a fissão do núcleo-mãe, esta diferença de energia ( $\Delta E \sim (8,5 - 7,6) \text{ MeV}$  por nucleon) é transformada em energia cinética, após a desintegração.

- Para um total de 240 núcleons, se houvesse a separação total de todos os núcleons, teríamos disponível  $Q = (240)(8,5 - 7,6) = 220 \text{ MeV}$ .

➤ **Exemplo:** Considerando a reação  ${}_0^1n + {}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{56}^{141}\text{Ba} + {}_{36}^{92}\text{Kr} + N_0^1n$ , responda:

- a) Quantos nêutrons  $N$  foram liberados na reação?  
 b) Qual a energia total liberada na reação?  
 c) Qual a razão entre a energia liberada e a energia inicial disponível (correspondente ao  ${}^{236}\text{U}^*$ )?  
 d) Compare a energia de ligação do  ${}^{235}\text{U}$  com a soma das energias do  ${}^{92}\text{Kr}$  e  ${}^{141}\text{Ba}$ .  
 Dados:  $M({}_0^1n) = 1,008665u$ ;  $M({}_{92}^{235}\text{U}) = 235,043915u$ ;  $M({}_{56}^{141}\text{Ba}) = 140,9139u$ ;  
 $M({}_{36}^{92}\text{Kr}) = 91,8973u$ .

➤ **Resolução:**

- a) Pelo balanço de massa atômica,  $N = 3$ .

$$b) \begin{cases} \text{massa de repouso inicial: } m_i = 235,043915u + 1,008665u = 236,05258u \\ \text{massa de repouso final: } m_f = [140,9139 + 91,8973 + (3)(1,008665)]u = 235,837195u \end{cases}$$

$$\therefore \Delta m = 0,215385u \Rightarrow (1u = 931,50 \text{ MeV}) \Rightarrow \underline{\underline{\Delta m = 200,6 \text{ MeV}}}$$

Ou então:

$$E = \Delta mc^2 = (0,215385u)(1,660559 \times 10^{-27} \text{ Kg/u})(3 \times 10^8)^2 = \underline{\underline{3,22869 \times 10^{-11} \text{ J}}}$$

$$\therefore E = (3,22869 \times 10^{-11} \text{ J})(1,6 \times 10^{-19} \text{ eV/J}) \Rightarrow \underline{\underline{E = 201 \text{ MeV}}}$$

$$c) R = \frac{(0,215385u)(c^2)}{(236,05258u)(c^2)} \Rightarrow \underline{\underline{R = 9,1 \times 10^{-4} = 0,09\%}}$$

d) Usando o gráfico, vemos:

$$\begin{cases} E_{\text{ligação}}({}_{92}^{235}\text{U}) \sim 7,3 \text{ MeV} / \text{núcleon} \\ E_{\text{ligação}}({}_{36}^{92}\text{Kr}) \sim 8,4 \text{ MeV} / \text{núcleon} \\ E_{\text{ligação}}({}_{56}^{141}\text{Ba}) \sim 8,1 \text{ MeV} / \text{núcleon} \end{cases}$$

energia que eu precisaria fornecer para reverter o processo

$$\text{assim: } \begin{cases} E_i = 235 \times 7,3 = 1716 \text{ MeV} \\ E_f = (92)(8,4) + (141)(8,1) = 1915 \text{ MeV} \end{cases} \Rightarrow \underline{\underline{\Delta E = 199 \text{ MeV}}}$$

*Ver Apresentação - Fusão Nuclear: Trazendo para a Terra e Energia das Estrelas*