

CONCEITOS, DEFINIÇÕES E APLICAÇÕES DE PROCESSOS RADIOATIVOS ENVOLVENDO FENÔMENOS NATURAIS E ARTIFICIAIS

W. L. POLITO

INSTITUTO DE QUÍMICA DE SÃO CARLOS
-UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO-



Este trabalho é uma apresentação sobre CONCEITOS, DEFINIÇÕES E APLICAÇÕES DE PROCESSOS RADIOATIVOS ENVOLVENDO FENÔMENOS NATURAIS E ARTIFICIAIS. Trata-se de um texto de auto aprendizado para ser empregado em seu local de estudo.



Quando um slide tiver todas as informações expostas, o seguinte símbolo aparecerá na parte inferior esquerda da tela -



Para voltar um slide clique -



Para avançar um slide clique -



Para deixar a apresentação clique a tecla ESC de seu teclado.



CONTEÚDO

Há dois tópicos nesta apresentação:

INTRODUÇÃO E CONCEITOS..... 4

ENERGIA E RADIAÇÃO..... 46

RADIAÇÃO IONIZANTE E SUA MONITORAÇÃO..... 75

APLICAÇÃO DE RADIAÇÕES NA IRRADIAÇÃO DE
ALIMENTOS, TRAÇADORES RADIOATIVOS E MEDICINA
NUCLEAR..... 102

Se quiser pular um tópico particular clique sobre o texto de cada tópico ou sub-item para avançar ao próximo tema ou nos comandos de pular ou voltar slide, adequadamente, de outra para esta página.



INTRODUÇÃO E CONCEITOS

IF THE RADIANCE OF A THOUSAND SUNS
WERE TO BURST AT ONCE UPON THE SKY
THAT WOULD BE LIKE THE SPLENDOR OF MIGHT ONE...
I AM BECOME DEATH
THE CHATTERER OF WORLDS

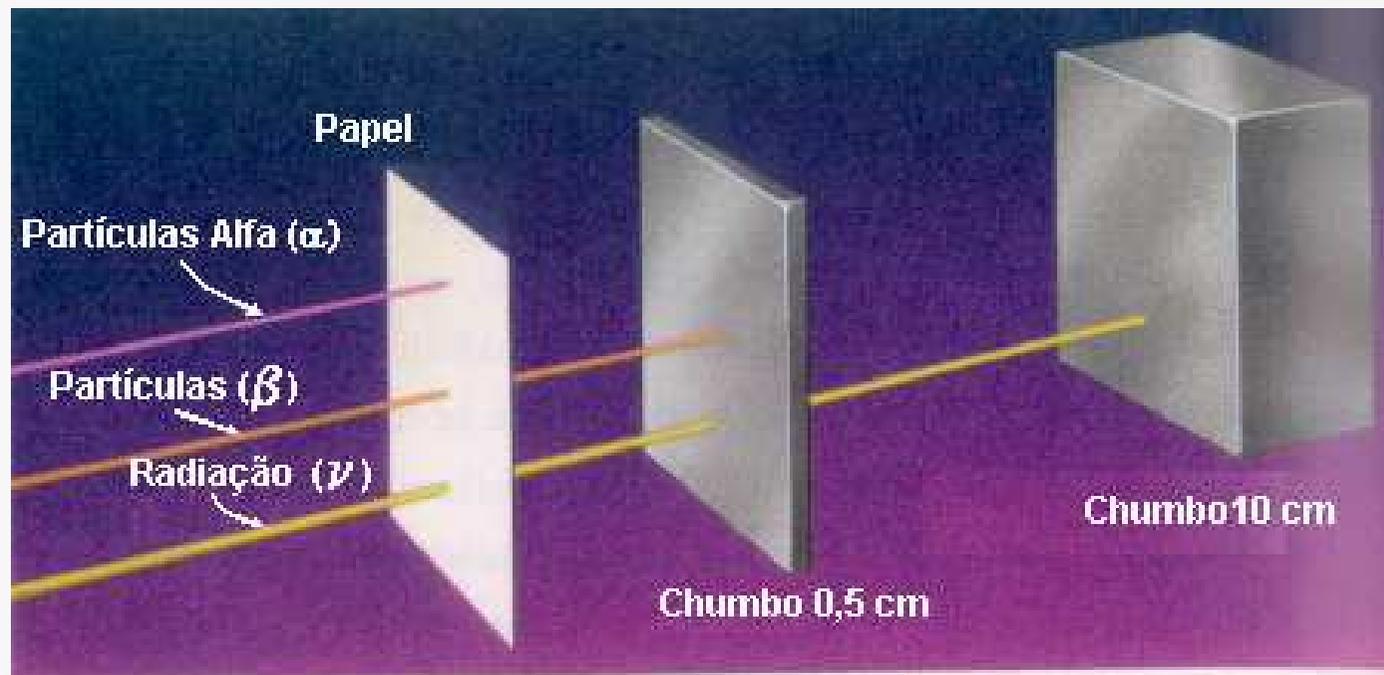
J. ROBERTS OPPENHEIMER, DIRETOR DO PROJETO DE
CONSTRUÇÃO DA BOMBA ATÔMICA LEMBRANDO AS PALAVRAS
DO LIVRO SAGRADO DOS HINDUS BHAGAVAD-GITA NO EXATO
MOMENTO DA EXPLOSÃO DA PRIMEIRA BOMBA ATÔMICA EM
HIROSHIMA...

PARA PÁGINA DO
CONTEÚDO

FIM



- Questão simples, aparentemente: Quais são as partículas nucleares ou tipos de radiações presentes em fenômenos naturais e artificiais de emissões nucleares?



- Figura 1. Tipos de radiações e emissões nucleares com sua relativa penetrabilidade na matéria



INTRODUÇÃO E CONCEITOS

- Portanto, há três tipos de partículas mais frequentemente consideradas em fenômenos nucleares:
 - Partículas alfa (α),
 - Partículas Beta (β) e
 - Radiação (γ)
- No final do século XIX, Ernest Rutherford e J. Thompson estavam investigando as emanções do urânio e descobriram as radiações α e β . Na época afirmaram que havia **pelo menos** esses dois tipos de emissões.
- As radiações alfa eram mais pesadas e menos penetrantes e eram fortemente atraídas por um campo elétrico carregado com cargas negativas.
- As radiações beta eram mais leves e eram atraídas por campo elétrico carregado positivamente..
 - As Radiações Gama foram descobertas mais tarde por P. VILLARD, pesquisador francês, que primeiro observou suas características (descarregada e não afetada por campo elétrico)



INTRODUÇÃO E CONCEITOS

- A Tabela I a seguir mostra as características dessas partículas atômicas:

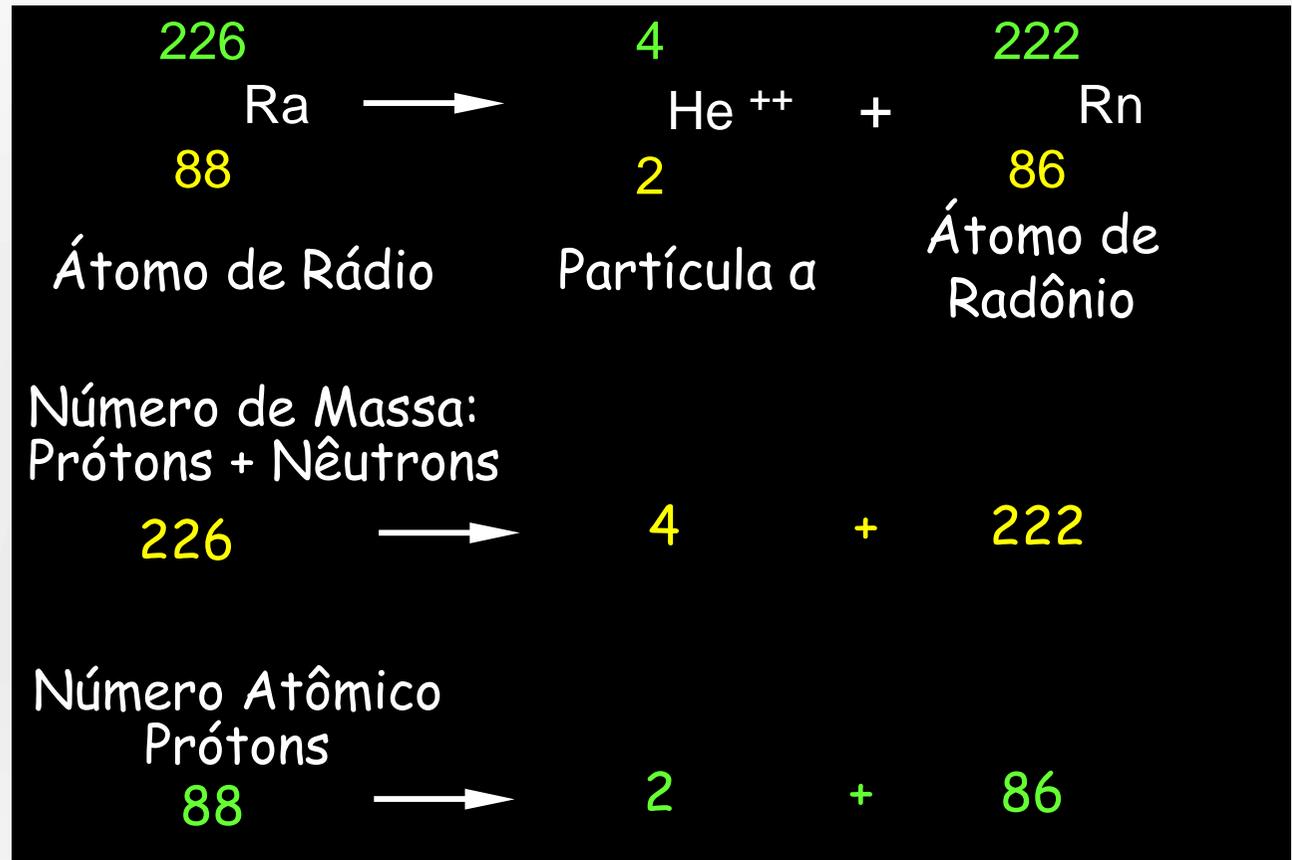
NOME	SÍMBOLO	CARGA ELÉTRICA	MASSA (g / PARTÍCULA)
Alfa (α)	$\begin{matrix} 4 \\ \text{He}^{2+} \\ 2 \end{matrix}$	2+	$6,65 \times 10^{-24}$
Beta (β^-)	$\begin{matrix} 0 \\ e \\ -1 \end{matrix}$	1-	$9,11 \times 10^{-28}$
Beta (β^+)	$\begin{matrix} 0 \\ e \\ +1 \end{matrix}$	1+	$9,11 \times 10^{-28}$
Gama (γ)	$\begin{matrix} 0 \\ \gamma \\ 0 \end{matrix}$	0	0



INTRODUÇÃO E CONCEITOS

- Segundo RUTHERFORD os átomos de rádio ao se transformarem (decaírem) não emitem apenas partículas α , mas, também, produzem o gás radiativo “radônio”. Essa descoberta foi feita por E. RUTHERFORD e FREDERICK SODDY em 1903. Esses dois autores propuseram que a Radioatividade é um fenômeno natural em que um determinado elemento se transforma em outro (com diferente número atômico).

Reações Nucleares



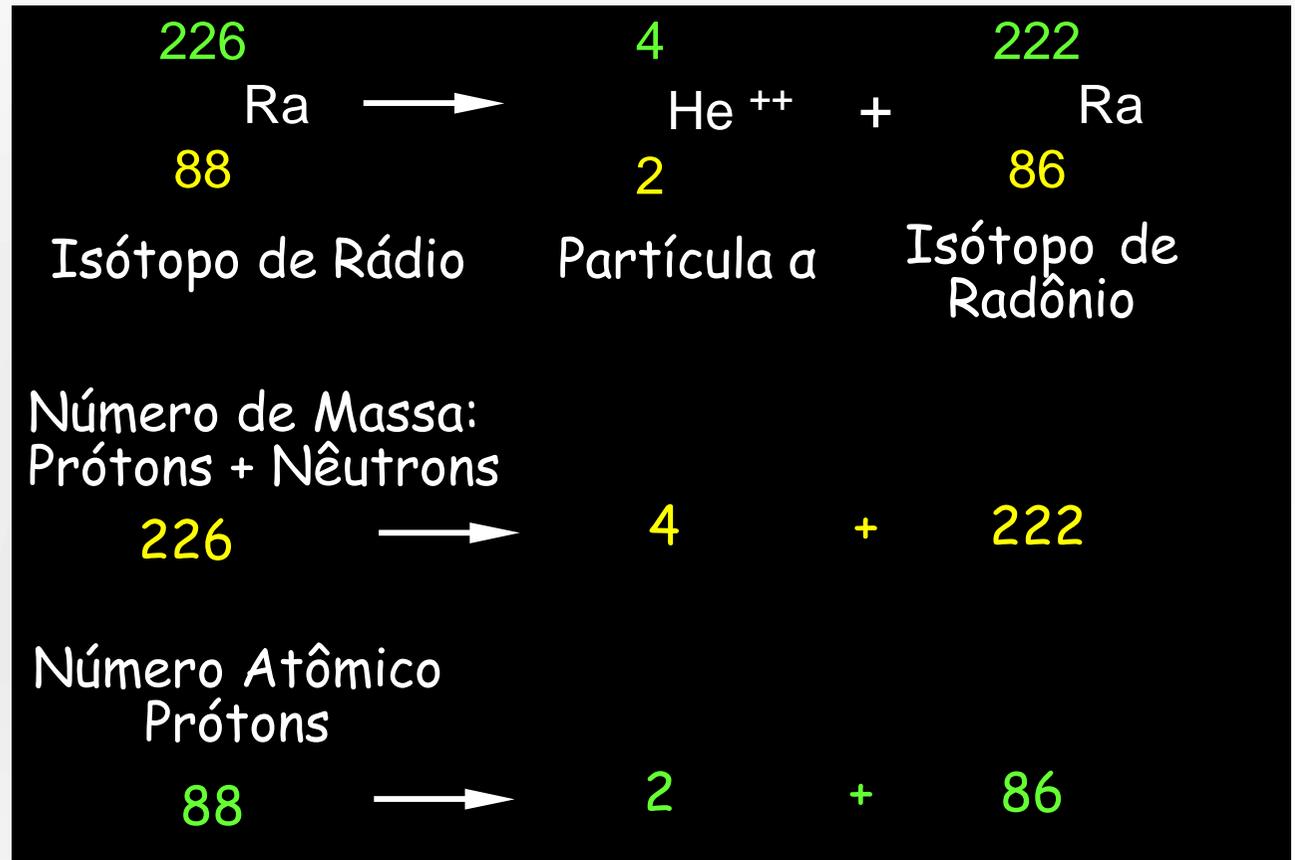
- A transformação que ocorre é uma **REAÇÃO NUCLEAR**.



- Nas reações nucleares ocorrem mudanças de Número Atômico (Z) e com muita frequência, mudança de número de massa. Na reação dada como exemplo, ocorre um perfeito balanceamento do número de massa (A) e do número atômico (Z).

/// Em reações químicas os átomos em moléculas são rearranjados, mas eles não são destruídos ou criados átomos novos. Mantém-se o número de átomos

• Reações Nucleares



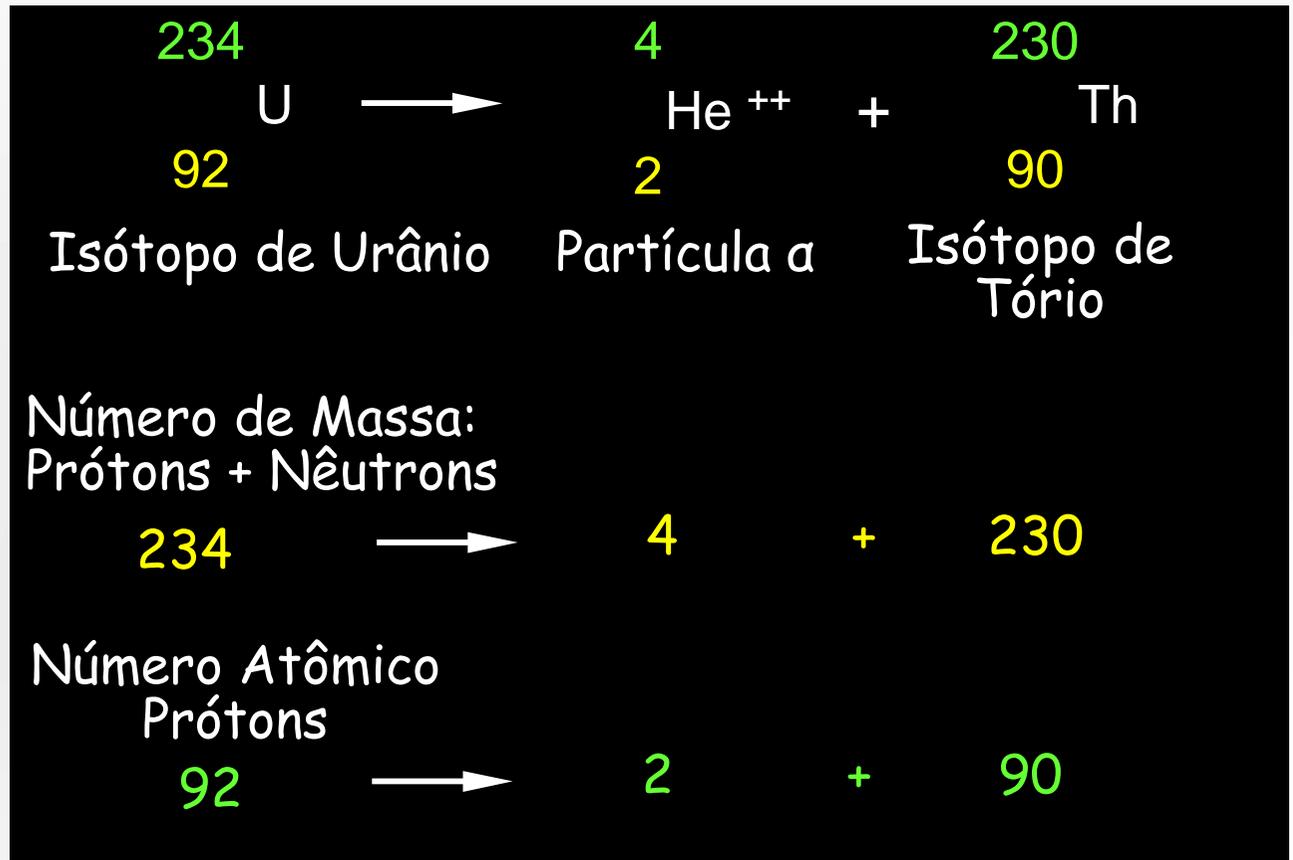
- Nas transformações nucleares o número de nucleons (prótons e nêutrons, ou partículas nucleares) se conservam.



INTRODUÇÃO E CONCEITOS

- Reações Nucleares envolvendo Partículas α e β

- O fenômeno natural radioativo envolve fenômenos de “decaimento” ou “desintegração”. Isto significa que ao se transformar o átomo ejeta para fora do núcleo as partículas como foi ilustrado na reação do rádio se transformando em radônio por α emissão. Outro exemplo pode ser a transformação radioativa que ocorre com o urânio-234:



- Deve-se notar que as emissões α são acompanhadas de um decréscimo de 4 no número de massa e um decréscimo de 2 no número atômico, para cada partícula emitida.



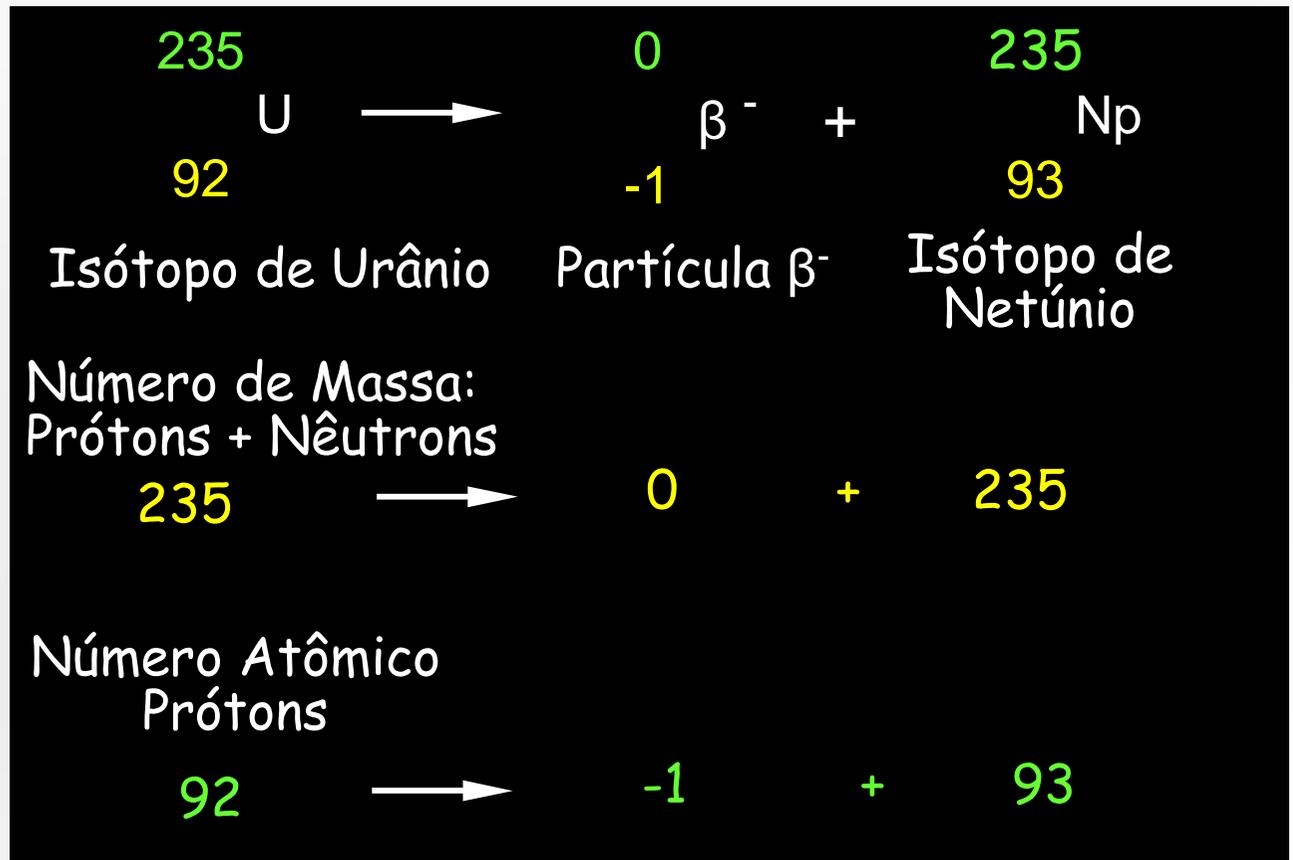
INTRODUÇÃO E CONCEITOS

• Reações Nucleares envolvendo Partículas α e β

• A emissão de Partículas β

β é um outro tipo de decaimento ou “desintegração” radioativa.

Além de sofrer o decaimento do tipo α os radioisótopos podem decair por emissão de carga negativa do núcleo, como o exemplo de reação que ocorre com o isótopo urânio-235.

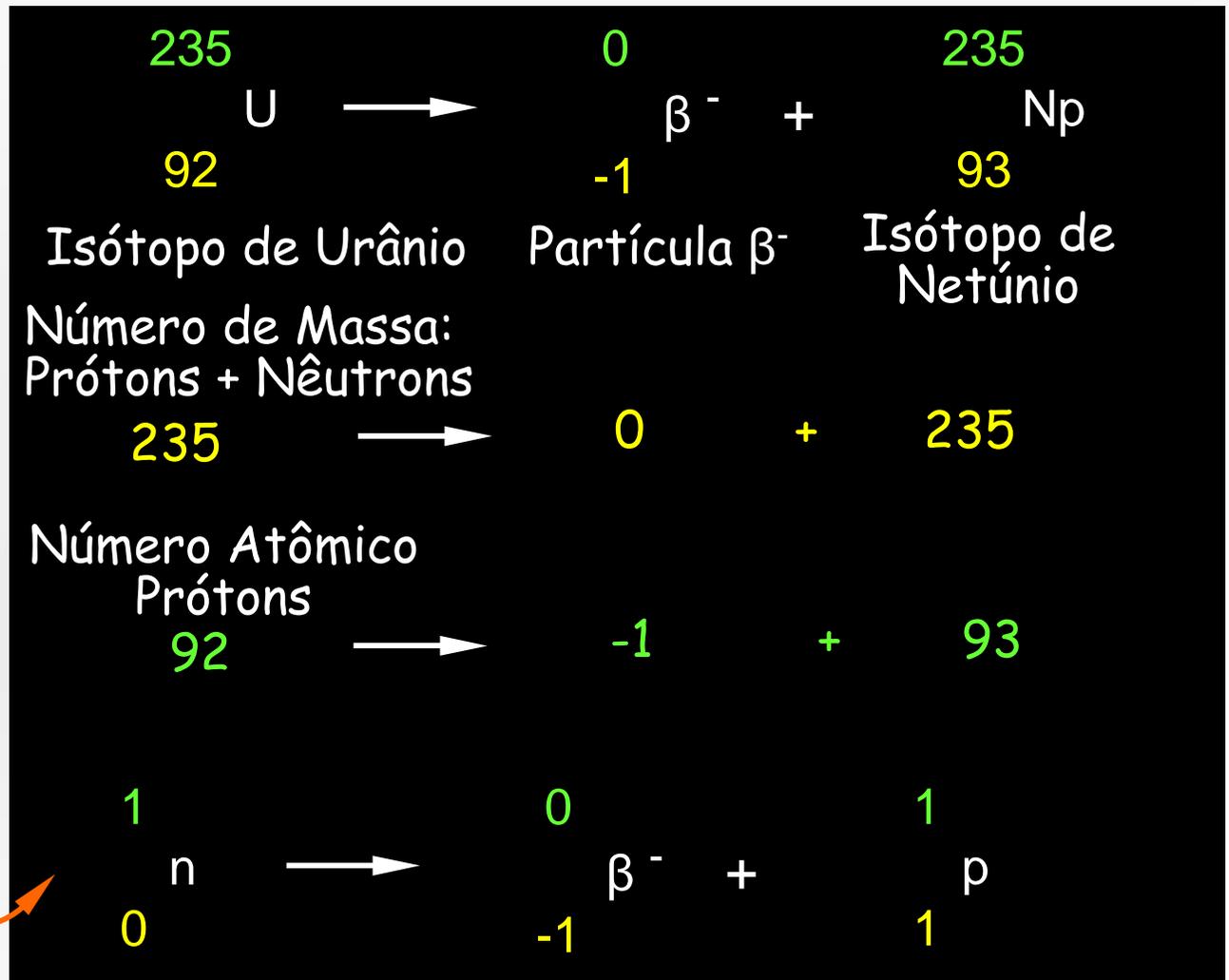


- Como a partícula β^- tem sinal negativo, deve-se notar que as emissões β^- são acompanhadas de um acréscimo de 1 no número atômico e o número de massa fica inalterado, pois é ejetado do núcleo um elétron de alta energia com massa equivalente a 1/1836 do próton para cada partícula emitida.



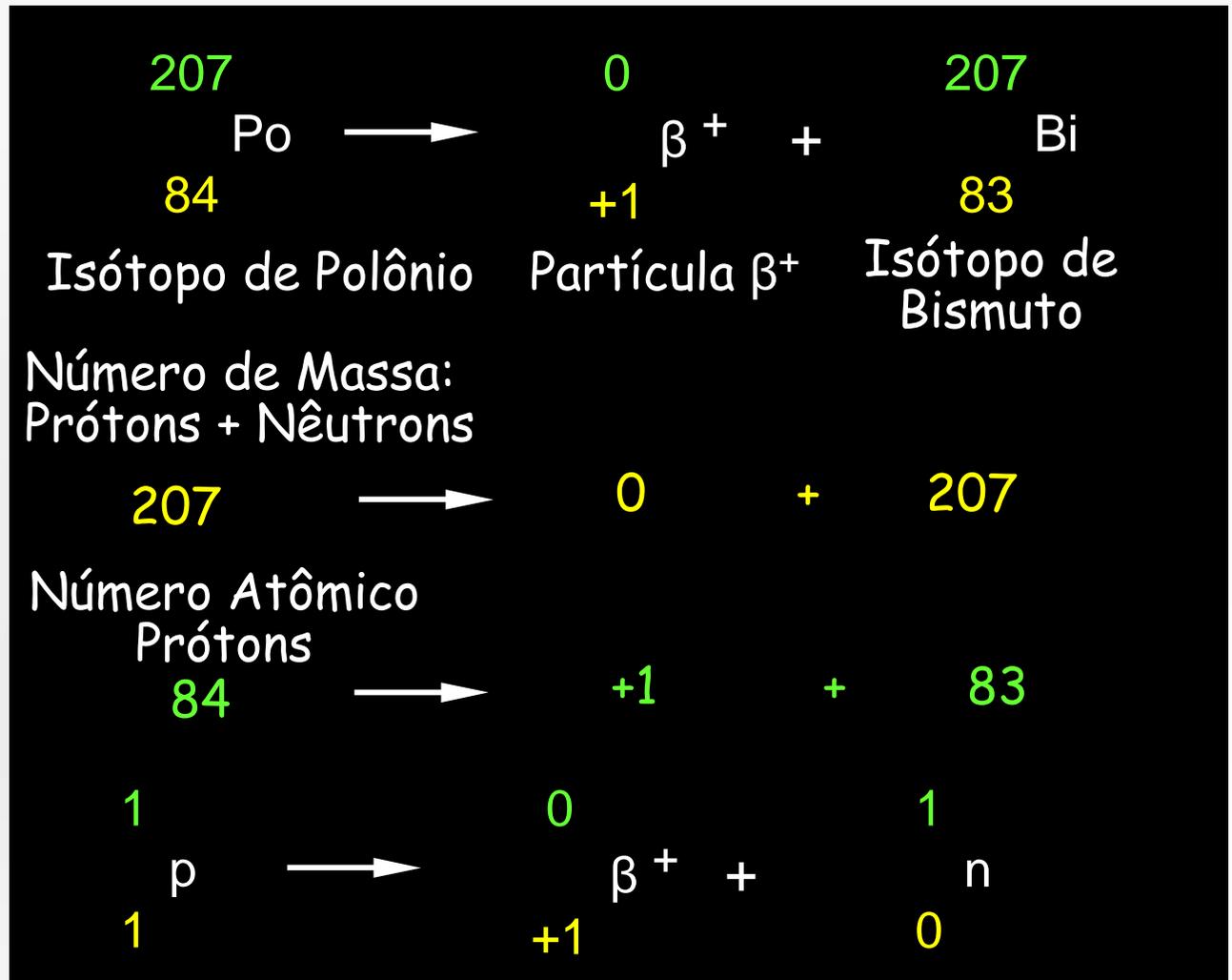
- Reações Nucleares envolvendo Partículas α e β

- Aceita-se, geralmente, que na emissão de Partículas β ocorre algum tipo de transformação no núcleo que provoca a transformação de um nêutron em um próton com a emissão da partícula carregada negativamente, como ilustra a reação ao lado, com o símbolo p para prótons:



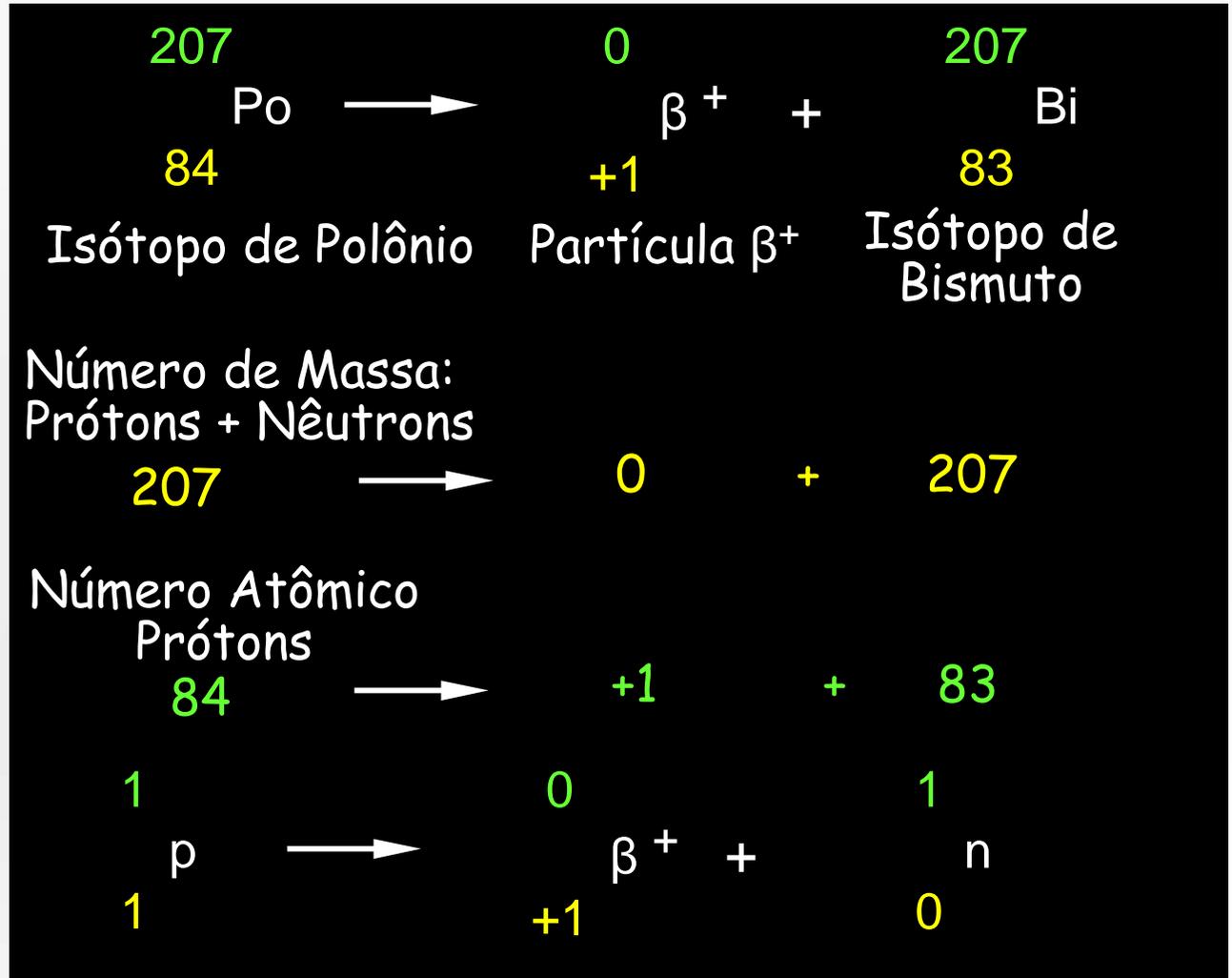
INTRODUÇÃO E CONCEITOS

- **Reações Nucleares envolvendo β^+**
- **Em adição à radiações α , β e γ podem ocorrer também outro tipo de transformação no núcleo que provoca a transformação de um próton em um nêutron acompanhada pela emissão da partícula carregada positivamente e com a massa idêntica, como ilustra a reação ao lado, com o símbolo p para prótons e β^+ para a partícula denominada de pósitron:**



INTRODUÇÃO E CONCEITOS

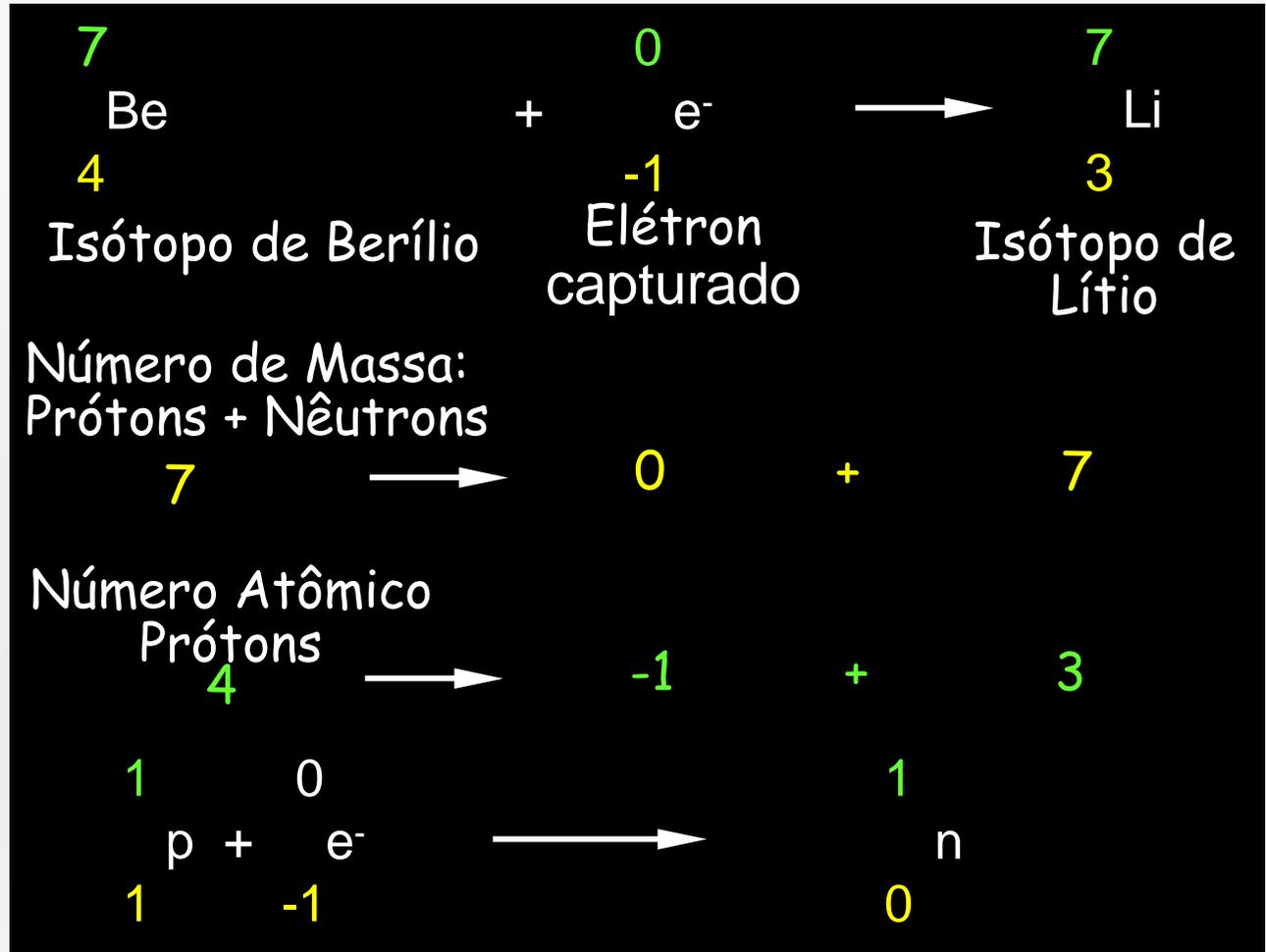
- Reações Nucleares envolvendo β^+
- Deve-se notar que em decaimento ao serem ejetadas do núcleo instável, as partículas β^+ são acompanhadas de um decréscimo de 1 no número atômico (Z) e o número de massa (A) também fica inalterado, pois é ejetado do núcleo um elétron positivo de alta energia com massa equivalente a 1/1836 do próton para cada partícula emitida.



INTRODUÇÃO E CONCEITOS

- **Reações Nucleares envolvendo Captura de Elétons**

- **Fenômeno muito parecido com a emissão de partículas β^+** são os processos radioativos de “Captura de Elétons”. Exemplo de reação de Captura de Elétron ou Elétron-Captura (EC), mais antigamente conhecida como “Captura K” é descrita na reação nuclear ao lado com isótopo instável de berílio:

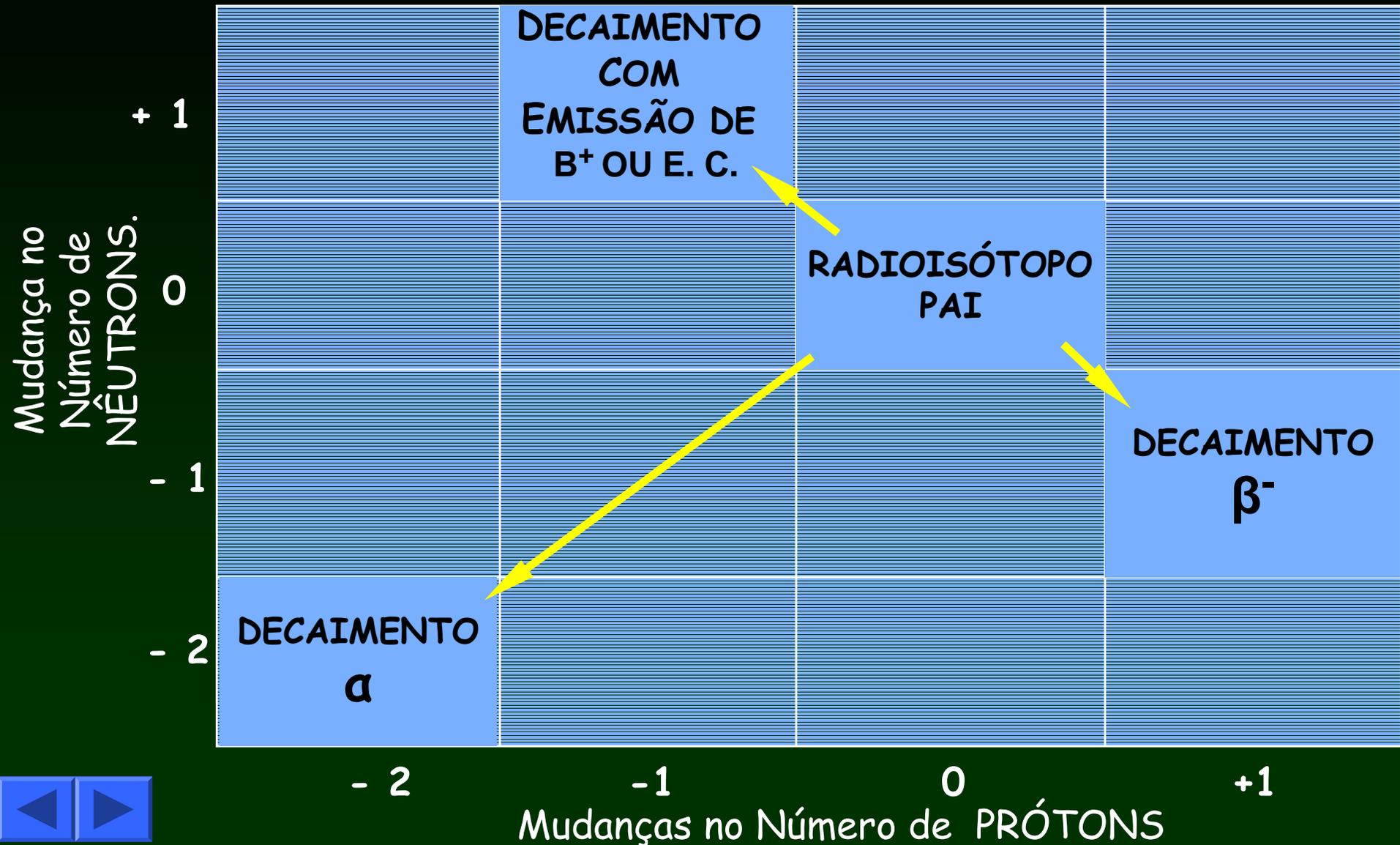


- Na captura de um e^- da eletrosfera deve-se notar que o decaimento é acompanhado de um decréscimo de 1 no número atômico e o número de massa fica inalterado, pois o elétron tem massa equivalente a 1/1836 do próton.



INTRODUÇÃO E CONCEITOS: Resumo dos Decaimentos

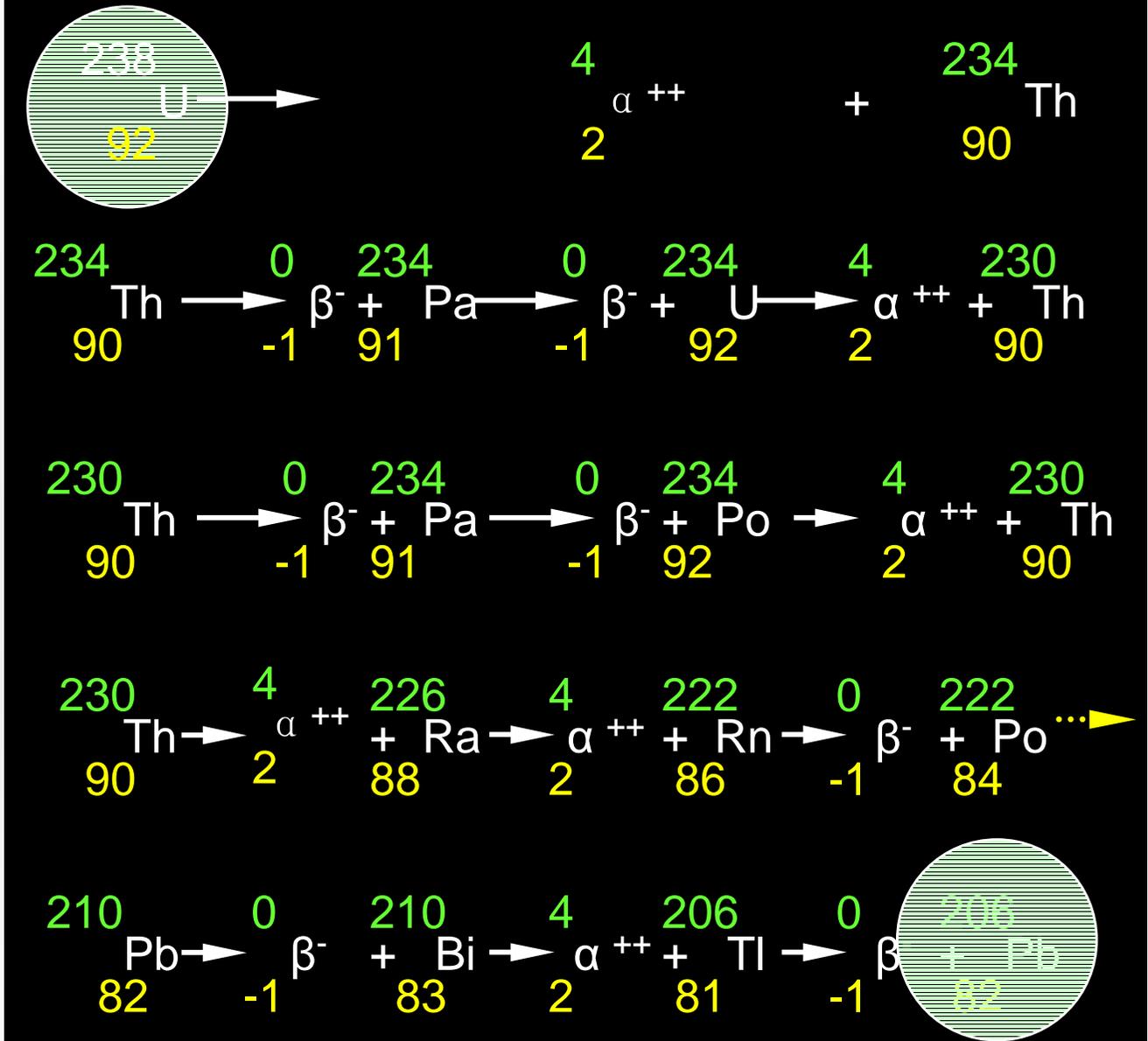
- Em resumo, os núcleos radioativos podem decair de quatro modos, como ilustra a Figura 2 apresentada a seguir:



• Séries Radioativas

- São designadas de **Séries Radioativas** um conjunto de emissões de partículas α e de partículas β^- que se iniciam com um determinado radioisótopo, passando por uma série de outros até chegar em uma forma estável de isótopo (que não decai)

É o caso da Série do que se inicia com o urânio-238 (radioisótopo fértil) dando tório-234 até chegar no chumbo-206 (estável). Ver ao lado e ver Figura 3 na próxima Tela.

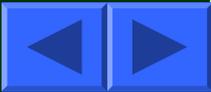
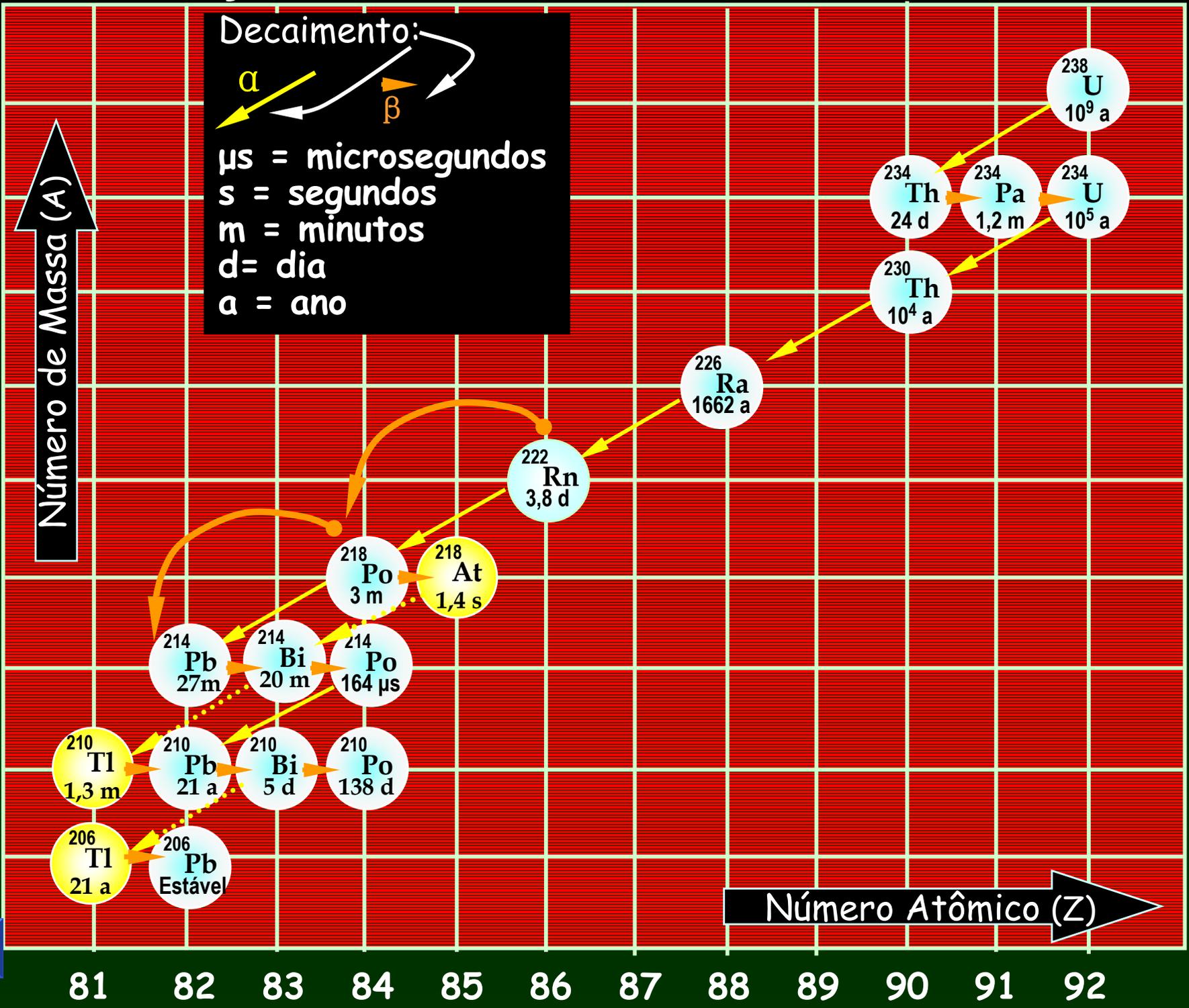


INTRODUÇÃO E CONCEITOS: Séries Radioativas

101

100

99



ESTABILIDADE E INSTABILIDADE
DOS NÚCLEOS ATÔMICOS

O TEMPO E OS PROCESSOS
RADIOATIVOS

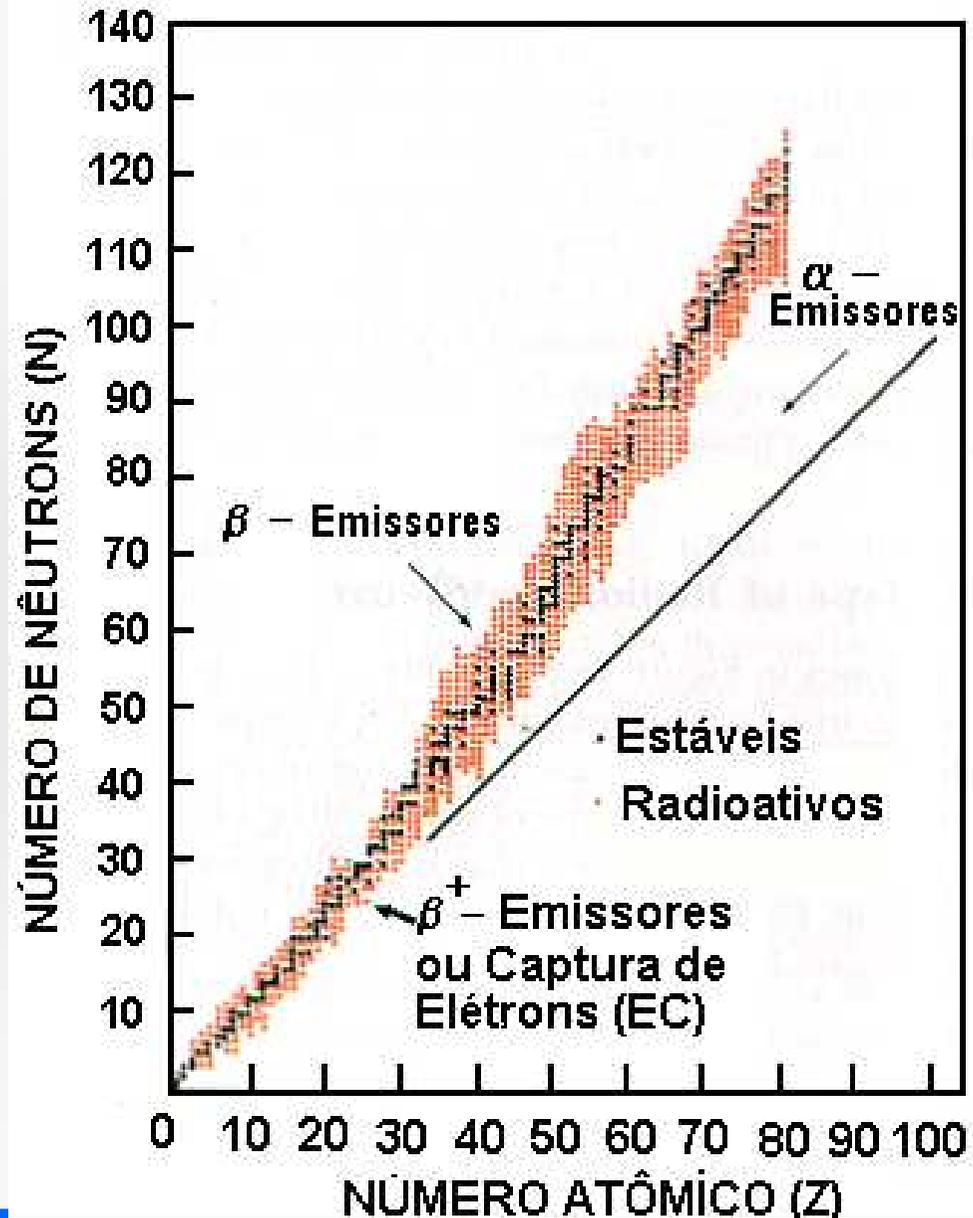


PARA PÁGINA DO
CONTEÚDO

FIM



- É um fato comprovado cientificamente que certos nuclídeos (radioisótopos) são instáveis e outros isótopos são estáveis (não são radioativos). Isso conduz à existência de uma “Condição de Estabilidade”.
- /// A Figura 5 a seguir mostra a ocorrência natural de isótopos, desde o hidrogênio até o bismuto. Há poucos isótopos naturais estáveis.



52

25

24

23



- O isótopo mais abundante de hidrogênio: ${}^1_1\text{H}$ tem apenas uma partícula nuclear (nucleon), ou seja, apenas um único próton. É a estrutura mais simples entre todos os elementos. O hidrogênio tem dois outros isótopos conhecidos ${}^2_1\text{H}$ e ${}^3_1\text{H}$, designados deutério (D) e trítio (T).
- /// O deutério não é radioativo mas o trítio é instável, nuclearmente, decaindo por meio de um processo de emissão de partículas β^- .



Isótopo no
instável TRÍTIO

Átomo de hélio
ESTÁVEL



BANDA DE ESTABILIDADE E TIPOS DE DECAIMENTOS

- O elemento seguinte ao hidrogênio é o hélio, com dois prótons e dois nêutrons, e, por isso mesmo, é estável. O laurêncio, um elemento que é o fim da série dos actinídeos, mostra um isótopo:



- /// Desde o hélio até o laurêncio, nota-se que os ${}_{1}^{1}\text{H}$ e o ${}_{2}^{3}\text{He}$ são exceções à uma regra), os isótopos têm número de nêutrons pelo menos igual ao número de prótons. Isto significa que $A \geq 2Z$.
- /// Como os nêutrons são partículas descarregadas, sua provável ação é de moderar a tremenda carga repulsiva entre as partículas carregadas positivamente (prótons) no núcleo atômico dos isótopos.

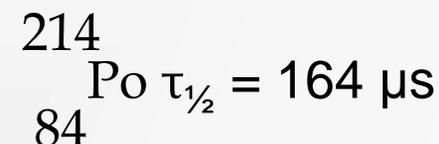
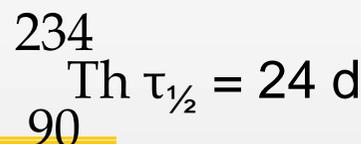
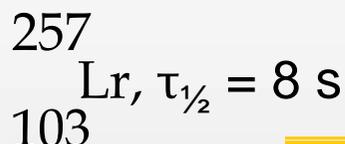
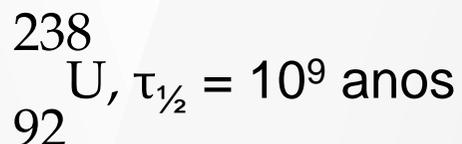


- Observando-se a Figura anterior (Figura 3), nota-se que os isótopos estáveis de elementos leves (até o cálcio com $Z = 20$) têm $N = Z$ (número de nêutrons igual ao número atômico ou número de prótons) e em alguns casos o número de nêutrons até é maior do que o de prótons, como é o caso de: ${}^7_3\text{Li}$, ${}^{12}_6\text{C}$, ${}^{18}_8\text{O}$ e ${}^{32}_{16}\text{S}$
- /// Além do cálcio, o número de nêutrons começa a aumentar ficando sempre maior do que o de prótons. A relação N / Z progressivamente vai aumentando, ficando mais do que evidente a necessidade de mais nêutrons do que prótons para estabilizar os núcleos de elementos mais pesados, como é o caso do ferro que tem 30 nêutrons para 26 prótons.
- /// Além do bismuto, que tem 83 prótons e 126 nêutrons, todos os isótopos são instáveis o que indica que a matéria que é uma “supercola” de prótons e nêutrons deixa de funcionar adequadamente e os isótopos mostram-se nuclearmente instáveis, com excepcionais diferenças na taxa de desintegração nuclear.



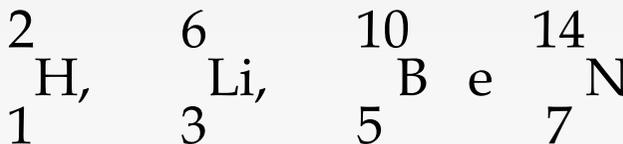
BANDA DE ESTABILIDADE E TIPOS DE DECAIMENTOS

- Observando-se a Figura anterior (Figura 3), nota-se que os isótopos de maior massa podem ter diferentes taxas de decaimento radioativos, como é o caso de:



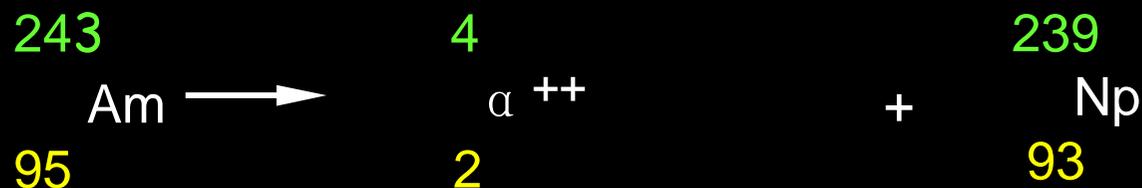
- Uma observação cuidadosa à Figura 3 mostra outros aspectos muito interessante, como é o caso dos elementos de número atômico par têm isótopos mais estáveis do que radioisótopos ímpares. Em segundo lugar, é interessante observar que os isótopos mais estáveis têm número de nêutrons pares, e, em terceiro lugar, os elementos com número atômico ímpar têm isótopos mais estáveis com número de nêutrons pares.

- Um reforço dessas observações, está no fato de que na Figura 3, há mais de 300 isótopos estáveis sendo que 200 deles têm o número de nêutrons pares e número de prótons pares. Apenas 120 deles têm ou o número de nêutrons ou o número de prótons pares. Apenas os isótopos:



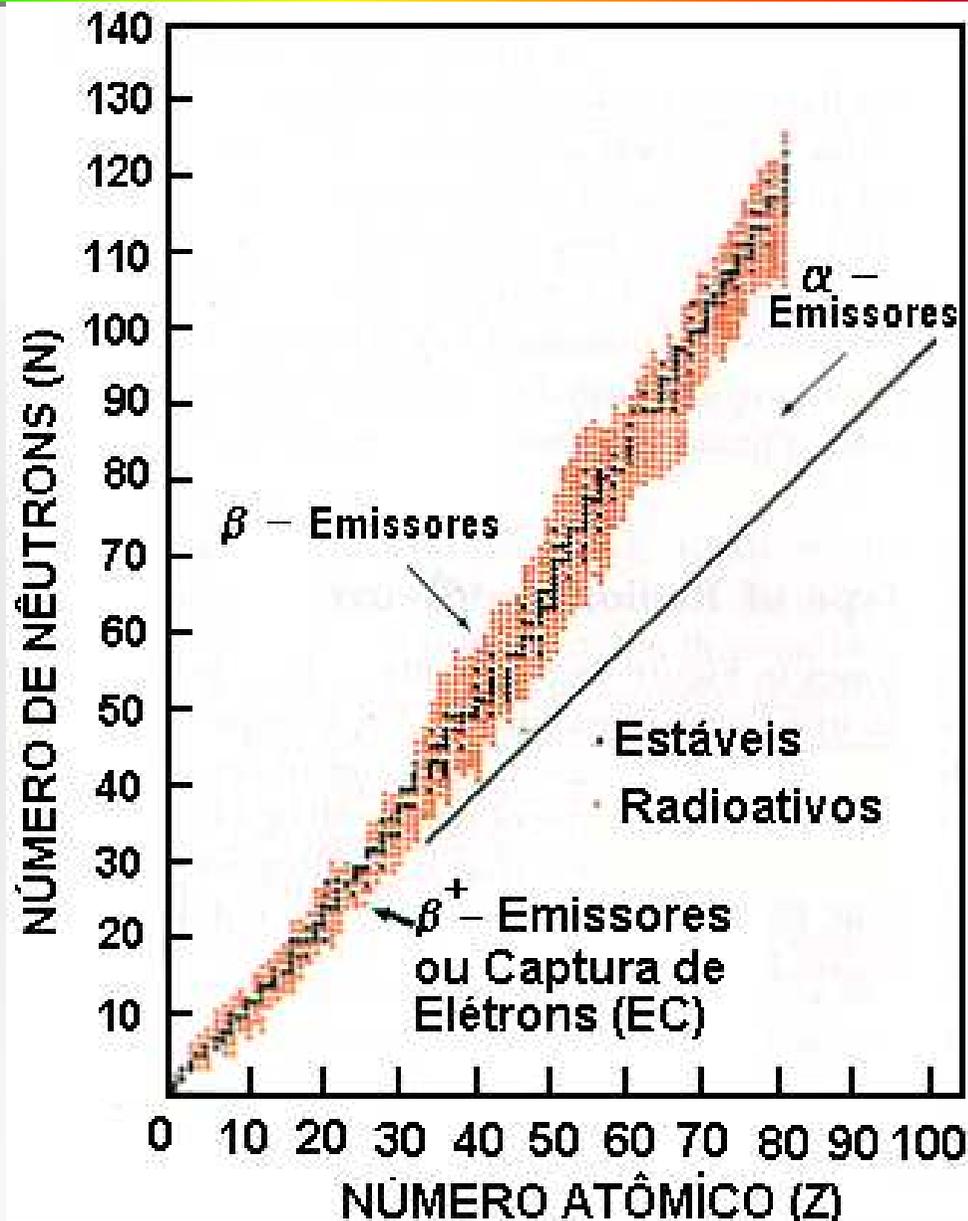
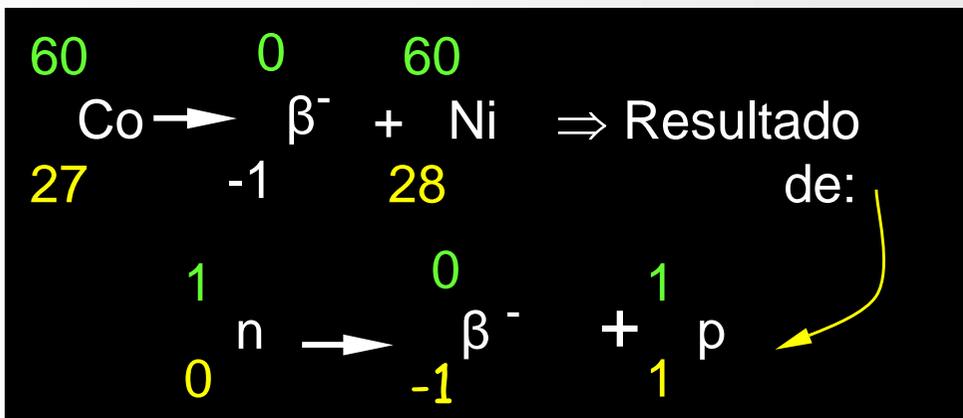
BANDA DE ESTABILIDADE E TIPOS DE DECAIMENTOS

- Observando-se a Figura anterior (Figura 3), nota-se que os isótopos de maior estabilidade (pontos pretos) constituem uma linha fina ou banda de estabilidade designada de “Península de Estabilidade” em um “Mar de Instabilidade” nuclear (pontos vermelhos). A carta de Radioisótopos serve para prever o comportamento dos núclídeos instáveis (em vermelho) fora da linha de estabilidade, que tendem a emitir partículas α e β tendendo a cair em uma zona de estabilidade por meio de transformações radioativas.
- /// Todos os elementos além do bismuto ($Z = 83$) são radioativos, isto é, decaem ou sofrem desintegrações nucleares ejetando partículas atômicas para fora do núcleo para buscar uma “estabilidade nuclear relativa”. Por exemplo, o radioisótopo amerício-243, empregado em alarmes de incêndio (detectores de fumaça) que decai como:



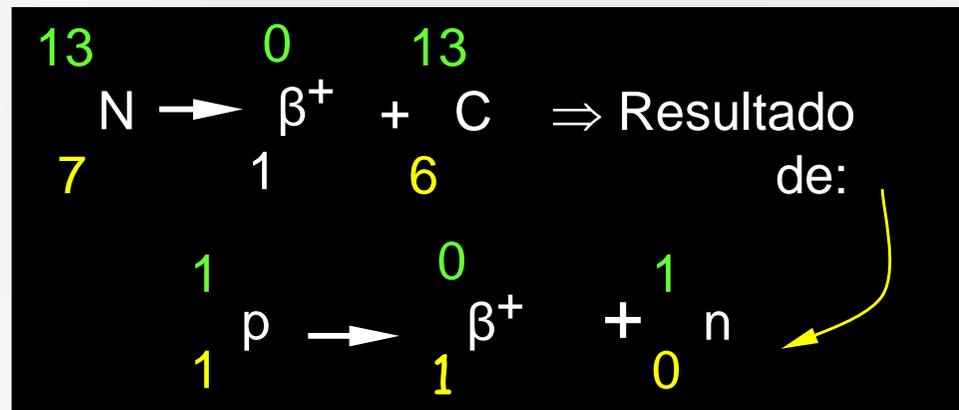
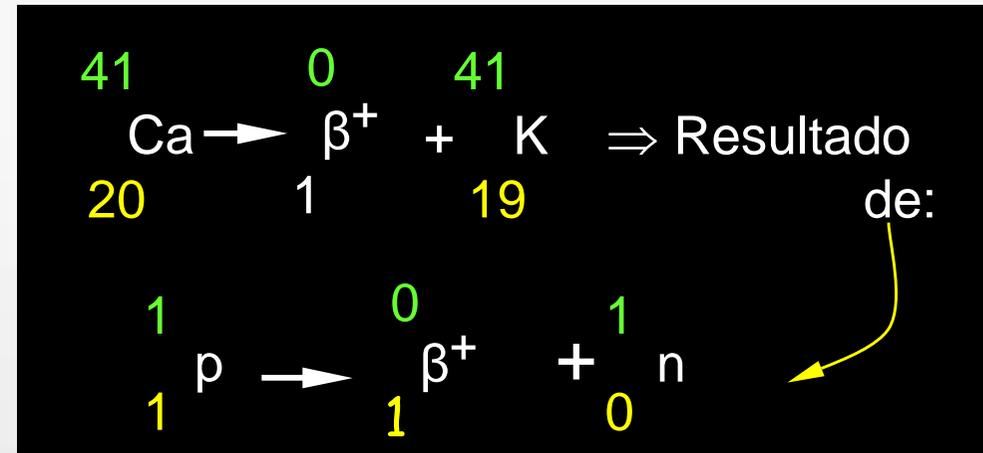
BANDA DE ESTABILIDADE E TIPOS DE DECAIMENTOS

- Também, podem ocorrer emissões β^- de núcleos com nêutrons em excesso, ou seja com isótopos situados acima da linha de estabilidade (ver Figura 3 ao lado, reapresentada).
- Quando isso ocorre, um nêutron se converte em próton e o elétron de alta energia (β^-) sai do núcleo, como ilustra a reação a seguir:



BANDA DE ESTABILIDADE E TIPOS DE DECAIMENTOS

- Por outro lado, radioisótopos mais leves que tenham número de nêutrons insuficientes (abaixo da península de estabilidade) apresentam emissões β^+ de núcleos com falta de nêutrons.
- Quando isso ocorre, um próton se converte em nêutron e o pósitron (β^+) sai do núcleo, como ilustra as reações a seguir:



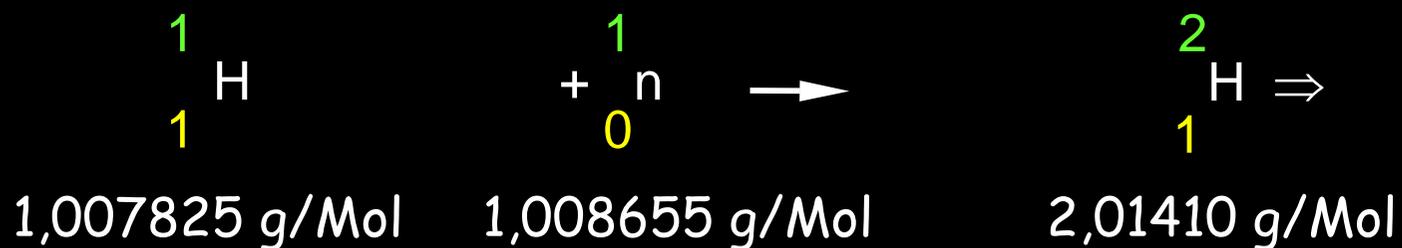
A ENERGIA DE EMPACOTAMENTO DOS NÚCLEOS ATÔMICOS

- No final do século XIX, experimentalmente, E. RUTHERFORD provou que os núcleos atômicos são extremamente pequenos. Mesmo assim, os núcleos precisam ter mais que 83 prótons para serem instáveis.
- /// Portanto, há uma forma de energia **bastante forte** que atua apenas a pequenas distâncias que mantém os prótons unidos no núcleo de pequeno volume.
- /// Esta energia é a Energia de Empacotamento Nuclear (E_b) que se define como sendo o negativo do ΔE que faz com que o núcleo seja formado pelos prótons e pelos nêutrons, diretamente. A magnitude dessa energia é centenas de milhões de vezes maior do que a energia de uma ligação química forte (iônica). Por exemplo, quando se forma um núcleo de deutério: ${}^2_1\text{H}$, se fosse possível juntar um mol de prótons e um mol de nêutrons a reação resultante teria uma energia maior que 200 milhões de kJ.



A ENERGIA DE EMPACOTAMENTO DOS NÚCLEOS ATÔMICOS

- Esta é uma reação de síntese nuclear, altamente exotérmica (e, assim, E_b é uma energia bastante positiva).
- /// Portanto, um forte indício de que este tipo de energia **bastante forte** que atua a pequenas distâncias faz com que os prótons fiquem unidos no núcleo de pequeno volume do deutério, que é mais estável do que um próton e um nêutron isoladamente considerados..
- /// Pode-se supor uma analogia entre este fenômeno e o fato de que a molécula de hidrogênio (H_2) é muito mais estável do que dois átomos de hidrogênio isolados. Só que esta energia é apenas de 436 kJ/Mol, o que é apenas uma fração desprezível da energia envolvida na síntese nuclear. Mas, vale o modelo e satisfaz a comparação para explicar a natureza do fenômeno nuclear.
- /// Para se compreender essa imensa quantidade de energia, pode-se recorrer a um experimento e uma teoria consistente. A observação experimental é que a massa de um núcleo atômico é sempre menor do que a soma das massas dos constituintes dos prótons e dos nêutrons.



A ENERGIA DE EMPACOTAMENTO DOS NÚCLEOS ATÔMICOS

- A diferença de massa:

$$\Delta m = (\text{massa dos produtos}) - (\text{soma das massa dos reagentes}) = \\ 2,01410 \text{ g/Mol} - 2,0160490 \text{ g/Mol} = \\ - 0,00230 \text{ g/Mol}$$

/// A teoria estabelece o seguinte: há uma “perda de massa” Δm , que é transformada em Energia e esta energia é que é usada como energia de “**empacotamento nuclear**”, responsável pela união dos prótons com os nêutrons no interior dos núcleos dos isótopos.

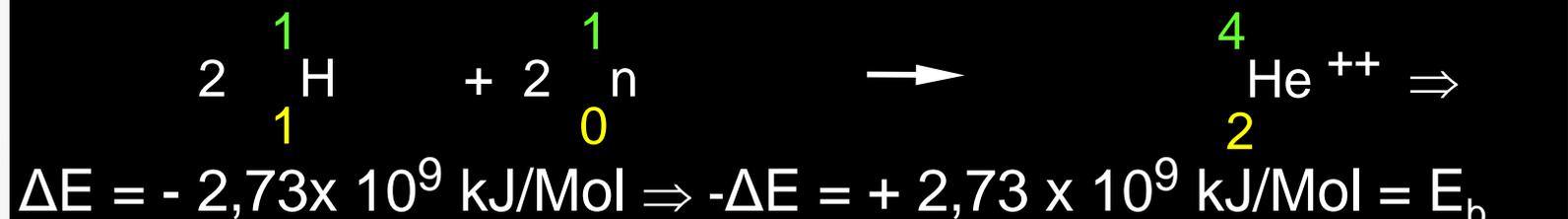
/// Em 1905, Albert Einstein estabeleceu a “Teoria da Relatividade Especial”. Esta teoria estabelece que massa e energia são diferentes manifestações de uma mesma quantidade. Einstein estabeleceu que a quantidade de energia de um corpo é igual à massa do corpo multiplicado pelo quadrado da velocidade da luz, ou seja:

$$E = m \times C^2 \Rightarrow \Delta E = \Delta m C^2 \Rightarrow \Delta E = (2,39 \times 10^{-6} \text{ kg}) \times (3,0 \times 10^8 \text{ m/s}) = \\ \Rightarrow \Delta E = - 2,15 \times 10^{11} \text{ J} \Rightarrow \Delta E = - 2,15 \times 10^8 \text{ kJ}$$



A ENERGIA DE EMPACOTAMENTO DOS NÚCLEOS ATÔMICOS

- A diferença de massa: $\Delta m \Rightarrow \Delta E = - 2,15 \times 10^{11} \text{ J} \Rightarrow \Delta E = - 2,15 \times 10^8 \text{ kJ}$ que é a energia liberada ao se fundir um mol de nêutrons com um mol de prótons.
- = E_b para se formar um mol de deutério, que é uma energia muito grande, resultado a ação de enormes forças nucleares de estabilização dos nucleons.
- /// Uma partícula α é um núcleo de hélio e é composta por dois prótons e dois nêutrons. Como se pode esperar a energia resultante do “**empacotamento nuclear**” por mol de partículas α é muito grande e mesmo muito maior do que a energia para formar um mol de deutério.



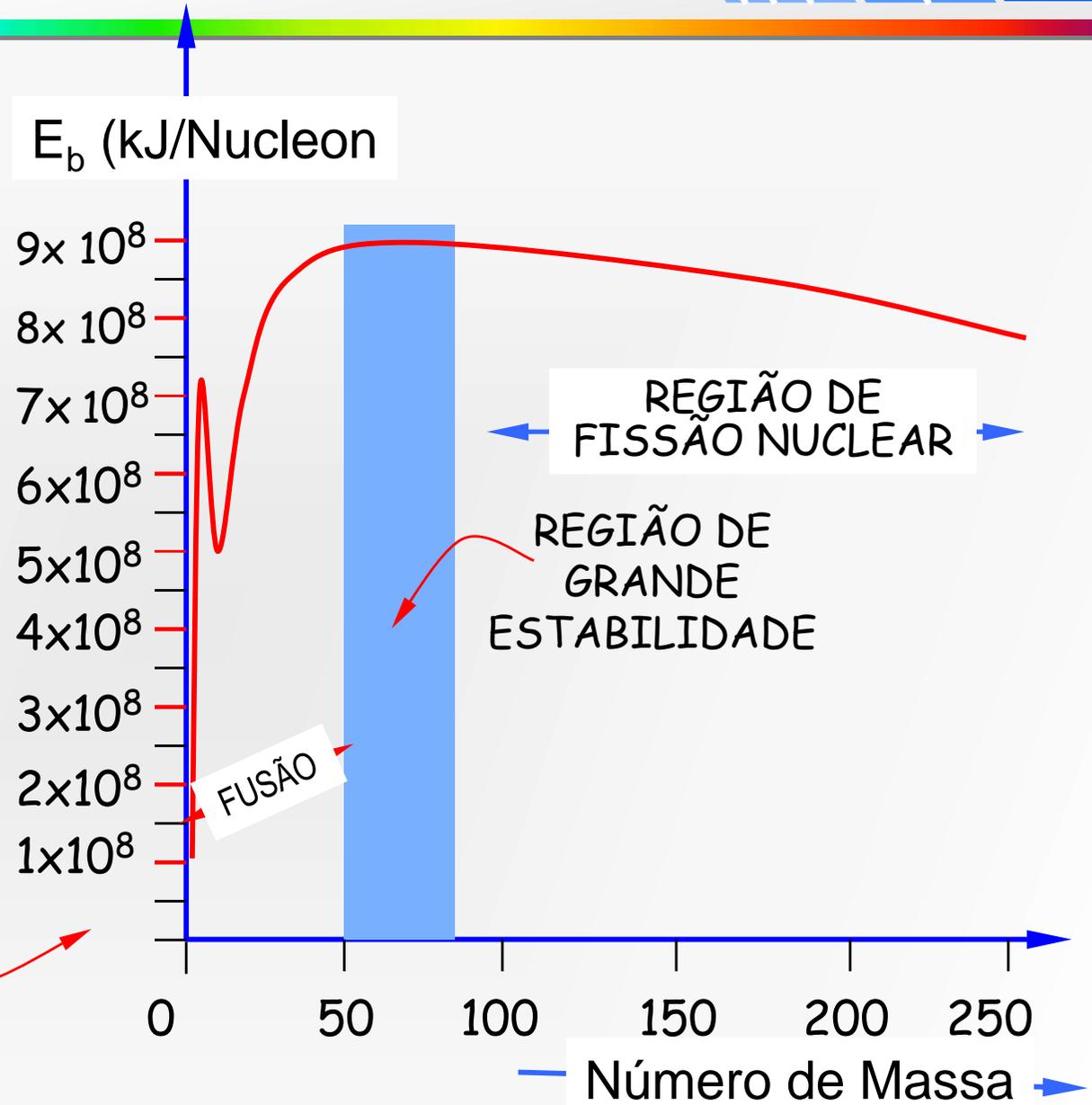
- Geralmente, comparam-se energias de estabilidade, mais discretamente, calculando E_b por nucleon:

$$E_b = \frac{+ 2,73 \times 10^9 \text{ kJ/Mol}}{4 \text{ moles de nucleons}} + 6,33 \times 10^8 \text{ kJ/Mol de nucleon}$$



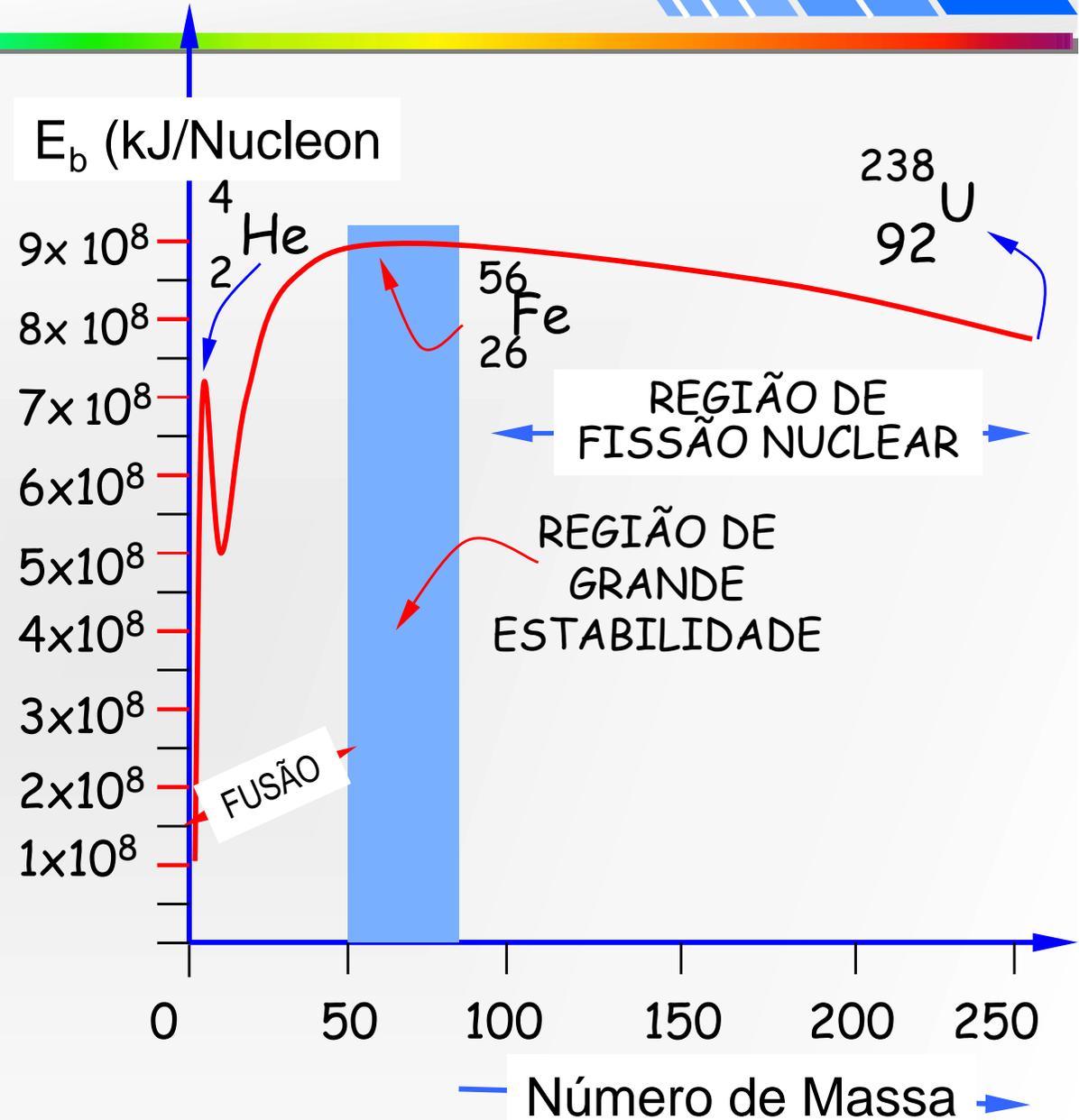
A ENERGIA DE EMPACOTAMENTO DOS NÚCLEOS ATÔMICOS

- Quanto maior for a energia de “empacotamento por nucleon” \Rightarrow em kJ/mol maior será a estabilidade do núcleo do isótopo considerado.
- /// Os cálculos feitos de E_b para se formar um grande número de núcleos, são mostrados na Figura 4 apresentada a seguir:



A ENERGIA DE EMPACOTAMENTO DOS NÚCLEOS ATÔMICOS

- Detalhe muito importante dessa Figura 4 “o **máximo de estabilidade** ocorre nas **vizinhanças do isótopo do ferro**: ${}_{26}^{56}\text{Fe}$
- Isso significa o seguinte: Todos os elementos são instáveis comparativamente ao ferro.
- A região de estabilidade faz com que os elementos pesados tendam a se “**dividir**”, ou seja, são “**físseis**”. Os mais leves tendem a se “**fundir**” para formar **núcleos mais pesados**. Ambos os processos liberam grandes quantidades de energia.



VELOCIDADE DE DESINTEGRAÇÃO RADIOATIVA: **Velocidade** **de decaimento radioativo**

- A estabilidade relativa dos diferentes radioisótopos (em função do E_b , um parâmetro essencialmente termodinâmico é medida por meio de um parâmetro essencialmente cinético: o tempo de meia vida ou , simplesmente, “meia-vida” ($\tau_{1/2}$). Nitidamente, os radioisótopos têm diferentes características quanto ao tempo de decaimento radioativo (taxa de desintegração radioativa:

- O isótopo: ${}^{60}_{27}\text{Co}$

tem aplicações em Medicina Nuclear sendo um β emissor e γ emissor empregado em tratamento de câncer no corpo humano. Embora seja razoavelmente “**estável**” ($\tau_{1/2} = 5$ anos, aproximadamente).

- O radioisótopo: ${}^{64}_{29}\text{Cu}$

também tem aplicações em Medicina Nuclear, sendo usado para detectar tumores malignos no cérebro humano. Esse radioisótopo decai muito mais rapidamente, ou seja, é muito mais “**instável**” ($\tau_{1/2} = 13$ h, aproximadamente).



VELOCIDADE DE DESINTEGRAÇÃO RADIOATIVA:

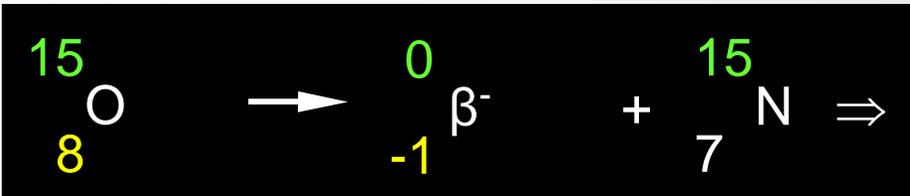
Velocidade de decaimento radioativo

- Define-se como tempo de meia vida ou, simplesmente, “meia-vida” ($\tau_{1/2}$). O tempo requerido para que uma amostra de material radioativo leva para decair espontaneamente e irreversivelmente, o que depende na natureza intrínseca do radioisótopo considerado.
- A Tabela a seguir ilustra os “tempos de meia” vida de alguns radioisótopos:

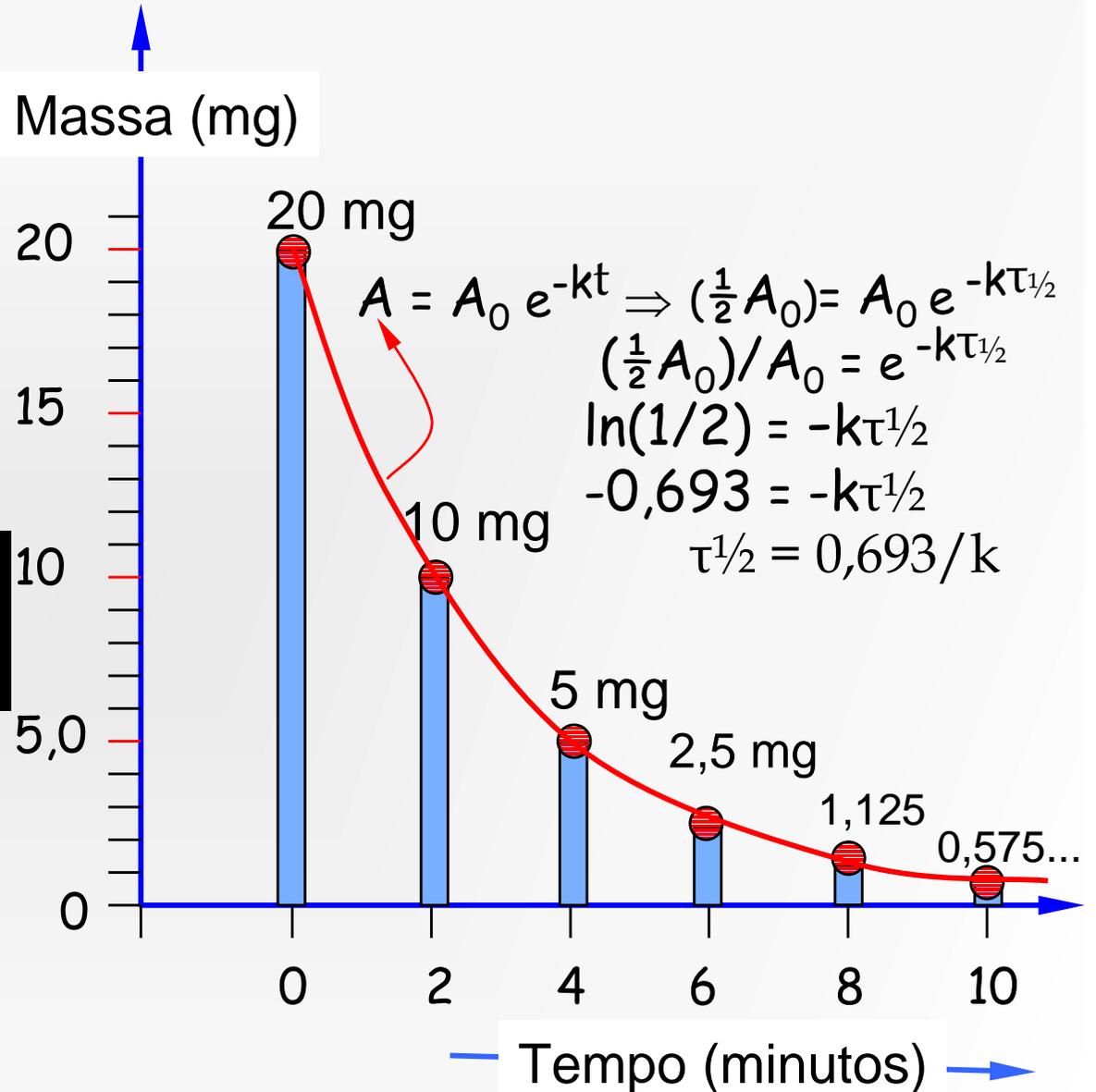
RADIOISÓTOPOS	PROCESSO DE DECAIMENTO	MEIA-VIDA
${}_{92}^{238}\text{U}$	${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\alpha^{++}$	$4,51 \times 10^9$ anos
${}_{6}^{14}\text{C}$	${}_{6}^{14}\text{C} \rightarrow {}_{-1}^0\beta^{-} + {}_2^3\text{He}$	5.730 anos
${}_{1}^3\text{H}$	${}_{1}^3\text{H} \rightarrow {}_{-1}^0\beta^{-} + {}_2^4\text{He}$	12,26 anos
${}_{53}^{131}\text{I}$	${}_{53}^{131}\text{I} \rightarrow {}_{-1}^0\beta^{-} + {}_{54}^{131}\text{Xe}$	8,05 dias

VELOCIDADE DE DESINTEGRAÇÃO RADIOATIVA: Tempo de Meia-Vida de Radioisótopos

- A Figura 5 a seguir mostra o decaimento de um radioisótopo, o oxigênio 15, mostrando também a Equação da Desintegração Radioativa, um fenômeno tipicamente exponencial e de natureza aleatória. Esta Figura se refere à reação:



- A Meia-Vida ($\tau_{1/2}$) desse radioisótopo do oxigênio é de 2,0 minutos. Isto significa que a cada dois minutos decai a metade da quantidade de radioisótopo.



VELOCIDADE DE DESINTEGRAÇÃO RADIOATIVA: **Tempo de Meia-Vida de Radioisótopos**

- Após a primeira meia-vida ($\tau_{1/2} = 2,0$ minutos, no caso do radioisótopo oxigênio 15), a quantidade de material radioativo remanescente (que sobra) em relação à quantidade inicial é a metade. Progressivamente, após um outro período de meia vida, sobra apenas $\frac{1}{4}$ da atividade inicial, no terceiro ciclo de meia vida vão restar apenas $\frac{1}{8}$ e assim sucessivamente.
- A Tabela a seguir ilustra os “tempos de meia vida” do oxigênio-15 e esse comportamento em termos de quantidade remanescente:

Nº de $\tau_{1/2}$	FRAÇÃO DA QUANTIDADE INICIAL	QUANTIDADE REMANESCENTE (mg)
0	1	20,0
1	$\frac{1}{2}$	10,0
2	$\frac{1}{4}$	5,00
3	$\frac{1}{8}$	2,50
4	$\frac{1}{16}$	1,25
5	$\frac{1}{32}$	0,625

TAXA DE DESINTEGRAÇÃO NUCLEAR NO DECAIMENTO DE RADIOISÓPOTOS

- Portanto, a velocidade com que um radioisótopo se desintegra é definida pela meia-vida e esta velocidade deve ser avaliada experimentalmente, contando-se a radiação (em números de partículas por segundo, ou cps: contagens por segundo) de partículas que incidem sobre um detector de radiação. A taxa de decaimento é então designada de “atividade de uma amostra” (A) Geralmente se coloca em ordenada o tempo (em segundos, em horas, em dias ou em anos) e em abscissa o número de contagens ou Atividade (em cps:número de desintegrações por unidade tempo).
- /// A Atividade é diretamente proporcional ao número de átomos radioativos presentes na amostra (N). Esta relação de proporcionalidade é dada por:

$$\text{Atividade} = k \times N = \frac{\text{DESINTEGRAÇÕES}}{\text{TEMPO}} = \frac{\text{DESINTEGRAÇÕES}}{\text{NÚMERO DE ÁTOMOS} \times \text{TEMPO}} \times \text{NÚMERO DE ÁTOMOS}$$

- ◀ Nessa Equação k = constante de proporcionalidade que estabelece válida a relação entre a Atividade e o N (número de átomos) sendo k uma constante de velocidade (parâmetro cinético) que é a TAXA DE DECAIMENTO RADIOATIVO ou TAXA DE DESINTEGRAÇÃO NUCLEAR.



TAXA DE DESINTEGRAÇÃO NUCLEAR NO DECAIMENTO DE RADIOISÓPOTOS

- A atividade de uma amostra radioativa pode ser medida com instrumentos apropriados. Para medidas mais complexas (quantitativas) a contagem pode ser feita com analisadores multi-canaís e detectores de estado sólido. Esses recursos são importantes pois permitem até o traçado e interpretação de “espectros de Radiação- γ ”.
- ◀ De certo modo, seja por meio de instrumentação simples ou mais complexa, a medida da radiação incidente em um detector permite avaliar de tempos em tempos a atividade A , em cps), podendo-se estabelecer a atividade no tempo zero (A_0) que corresponde à atividade no início da contagem de radiação. A relação quantitativa entre a Atividade Medida e o Número de Átomos se desintegrando na amostra é dada por:

$$\frac{A}{A_0} = \frac{k N}{k N_0} \Rightarrow \frac{A}{A_0} = \frac{N}{N_0} = \text{Fração de átomos radioativos ainda presentes em uma amostra após a passagem de um tempo } (\Delta t) \text{ desde o início da contagem}$$



TAXA DE DESINTEGRAÇÃO NUCLEAR NO DECAIMENTO DE RADIOISÓPOTOS

- Uma Equação extremamente importante que descreve o processo radioativo durante o tempo em que se faz a contagem de uma amostra é definida por:

$$\frac{A}{A_0} = e^{-kt} \Rightarrow \frac{N}{N_0} e^{-kt} \Rightarrow \ln \frac{1/2 A_0}{A_0} = -k\tau_{1/2} \Rightarrow$$
$$-k\tau_{1/2} \ln 1/2 \Rightarrow -k\tau_{1/2} = 0,693 \Rightarrow \tau_{1/2} = \frac{0,693}{k} \Rightarrow$$

- ◀ A Equação acima descreve bem o processo radioativo, especialmente quanto ao tempo de meia-vida de isótopos radioativos, estabelecendo a “constante de desintegração” empregada para a determinação da meia-vida.
- ◀ Essa constante (k) é conhecida em termos fracionário. Ela estabelece a fração de radiação (atividade, proporcional ao número de átomos radioativos remanescentes) presente após um certo tempo de contagem. Com o valor da constante de desintegração é possível calcular um determinado tempo necessário para resultar em uma fração da quantidade inicial (N_0) de átomos.



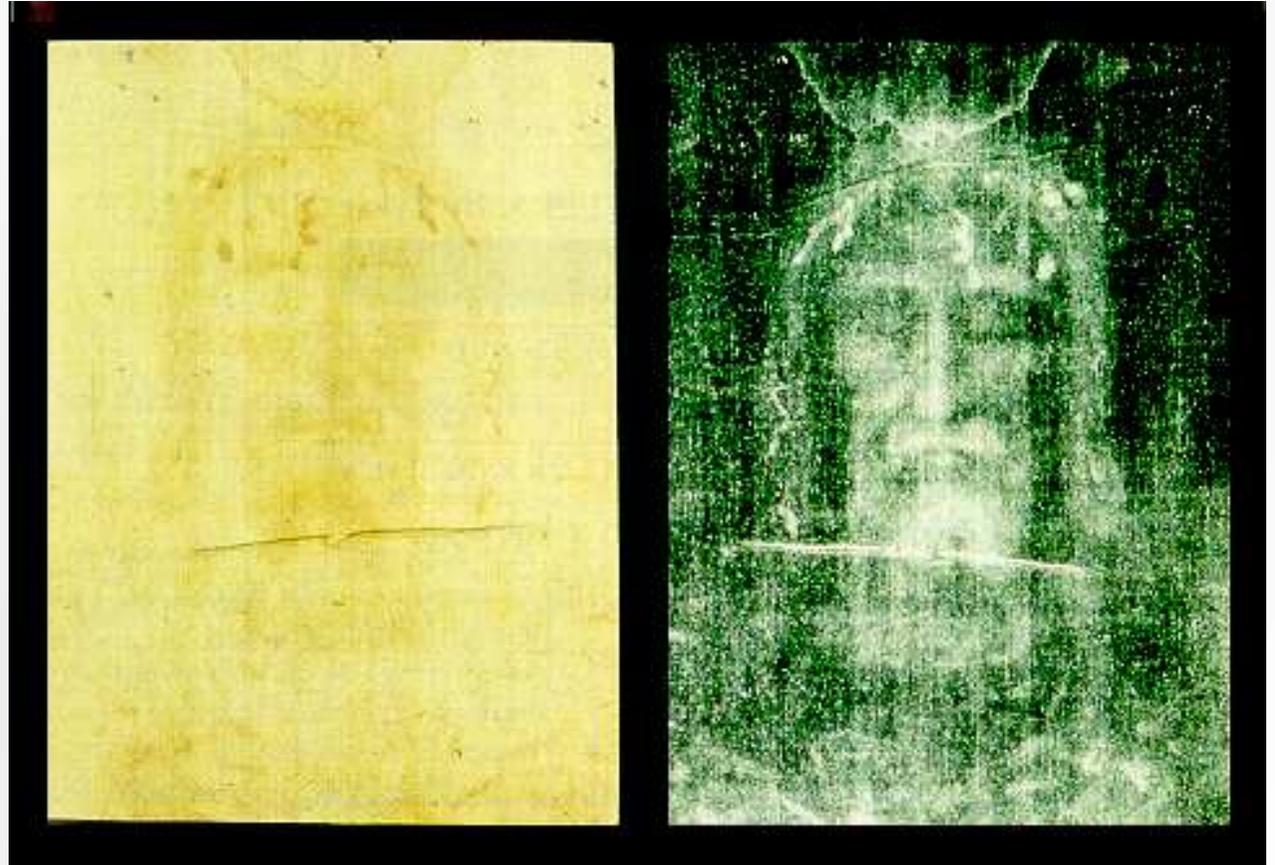
TAXA DE DESINTEGRAÇÃO NUCLEAR NO DECAIMENTO DE RADIOISÓPOTOS

- A Equação estabelece claramente a relação entre a constante de proporcionalidade (constante de desintegração radioativa) e a meia-vida, pelo termo $k\tau_{1/2}$.
- Deixa-se claro nessa expressão a natureza exponencial do fenômeno radioativo, regida por leis da cinética de primeira ordem, em que o k é uma constante de velocidade típica.
- Ao estabelecer a relação fracionária N/N_0 , a expressão tem grande aplicação em laboratórios. Por exemplo, pode-se identificar um determinado radioisótopo (por exemplo, uma contaminação de estrôncio-90, produto de fissão, em amostras de leite de vaca) pela medida da meia-vida. Também, essa expressão serve de base para análise quantitativa por meio da medida da atividade radioativa de uma amostra, permitindo o estabelecimento de técnicas radioquímicas de grande alcance em termos de sensibilidade analítica.



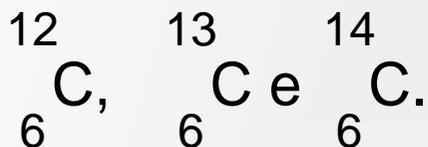
USO DE RADIOISÓTOPOS NA DATAÇÃO NUCLEAR

- Os fenômenos nucleares ligados ao tempo evidenciam a possibilidade de aplicar o decaimento e suas leis visando o conhecimento das datas em que foram feitos objetos antigos. A idade de rochas, fósseis e artefatos pode se tornar conhecida por regressão da atividade inicial (A_0). É o caso da mortalha de Cristo (Mortalha de Turim-Itália) que se descobriu ter sido criada por volta de 1.300 D. C. Ver Figura 6 ao lado).

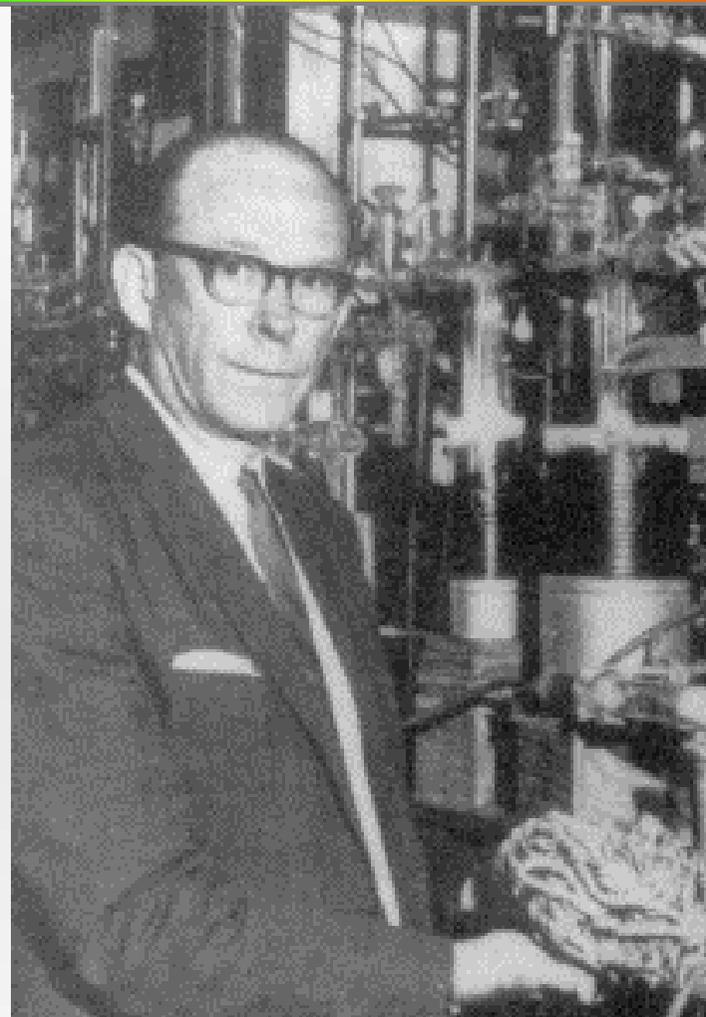
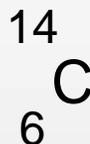


USO DE RADIOISÓTOPOS NA DATAÇÃO NUCLEAR

- Em 1946, WILLARD LIBBY desenvolveu a técnica de Datação Radioativa, empregando o radioisótopo carbono-14: pois, o carbono é elemento importante na construção de objetos e de qualquer sistema vivo. Seres vivos contém três isótopos de carbono. Ver Figura 7 ao lado):



Ver Foto ao lado.



- Foto de WILLARD LIBBY com seu aparelho de datação com o radioisótopo carbono-14



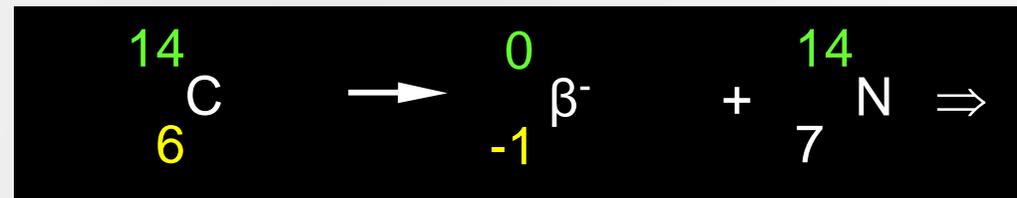
- Os isótopos de carbono com número de massa 12 e 13 são estáveis. Existem desde que o universo foi criado. **A criação dos átomos de carbono instáveis é feita por radiação cósmica.** SERGE KORFF (em 1929) descobriu que o carbono-14 é formado a partir do bombardeamento de nitrogênio-14 nas altas camadas da atmosfera por partículas **raios cósmicos de alta energia** forçando os gases ali presentes a ejetar nêutrons de alta energia. Por sua vez, os nêutrons colidem com o nitrogênio-14 e dão a seguinte reação nuclear:



- Por meio desse processo radioativo, **a atmosfera da terra como um todo produz cerca de 7,5 kg de carbono radioativo que é incorporado ao ciclo do carbono como CO₂.** O total de material (gás carbônico marcado com isótopo radioativo) passa para os mares e oceanos, atmosfera e biosfera e decai a uma velocidade constante ($\tau_{1/2} = 5,73 \times 10^3$ anos).



- Assim, o decaimento de matéria viva da terra mantém o suprimento de carbono-14 constante. **As plantas absorvem CO_2 da atmosfera (Fotossíntese), convertendo em alimento.** Resulta daí a **incorporação** de carbono-14 nos tecidos vivos e a atividade de carbono-14 em plantas e restos de vegetais é constante com taxa de decaimento β^- constante com a produção de 14 desintegrações / minuto x grama de carbono.. **Se uma planta morre ou é ingerida por um animal (alimentação), a atividade do isótopo radioativo é mantida mas sem a reposição natural.** Conseqüentemente, a atividade decresce com o passar do tempo pelo decaimento β^- :



- Quanto menor a atividade de carbono-14 **mais longo é o tempo decorrido entre a morte da planta e o tempo atual (presente).** Considerando que a atividade do carbono-14 decai em milhares de anos ($\tau_{1/2} = 5,73 \times 10^3$ anos), a medida precisa da atividade β^- de uma amostra de um artefato pode ser usada para sua datação..





...E DEPOIS AS BOMBAS CAÍRAM

A TRANSMUTAÇÃO DE
ELEMENTOS

A GERAÇÃO DE ENERGIA
NUCLEAR

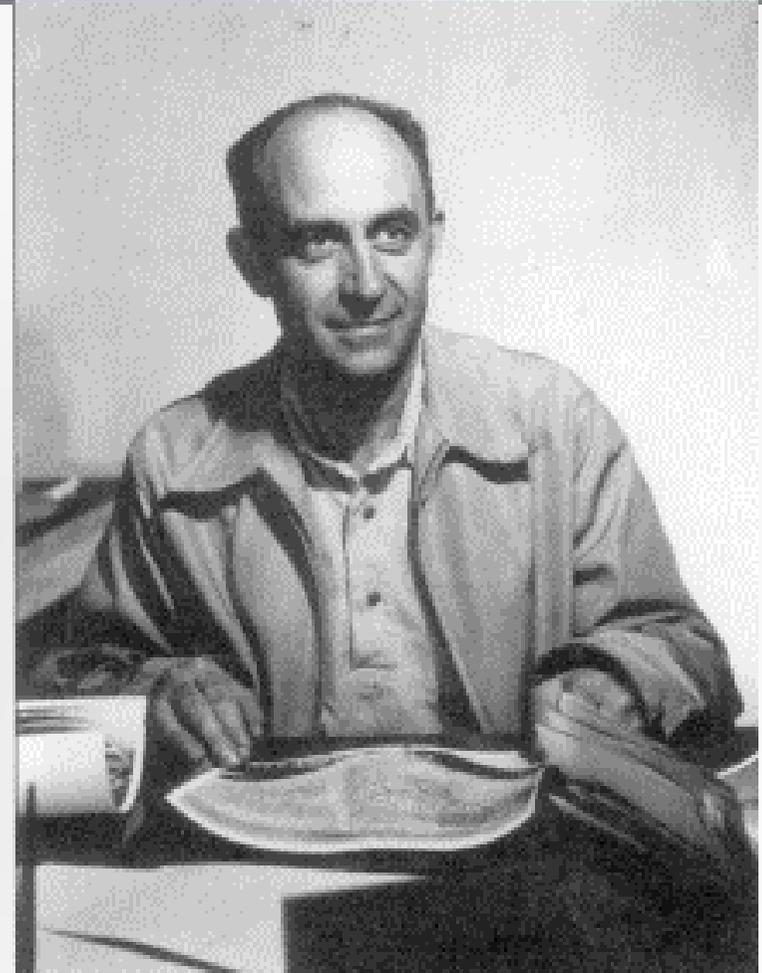


PARA PÁGINA DO
CONTEÚDO

FIM

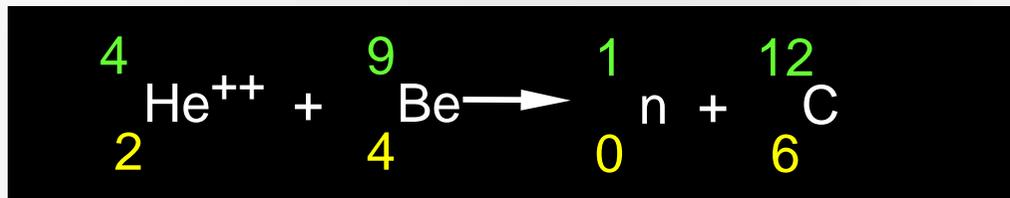
- Reações de Transmutação Nucleares Artificiais

- Em 1928, RUTHERFORD observou a possibilidade de partículas ionizarem átomos de hidrogênio neutros deslocando dois elétrons, no choque, para cada partícula incidente. **Se forem usados átomos de nitrogênio no lugar do hidrogênio (também como átomos gasosos neutros), também se formam prótons.** Conclui-se dessa última descrição que as partículas α^{++} deslocam prótons do núcleo de nitrogênio, ocorrendo uma transmutação atômica:



- Foto de ENRICO FERMI físico nascido na Itália e que trabalhou nos EUA sendo o primeiro que observou e demonstrou a fissão nuclear (reação em cadeia)

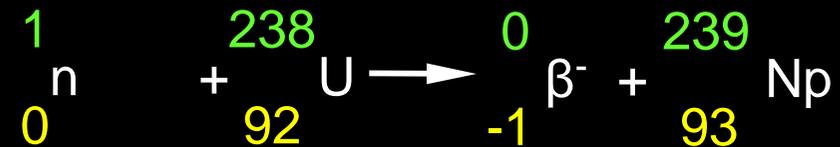
- **Reações de Transmutação Nucleares Artificiais**
- Foi a partir desses experimentos que RUTHERFORD concluiu que os prótons e nêutrons são as partículas fundamentais que constituem os átomos. **Em seus experimentos, RUTHERFORD, estava tentando encontrar os nêutrons a partir de transmutações artificiais, mas não teve êxito em sua busca.** Apenas em 1932, James CHADWICK obteve nêutrons como um produto da seguinte reação de transmutação com berílio bombardeado com partículas α :



- Ocorre que o bombardeamento com partículas α **tem algumas limitações para transformar um elemento químico em outro (por transmutação).** As partículas α^{++} (carregadas positivamente) necessitam ter energia cinética suficiente para atravessar uma barreira de energia potencial de mesma carga (repulsão eletrostática).



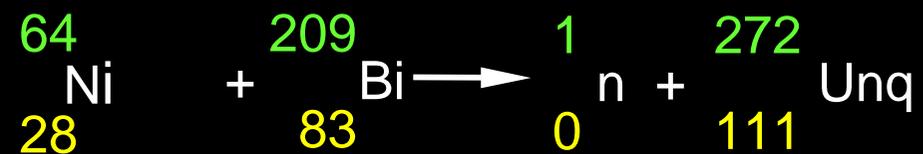
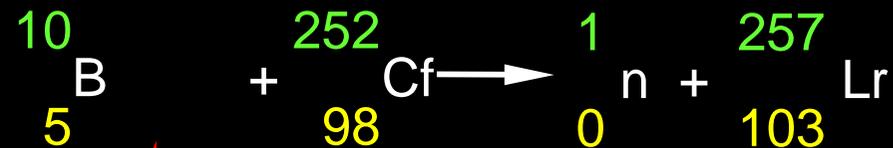
- **Reações de Transmutação Nucleares Artificiais**
- Os nêutrons são partículas descarregadas. Então, é razoável supor que os núcleos atômicos não seriam barreira para a transmutação neutrônica. Em 1936, ENRICO FERMI (físico que nasceu na Itália mas trabalhava nos EUA) atestou essa hipótese, comprovando que por meio desse recurso, praticamente, todos os elementos podem ser transmutados e um número bastante grande de elementos “transurânicos” foram preparados. Por exemplo, a formação do netúnio-239 a partir do urânio 238:



- Por sua vez, o isótopo 239 do netúnio sofre decaimento β^- formando plutônio-239 na transmutação:

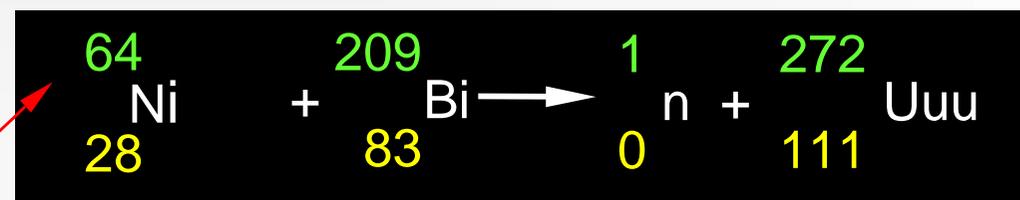
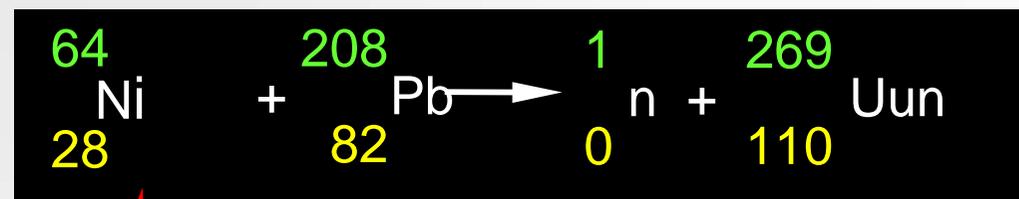


- **Reações de Transmutação Nucleares Artificiais**
- **Dos 111 elementos atualmente conhecidos apenas aqueles abaixo da amerício existem na natureza. Alguns são elementos radioativos sintéticos, como é o caso do tecnécio, promécio, astatínio e frâncio.** Já, os elementos transurânicos são todos sintéticos. Acima do elemento 101 (mendelévio) todos os elementos foram obtidos por meio de bombardeamento de isótopos menos pesados com partículas carregadas (por exemplo: α^{++} ou partículas descarregadas (nêutrons rápidos)).
- Para os elementos bem mais pesados que o mendelévio, técnicas especiais de bombardeamento ainda estão em desenvolvimento. **Por exemplo o califórnio – 252 bombardeado com núcleo de boro, resultando em Unq – 272. O último elemento ainda a ser confirmado, Z = 111:**



OS NOVOS ELEMENTOS QUÍMICOS OBTIDO POR BOMBARDEAMENTO NUCLEAR

- **Reações de Transmutação Nucleares Artificiais**
- **As mais recentes Tabelas Periódicas mostram elementos químicos até o Número Atômico $Z = 109$ (Mt =meitnério). Este elemento foi preparado em 1982 e apenas em 1994 (mais de 10 anos depois) foram relatadas novas descobertas de elementos ainda mais pesados.** No espaço de tempo de 1 mês a Tabela Periódica foi acrescida com mais dois elementos transurânicos: o de $Z = 110$ e o de $Z = 111$.
- Em 9 de dezembro de 1994 no Laboratório de Pesquisa da Sociedade de Pesquisa para Novos íons Pesados, em DARMSTADT, Alemanha, foi descoberto o elemento de $Z = 110$. Em 8 de dezembro, foi descoberto pelo mesmo Grupo de Pesquisa o elemento de $Z = 111$.



OS NOVOS ELEMENTOS QUÍMICOS OBTIDO POR BOMBARDEAMENTO NUCLEAR

- O elemento com $Z = 110$ decai rapidamente para $Z = 108$ por meio de decaimento α e a seqüência de transformações acaba no elemento nobélio, de número atômico 102.
- O elemento com $Z = 110$ é do mesmo Grupo Periódico do cobre, prata e ouro. Apenas três átomos foram formados e o elemento mostrou um decaimento muito rápido ($\tau_{1/2} = 1,5$ mseg) por decaimento α , o que era esperado para um elemento muito pesado (ver Figura 3).
- Há outras possibilidades de novas descobertas. Existe uma esperada “Ilha de Estabilidade” naa região com um elemento tendo as seguintes características:

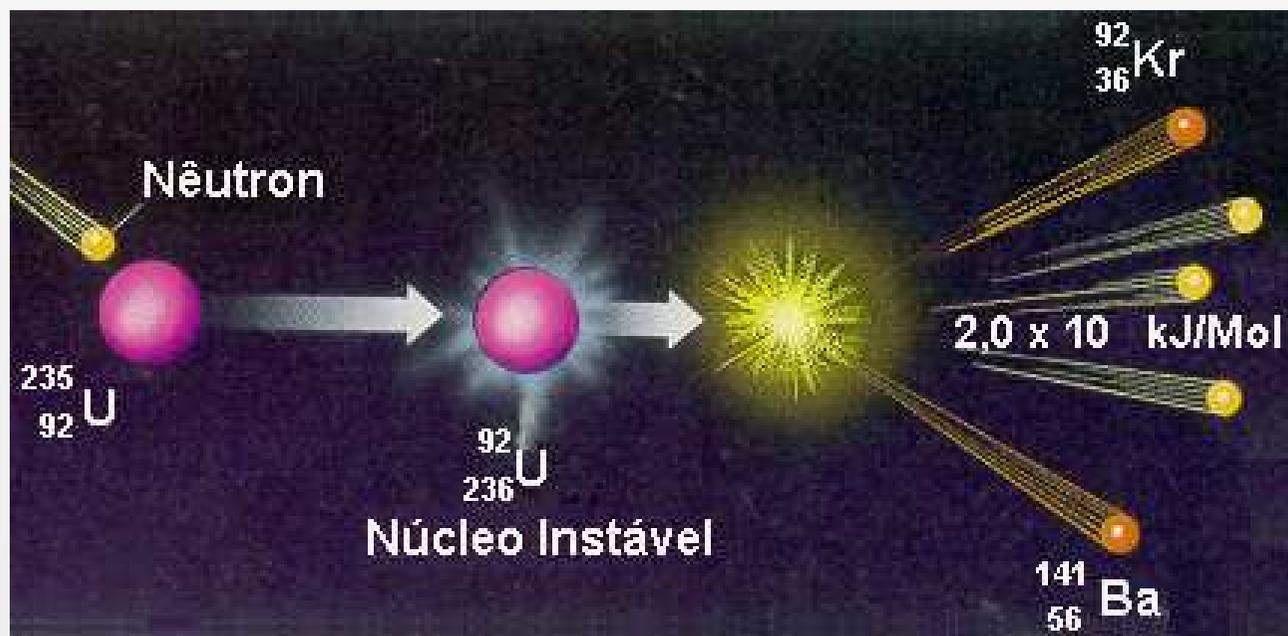
298

${}_{114}^{298}\text{Unz}$, com $N = 186$ nêutrons.



• Reações de Fissão Nuclear

- Em 1938, os radioquímicos OTTO HAHN e FRITZ STRASSMAN encontraram bário em uma amostra de urânio que havia sido bombardeada com nêutrons.



- Algum tempo depois, outros pesquisadores (LISE MEITNER, OTTO FRISH, NIELS BOHR e LEO ZILARD), em trabalhos posteriores, descobriram que o urânio-235 capturava nêutrons para formar urânio-236 e que este rádio-isótopo sofria uma FISSÃO NUCLEAR em que o núcleo se dividia em duas partes (Ver Figura 8 a seguir):



USO DE RADIOISÓTOPOS NA GERAÇÃO DE ENERGIA NUCLEAR

- A reação de Fissão do urânio-235 pode ser assim descrita:

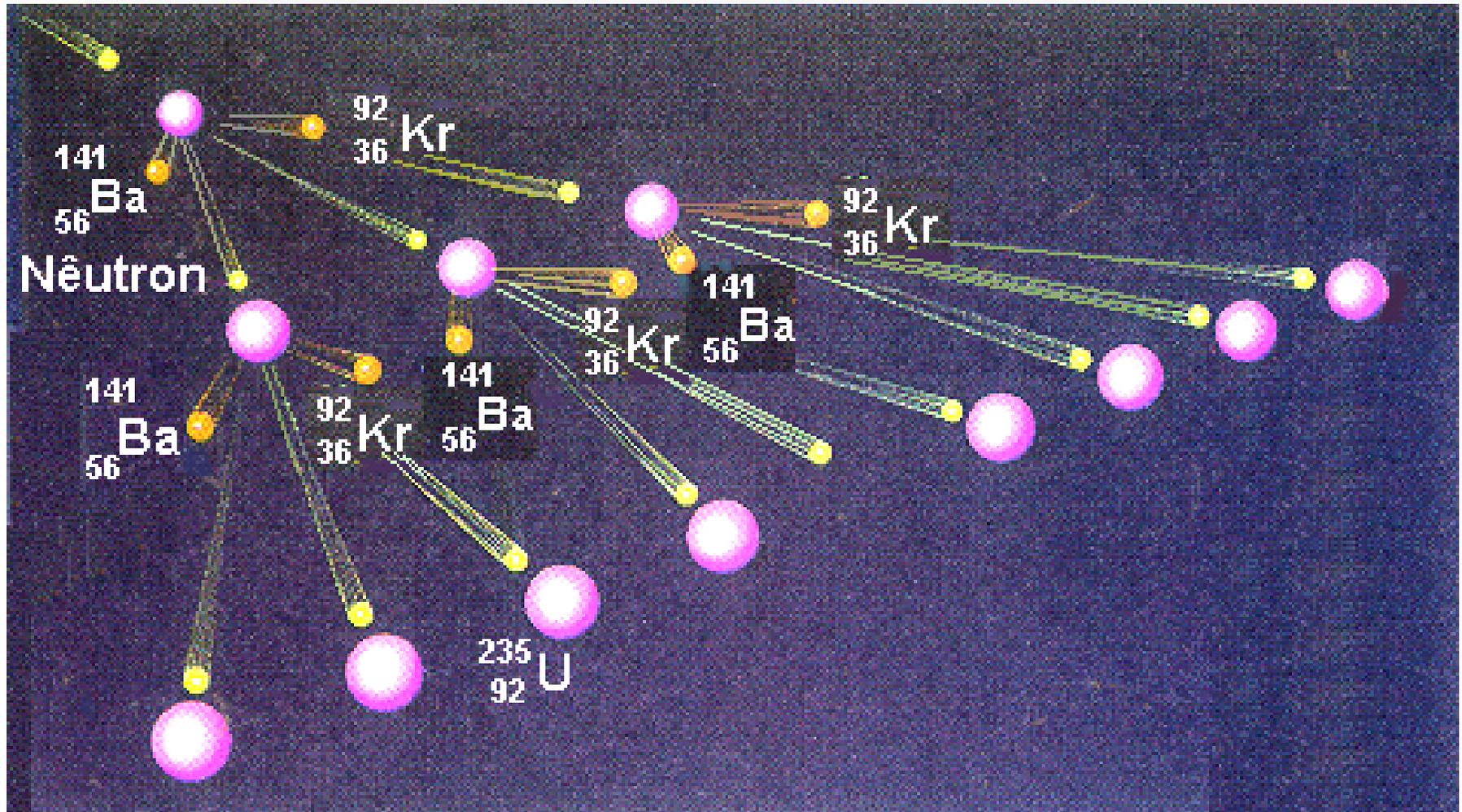


- Os pesquisadores logo descobriram que na fissão do isótopo 235 do urânio, produz-se para cada nêutron empregado na irradiação mais três nêutrons com energia suficiente para induzir a reação com mais três isótopos de urânio-235, com a formação de mais três nêutrons de cada isótopo de urânio, o que resulta em nove nêutrons). O processo se dá com uma progressão geométrica na geração de nêutrons. A Reação nuclear é designada de reação em cadeia, sendo muito rápida e como libera uma grande quantidade de energia, pode ser explosiva, como ilustra a Figura 9 na próxima tela.



USO DE RADIOISÓTOPOS NA GERAÇÃO DE ENERGIA NUCLEAR

- Figura representativa de uma cadeia de reações iniciada por uma seqüência de nêutrons com a produção de vários pares de isótopos diferentes (mas com o mesmo par de isótopos).



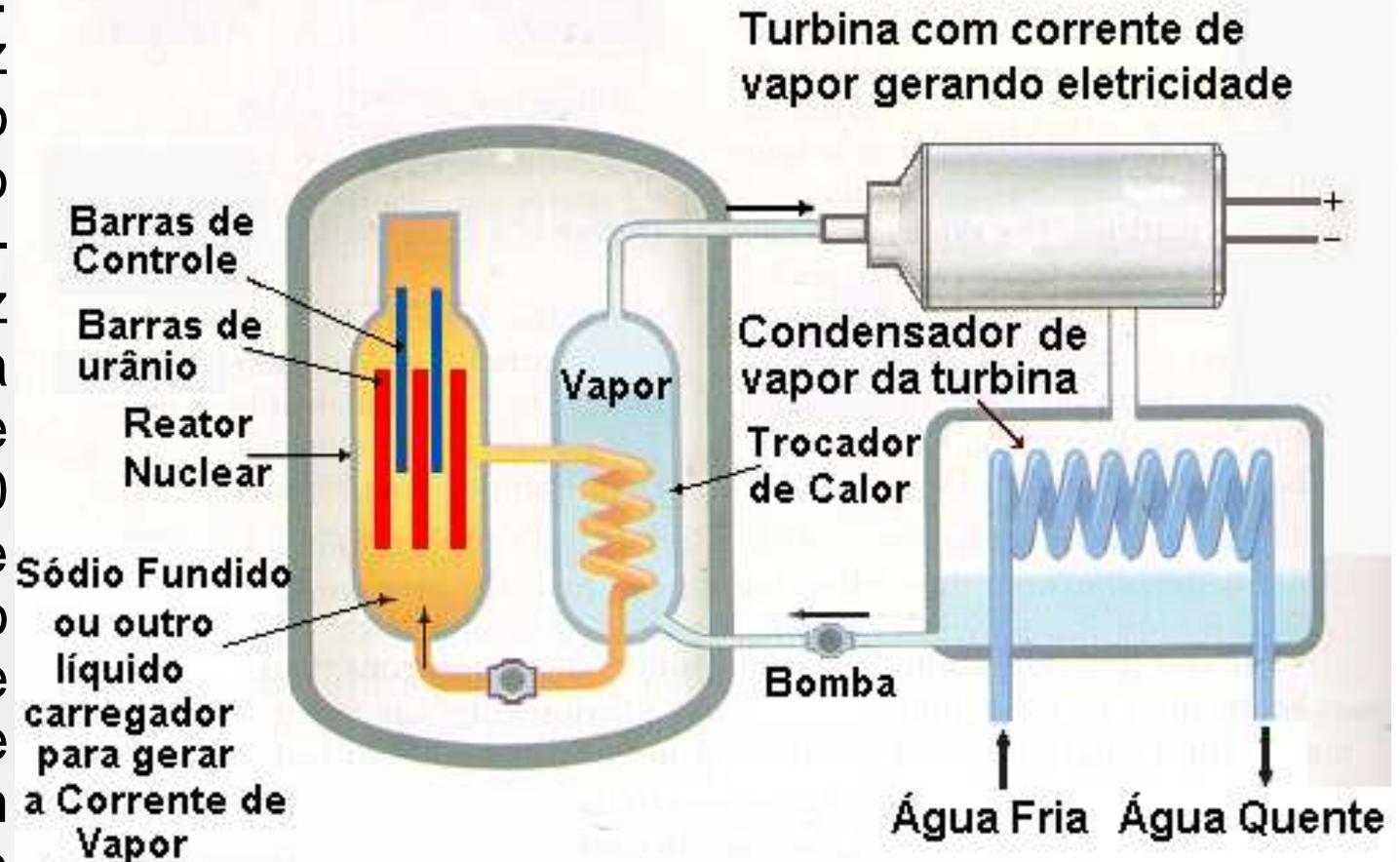
USO DE RADIOISÓTOPOS NA GERAÇÃO DE ENERGIA NUCLEAR

- Se houver uma quantidade muito pequena de urânio - 235, apenas alguns poucos nêutrons podem ser capturados pelo núcleo do isótopo. Então, a reação não é auto-sustentável.
- Quando se atinge uma **massa que sustenta a reação em cadeia**, diz-se que se atinge a "**massa crítica**". Numa reação nuclear, portanto, a reação pode ser de três tipos:
 - /// **Sub Crítica**,
 - /// **Crítica** e
 - /// **Super Crítica**
- /// Na confecção de um artefato nuclear de fissão (como no caso da Bomba de Hiroshima e Nagasaki), mantém-se duas porções de urânio - 235 sub crítica (massa de urânio de cada peça que não é capaz de sustentar a reação em cadeia). A explosão resulta da junção rápida das duas partes (o que é feito com uma bomba de dinamite) que serve como uma espécie de "espoleta" e a **reação em cadeia violenta** e **explosiva** ocorre, com liberação de **uma imensa quantidade de energia atômica**.



USO DE RADIOISÓTOPOS NA GERAÇÃO DE ENERGIA NUCLEAR

- Assim, há meios de se controlar a fissão. Esse controle se faz limitando o número de nêutrons no processo termo-nuclear. Isso se faz em reatores para produção de energia. A figura 10 a seguir descreve esquematicamente o processo de aproveitamento de energia em um reator nuclear de potência.



USO DE RADIOISÓTOPOS NA GERAÇÃO DE ENERGIA NUCLEAR

- Na Figura, as barras de controle empregam materiais que absorvem nêutrons (funcionam como verdadeiras "esponjas de nêutrons". Geralmente estes materiais incluem ligas metálicas ou materiais compósitos contendo cádmio e boro que são inseridos no meio da massa de urânio, formada geralmente por pastilhas empilhadas de material físsil.
- As **barras de controle**, fazem com que o reator se mantenha com "velocidade de reação de fissão controlada" **com a máquina gerando energia**, de modo seguro e não explosivamente.
 - /// Os radioisótopos físséis são de número de massa ímpar, como por exemplo urânio - 235, plutônio - 239 e tório - 233. O urânio natural tem uma concentração de isótopo físsil (urânio - 235 de apenas 0,72 % sendo que mais que 99,0 % do urânio está na forma de isótopo fértil (urânio - 238). Assim, para que seja sustentável o processo nuclear de fissão, o urânio empregado como "combustível" **deve ser enriquecido em seu isótopo físsil** (urânio - 235). **No Brasil, o processo de enriquecimento empregado é de jato-centrifugação.** Mas, o mais empregado no mundo é o processo de difusão gasosa.



USO DE RADIOISÓTOPOS NA GERAÇÃO DE ENERGIA NUCLEAR

- No mundo inteiro, o uso de Energia Nuclear para gerar eletricidade é controverso.
- Há os que consideram **o controle sobre os átomos e a geração de energia por meio de reações nucleares**, como "essencial" para o **avanço tecnológico** de modo a satisfazer as necessidades do cidadão em termos de energia. Evidentemente, este não é o pensamento dos ambientalistas, especialmente do GREEN PEACE.
 - /// A economia mundial e o modo de vida dos países mais desenvolvidos cada vez mais necessita de energia com o menor custo e com o menor impacto ambiental possível. Poluir menos significa, principalmente, pouca emissão de resíduos (cinzas e carbono residual) bem como de fumaças com CO_2 e outros poluentes atmosféricos (como o SO_2 , NO_2). O suprimento de energia nuclear se aproxima muito do que se considera "energia limpa", o que pode contribuir em larga escala para evitar o colapso no suprimento de "combustível fóssil" no futuro. **No mundo todo há 350 usinas nucleares, mas muito pouco sendo construída.** Parte do problema reside no produto de fissão, que é um lixo extremamente radioativo e de difícil disposição.



USO DE RADIOISÓTOPOS NA GERAÇÃO DE ENERGIA NUCLEAR

- O lixo radioativo é um problema mundial relevante e anti-econômico que pode condenar novos projetos de usinas.
- Há alguns radioisótopos com utilidade (na medicina, indústria e na agricultura). **Porém a maioria eles não têm nenhuma utilidade.** Atualmente, esses rejeitos são convertidos em vidros insolúveis (com volume de aproximadamente 2,0 m³ – quantidade equivalente ao rejeito de um reator por ano). Assim, esse volume relativamente pequeno pode ser estocado em regiões desérticas (geralmente minas de sais) e nessas condições são estáveis por milhares de anos. A Figura 11 ilustra a geração de energia nuclear no mundo, evidenciando a participação percentual no total da energia produzida por cada país:

França: 69 %

Bélgica: 66%

Suécia: 45%

Suíça: 38%

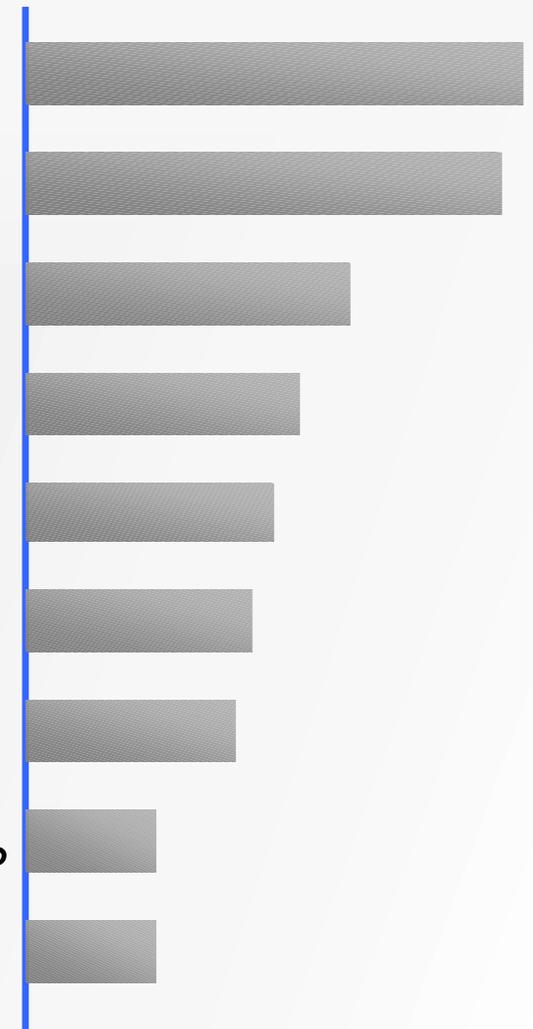
Finlândia: 37%

Alemanha: 31%

Japão: 29%

Inglaterra: 18%

E. U. A: 18%



USO DE RADIOISÓTOPOS NA GERAÇÃO DE ENERGIA NUCLEAR

• Reações de Fusão Nuclear

- Uma quantidade tremenda de energia é gerada quando núcleos atômicos relativamente mais leves se combinam para formar um núcleo atômico mais pesado.
- Tal reação é designada Fusão Nuclear. **Um dos melhores exemplos de reação de fusão é a fusão de prótons para darem núcleo de hélio:**



- Esta reação é a fonte de energia do sol e das outras estrelas, e é o início da síntese dos elementos no universo. São alcançadas temperaturas entre 10^6 a 10^7 K no centro da zona radioativa do sol, que fornece a energia cinética suficiente para fazer com que se ultrapasse a repulsão das partículas nucleares carregadas positivamente que vão se unir na fusão nuclear.



USO DE RADIOISÓTOPOS NA GERAÇÃO DE ENERGIA NUCLEAR

• Reações de Fusão Nuclear

- Também, deutério e trítio (isótopos mais pesados do hidrogênio) são isótopos empregados na fusão nuclear. As reações levam à formação de hélio-3 e hélio 4:



- Ambas as reações envolvem **enormes quantidades de energia**, sendo o sonho de muitos físicos nucleares que tentam "domar" o átomo, produzindo energia a partir da fusão nuclear. Este sim, um processo "limpo" de gerar eletricidade, pois a reação não é a fonte de "lixo radioativo". Porém, são alcançadas temperaturas entre 10^6 a 10^7 K o que leva à formação de um estado físico "**plasma**", que consiste em uma matéria condensada densa de núcleos e elétrons livre (não ligados entre si).



USO DE RADIOISÓTOPOS NA GERAÇÃO DE ENERGIA NUCLEAR

• Reações de Fusão Nuclear

- A temperatura do plasma é de difícil contenção. Qualquer material real se funde nas elevadas temperaturas envolvidas nas reações de fusão.
- Também, este tipo de energia tem aplicações bélicas. Uma bomba de fusão atômica, porém, é algo muito mais maléfico e destruidor de que uma bomba de fissão. Num artefato nuclear de fusão, a temperatura para que o hidrogênio se funda é elevadíssima e emprega-se como "espoleta", para dar início ao processo, uma bomba atômica de fissão. A Bomba-H requer a produção de grandes quantidades de trítio. A tecnologia passa pela fabricação do lítio deuterado (LD), ou seja um sólido iônico salino em que o ânion é um deutério ionizado negativamente. Este sal é colocado ao redor de uma bomba de plutônio - 239 ou urânio - 235 (fissão). O calor desenvolvido mais os nêutrons liberados provocam separações como:



USO DE RADIOISÓTOPOS NA GERAÇÃO DE ENERGIA NUCLEAR

• Reações de Fusão Nuclear

- Assim, tem-se que na temperatura alcançada pela reação de fissão (que serve apenas como gatilho da fusão) ocorre duas reações possíveis de fusão nuclear:



- Uma bomba de hidrogênio de 20 megatons requer cerca de 36,08 kg do lítio deuterado, bem como uma quantidade bastante grande de plutônio - 239 ou urânio - 235 (físseis). O efeito desse artefato é simplesmente devastador.





DOSSIER
ANTIMATIÈRE

Au seuil de l'antimonde



**Ils ont créé
des
antiatomes**
p. 58

**Pourquoi le monde
a vaincu
l'antimonde**
p. 62

**Du carburant
pour visiter
les galaxies**
p. 68



ENERGIA E ANTI-MATÉRIA

- **Diferentes Tipos de Combustíveis em Banco de Ensaio (Figura 12)**
- Comparação de diferentes tipos de reações nucleares com reações de combustíveis comuns é apresentada na Figura 12 apresentada a seguir: 1 = 28.500 kJ desprendida por kg de combustível

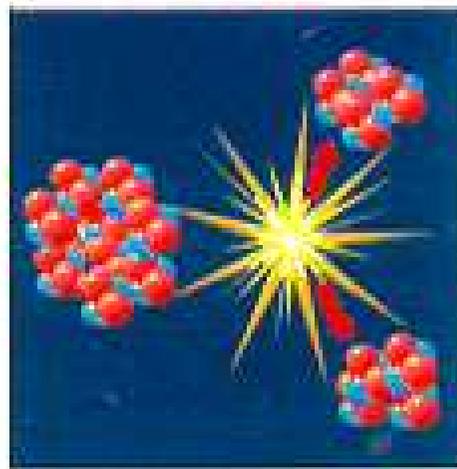
Clássica



1

- Reação Química entre O_2 e H_2 com liberação de energia e produção de água

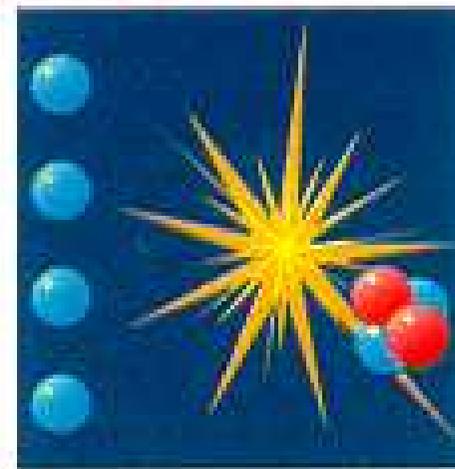
Fissão



30 000

- A fissão de um átomo de U – 235 em dois fragmentos com liberação de energia

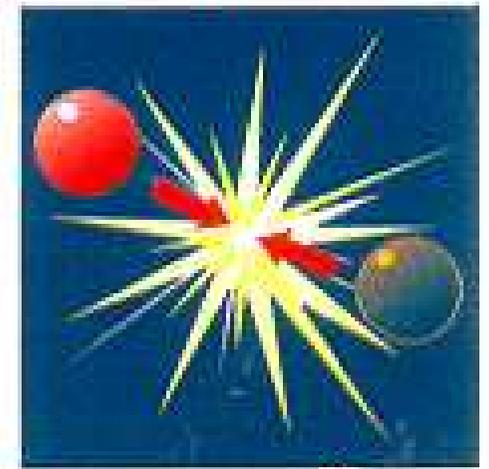
Fusão



200 000

- Fusão de quatro átomos de hidrogênio em isótopo de hélio com liberação de energia

Antimatéria



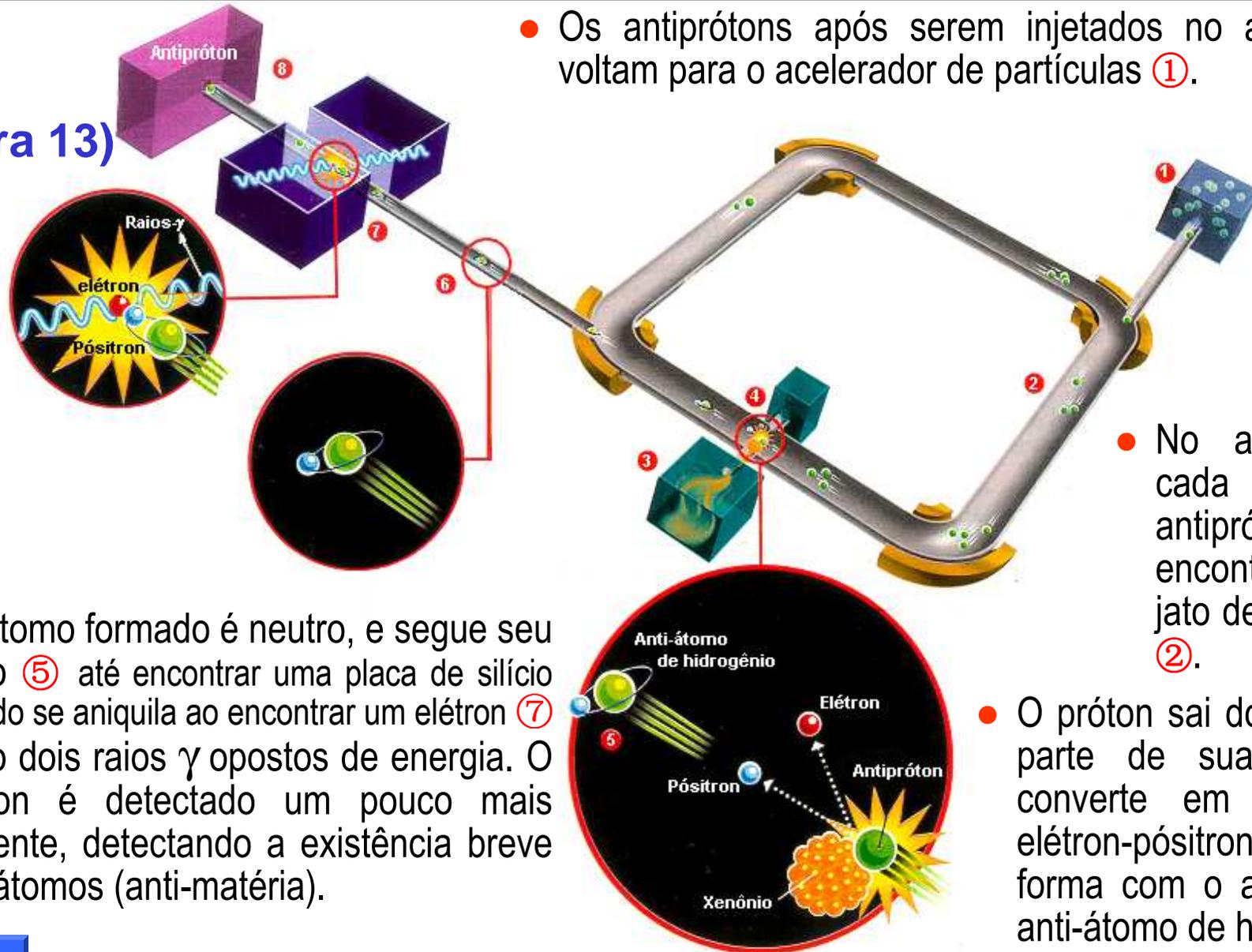
30×10^6

- A reação de aniquilação de anti-matéria com a matéria. Um fenômeno dos mais energéticos em que a massa se transforma em energia



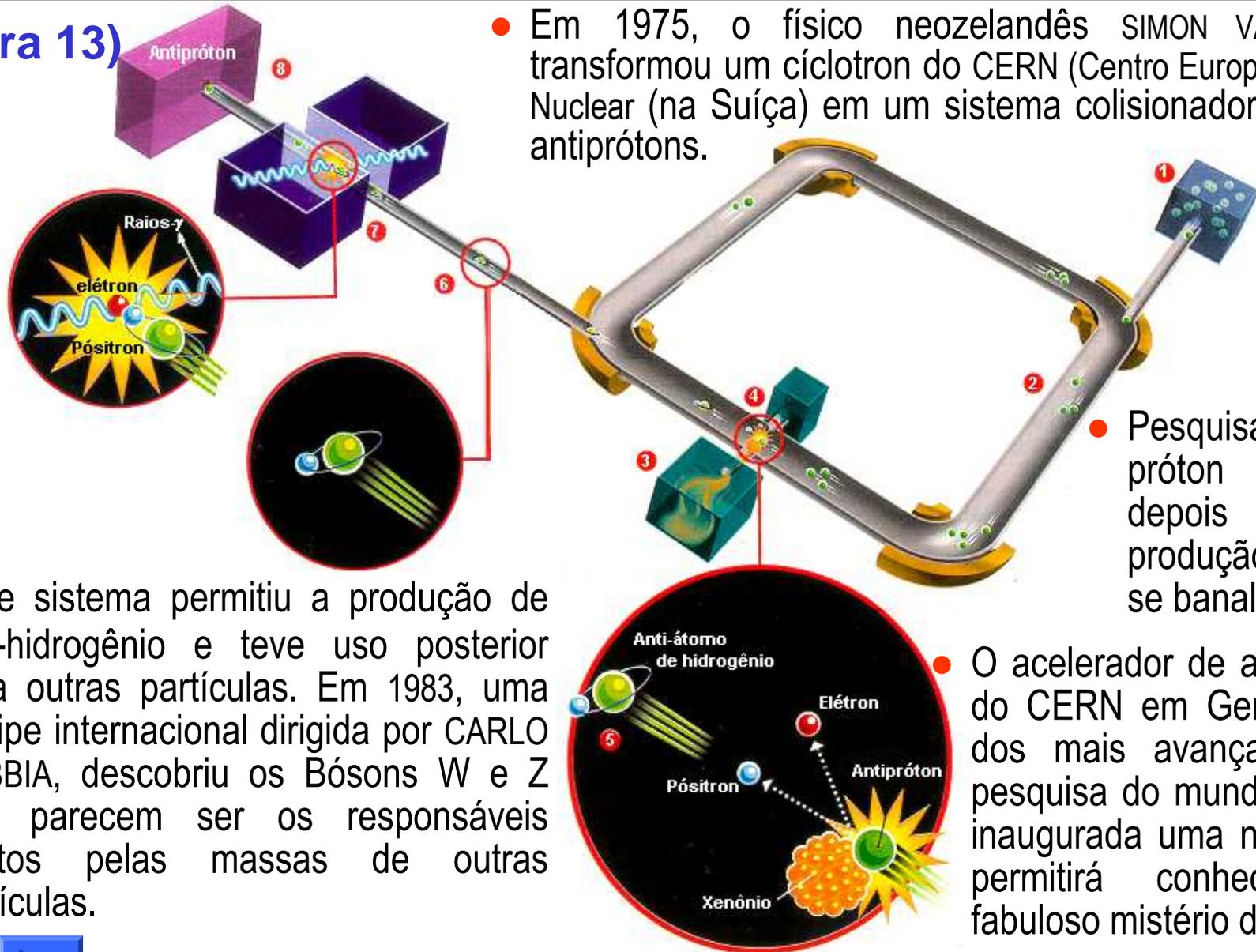
ENERGIA E ANTI-MATÉRIA

(Figura 13)



À ENERGIA E A ANTI-MATÉRIA

(Figura 13)



- Em 1975, o físico neozelandês SIMON VAN der MEER transformou um ciclotron do CERN (Centro Europeu de Pesquisa Nuclear (na Suíça)) em um sistema colisionador de prótons e antiprótons.

- Esse sistema permitiu a produção de anti-hidrogênio e teve uso posterior para outras partículas. Em 1983, uma equipe internacional dirigida por CARLO RUBBIA, descobriu os Bósons W e Z que parecem ser os responsáveis diretos pelas massas de outras partículas.

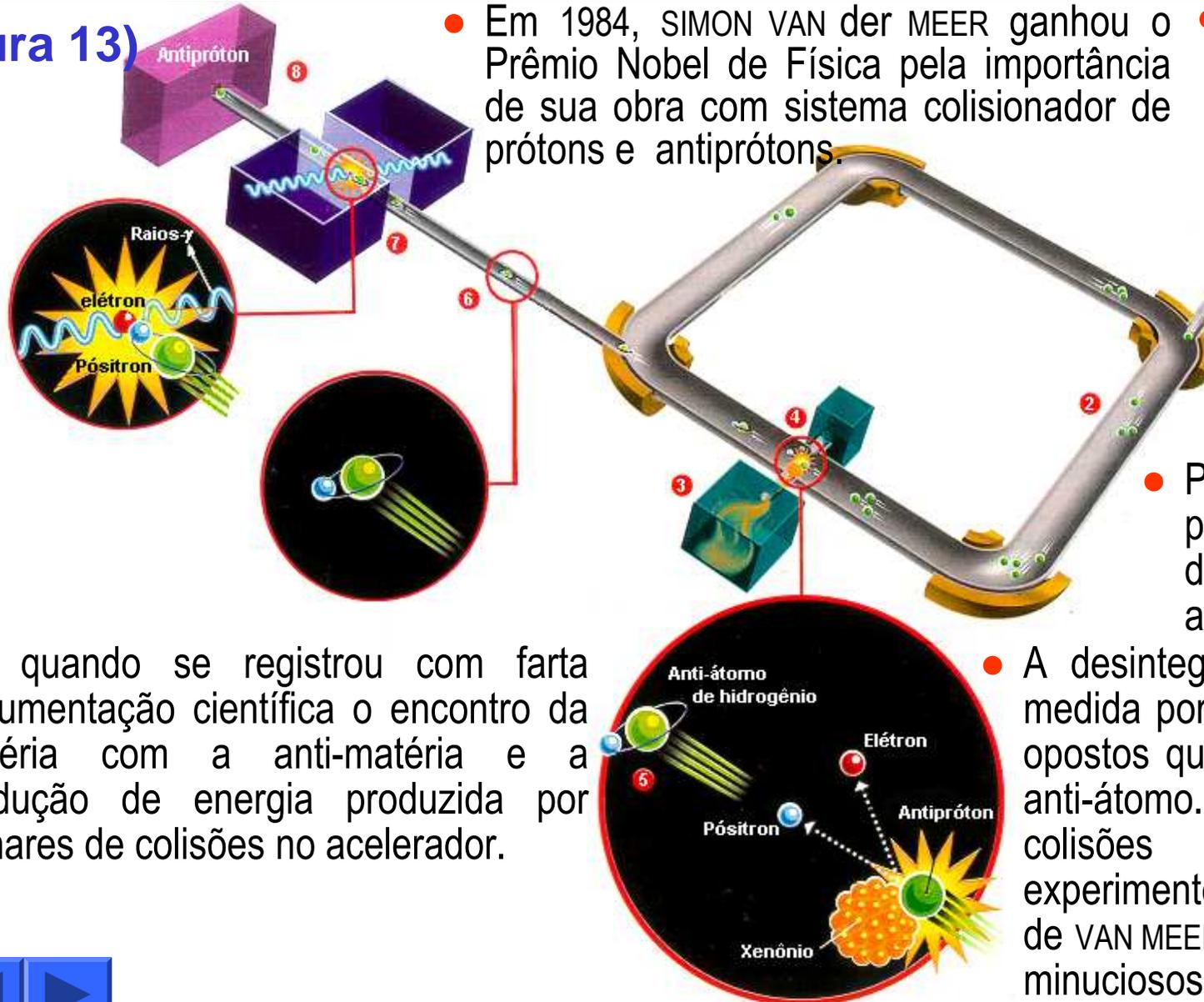
- Pesquisas sobre o anti-próton indicam que depois de 1955 a produção de anti-matéria se banalizou.

- O acelerador de anti-prótons LEAR do CERN em Genebra é hoje um dos mais avançados centros de pesquisa do mundo. Em 2007 será inaugurada uma nova unidade que permitirá conhecer melhor o fabuloso mistério da simetria CPT.



A ENERGIA E A ANTI - MATÉRIA

(Figura 13)



- Em 1984, SIMON VAN der MEER ganhou o Prêmio Nobel de Física pela importância de sua obra com sistema colisionador de prótons e antiprótons.

- O tema foi explorado por mais de 23 físicos italianos e alemães liderados por WALTER OELERT que concebeu o acelerador de baixa energia de antiprótons: LEAR: LOW ENERGY ANTIPROTON RING.

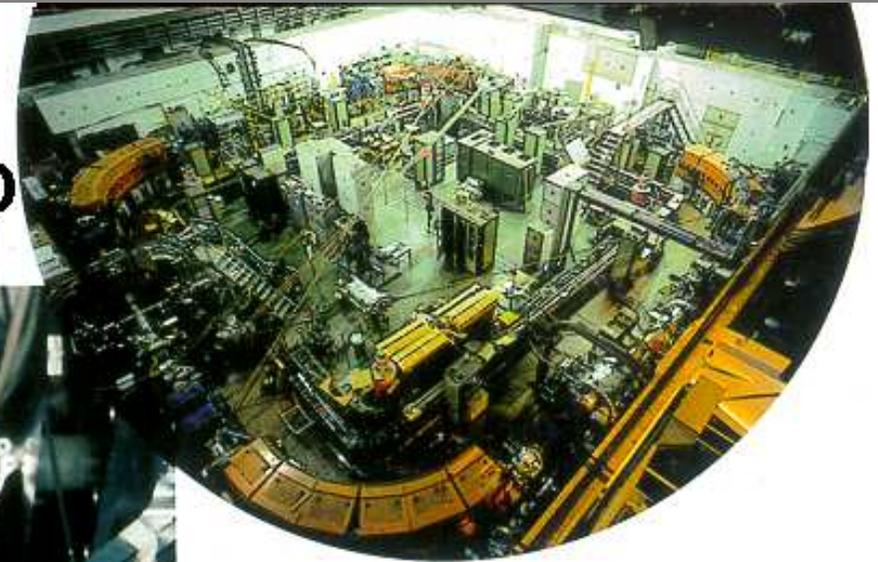
- Foi quando se registrou com farta documentação científica o encontro da matéria com a anti-matéria e a produção de energia produzida por milhares de colisões no acelerador.

- Pesquisas sobre o anti-próton indicam que depois de 1955 a produção de anti-matéria se banalizou.

- A desintegração do anti-próton foi medida por meio de dois detectores opostos que provaram a criação do anti-átomo. Foram feitas milhares de colisões e registrados os experimentos e exigiram da equipe de VAN MEER, três meses de cálculos minuciosos



ELES CRIARAM O ANTI-ÁTOMO (Figura 14)



AQUI NASCEU A ANTI-MATÉRIA

- No CERN, e usando o Acelerador de Anti-Prótons os dois responsáveis pela experiência WALTER OELERT e MARIO MACRI que junto a SIMON VAN der MEER descobriram o anti-próton.



- **As especulações sobre a Anti-Matéria e a Energia**
- As Leis da Física são simétricas. Frente a isso sempre se questionou sobre a existência de um mundo unilateral, só de matéria. Em outras palavras: por que o mundo venceu o anti-mundo?
- A Mecânica Quântica abriu as portas para as descobertas revolucionárias de **novas partículas**, ao revelar o comportamento estranho e paradoxal do mundo microscópico. Em 1931, um jovem matemático (Paul Dirac (1902 - 1984) aplicou a mecânica quântica e a mecânica relativista ao elétron acelerado (próximo da velocidade da luz) e concluiu sobre o "**elétron relativista**". A Equação de Dirac, mostrava uma incoerência aparente: admitia **duas respostas possíveis**: uma para um elétron "normal" e outra para uma partícula "com energia negativa" com frequência negativa (pois a toda partícula se associa uma onda de energia proporcional à energia da partícula). Isso é o mesmo que estabelecer uma energia que tem seu caminho no tempo, do passado para o futuro, ou seja, no inverso do tempo; o que implica que nesse mundo o efeito precede à causa (ou seja, tudo é como um mundo passando de trás para frente) difícil de imaginar.



- **As especulações sobre a Anti-Matéria e a Energia**
- Embora a comunidade científica visse tal contradição, Dirac não abandonou sua idéia e propôs outra interpretação: chamou a atenção que uma partícula de energia negativa andando no reverso do tempo, matematicamente, é o mesmo que uma partícula de energia positiva andando no tempo com o bom senso de andar para frente, mas com a carga oposta, isto é, com o elétron tendo carga positiva.
- Esta partícula que é o **anti-elétron**, foi designada de pósitron. Um ano mais tarde, um estudante americano (CARL ANDERSON) que desenvolvia seu trabalho com radiação cósmica e que ignorava a hipótese audaciosa de Dirac, observou os rastros de uma partícula "**até então desconhecida**". Esta partícula tinha uma característica de curvatura no campo magnético, típica de uma partícula carregada positivamente, mas de massa igual a de um único elétron. **Era o anti-elétron previsto por Dirac**: uma manifestação da radiação cósmica que ao se manifestar na atmosfera terrestre, havia materializado uma parte de sua energia em um par elétron-pósitron e ficou provada a existência das raras manifestações de anti-partículas naturais

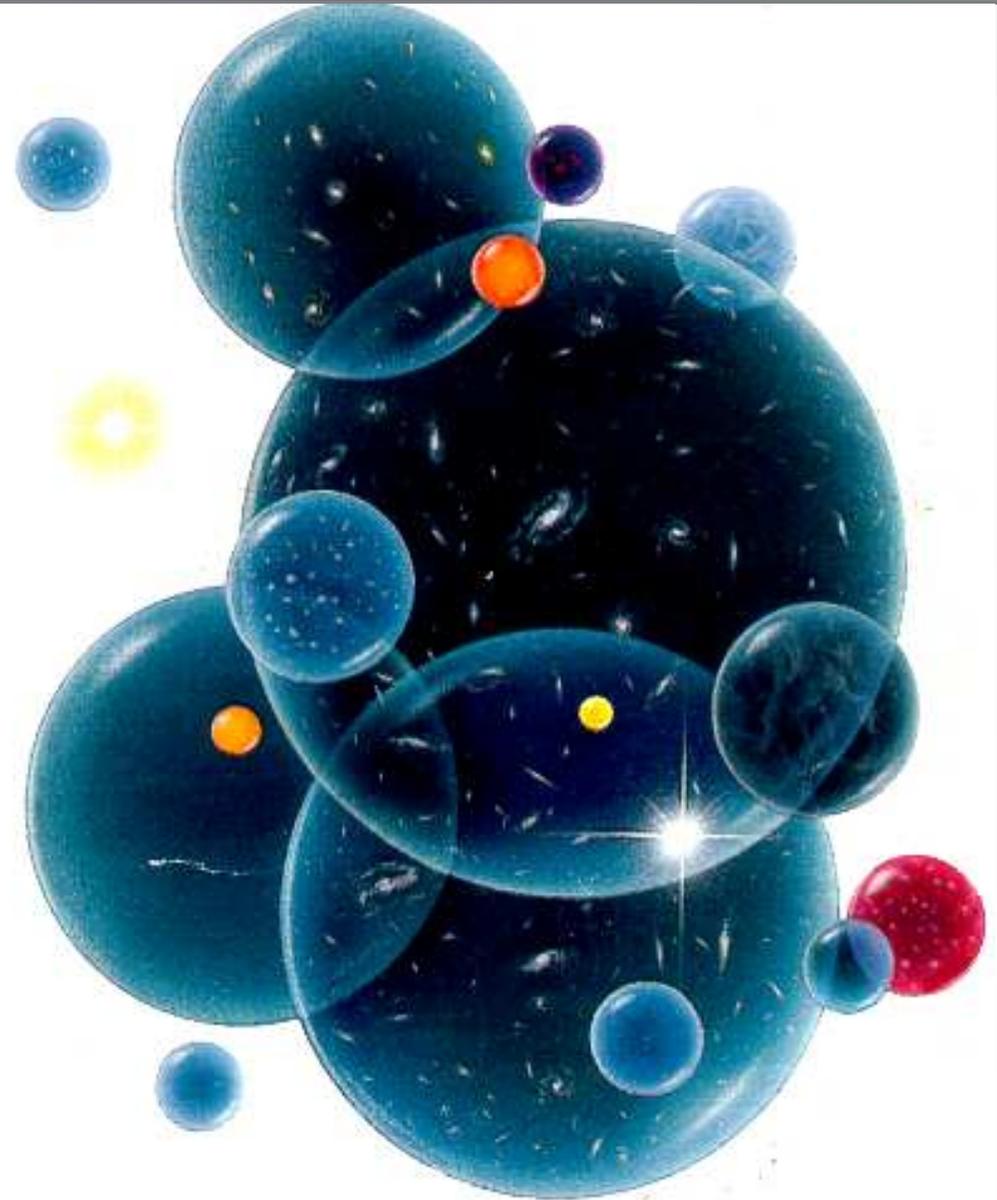


- **As especulações sobre a Anti-Matéria e a Energia**
- A partir do trabalho de Carl Anderson, Dirac generalizou sua equação estabelecendo dentro de um quadro quântico e relativístico que todas as partículas da matéria devem ter uma imagem simétrica o que vale dizer que todas as partículas admitem uma anti-partícula em que todas as cargas são opostas. As cargas elétricas das partículas atômicas passaram a ser consideradas puramente como "propriedade quântica", ou seja, são tratadas no nível microscópico e não mais no mundo "macroscópico, que nos é mais familiar.
- Embora os nêutrons sejam "neutros" há o "anti-nêutron, pois cada partícula atômica tem sua anti-partícula. No mundo magnético invertido, o anti-nêutron tem um momento magnético invertido que o diferencia do nêutron.
 - /// **O fóton não tem anti-partícula:** ou melhor dizendo , ele mesmo é sua própria anti-partícula, pois todas as suas cargas são nulas.

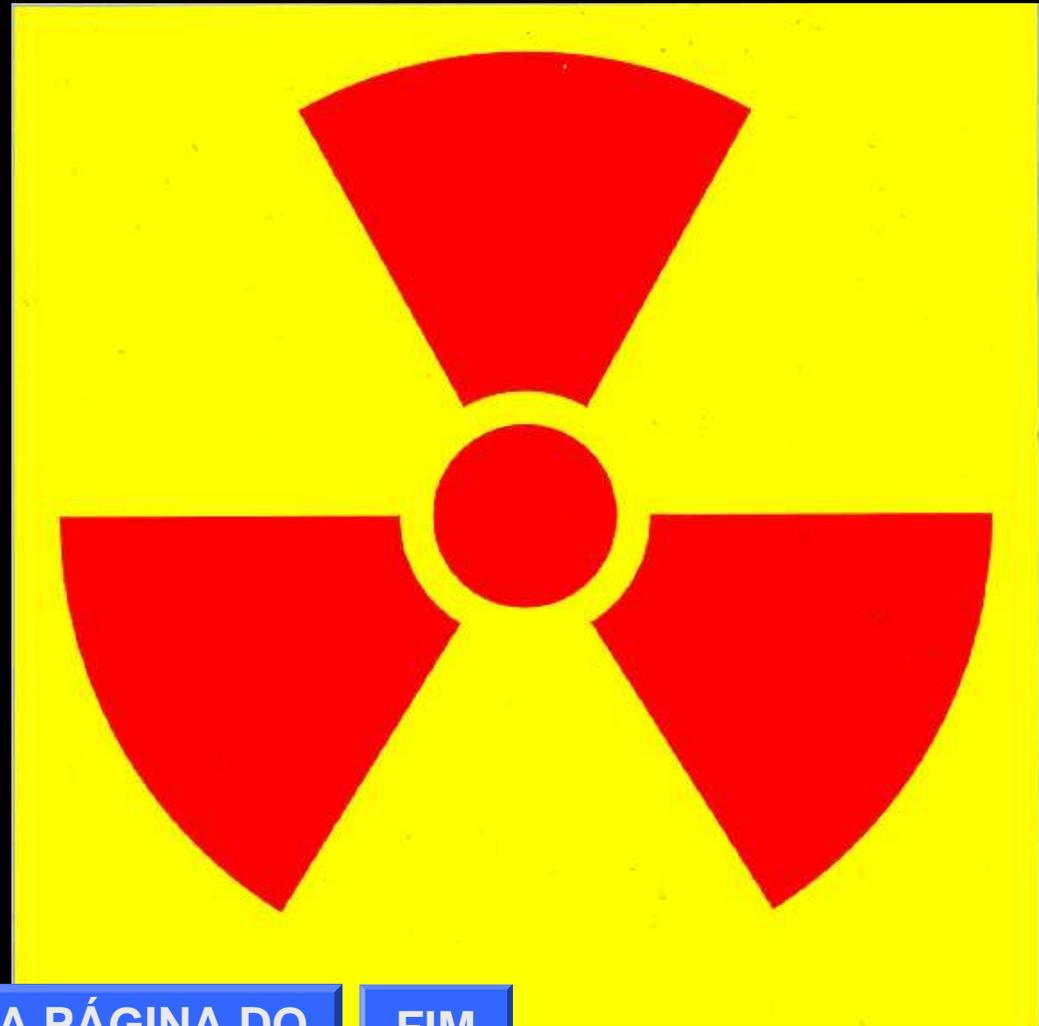
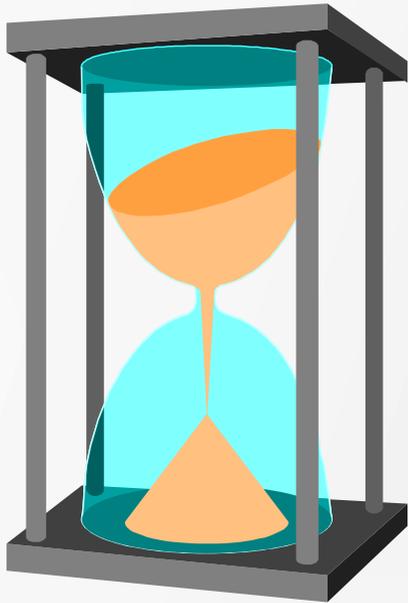


• AS BOLHAS CÓSMICAS

- /// Alguns Astrofísicos elaboraram a hipótese de que o nosso universo pode ter sido criado como diversas bolhas que podem se sobrepor ou ou permear outras bolhas. A nossa bolha é predominantemente de matéria. A ausência de Anti-Matéria deverá ser compensada por Anti-Matéria dentro de outra bolha.
- /// A ausência de Anti-Matéria no universo visível implica em que ele ocupa uma porção do universo (não visível) separada da nossa por uma fronteira de aniquilação. Esta hipótese foi defendida nos anos de 1970.



RADIAÇÃO IONIZANTE E SUA MONITORAÇÃO



PARA PÁGINA DO
CONTEÚDO

FIM



- CONCEITUAÇÃO PRELIMINAR
- Como conceito primário, deve-se estabelecer como **RADIAÇÃO**, a energia emitida por uma **fonte** e que se propaga de um ponto a outro, quer na forma de **partículas** quer na forma de um **feixe de energia eletromagnética**. Adicionalmente, são consideradas fontes de radiação, **átomos que emitem partículas carregadas ou neutras**.
- As **partículas carregadas** incluem Partículas β (β^- e β^+), Partículas α , prótons acelerados e outros produtos de reações nucleares. As **Radiações Eletromagnéticas** incluem Raios- γ , formados por transições nucleares, Raios- x , formados por rearranjos na esfera eletrônica dos átomos e Radiação UV, característica de transições eletrônicas ou de outros processos (espalhamento durante a desaceleração de partículas carregadas). Os **nêutrons**, são gerados em vários processos nucleares, podendo ser **rápidos, térmicos** (lentos ou termalizados) e **epitérmicos** (ou ressonantes, com energia característica de ressonância para um dado modo de absorção neutrônica em reações $n-\gamma$).



- RADIAÇÃO IONIZANTE
- Mas, as emissões eletromagnéticas (X e γ), são chamados de radiações ionizantes, pois, ao atravessarem um meio orgânico ou aquoso, provocam quebras moleculares, formação de radicais livres e finalmente, íons ou produtos da ionização. Sua monitoração, tem muita relevância, pois o não controle e a não recuperação, tem efeitos sobre o ser humano, animais e ambiente.
- A detecção e monitoração é feita, usualmente, por meio de processos em que a energia de um fóton ionizante é totalmente absorvida por um dispositivo (transdutor) que exhibe o chamado *Efeito Fotoelétrico*, em que toda a energia dos fótons é transformada em energia de elétrons, resultando, portanto, em um "sinal elétrico" que pode ser captado e/ou amplificado e convenientemente tratado instrumentalmente, permitindo que se faça o controle por blindagem ou por afastamento da fonte para distância segura.



- RADIAÇÃO IONIZANTE
- *Raios-X e Raios- γ* , diferem apenas quanto à origem, mas ambos são bastante penetrantes e energéticos e os outros efeitos resultantes de sua interação com a matéria são: o *Efeito Compton* e o *Efeito de Formação de Pares*. O efeito *Compton* ocorre por um desvio (espalhamento) dos fótons com os elétrons do meio sem absorção dos fótons, que apenas perdem parte de sua energia, continuando o processo de interação com outros elétrons. Já a produção de pares de *pósitrons* e de *elétrons*, ocorre quando a energia do fóton é superior às massas de repouso dessas partículas (β^- e β^+), ou seja 1,02 MeV de energia.
- Prever quais destes efeitos de interação são prováveis, é difícil, pois as variáveis são: (1) a *energia dos Raios -X e Raios- γ* , (2) a natureza química do meio (*Número Atômico* entre os principais parâmetros).



• DISTÂNCIA SEMI-REDUTORA

- Um dado importante é que, *estatisticamente*, há uma probabilidade de um fóton de radiação ionizante (*Raios -X e Raios- γ*), *perder toda sua energia em uma só interação* com a matéria, sendo imprevisível a distância que ele pode percorrer, antes de interagir.
- No entanto, em bases reais, é possível prever, qual a distância em que será de 50 % a probabilidade de um fóton ionizante *perder toda sua energia em uma só interação*. Este parâmetro previsível é chamado "*Distância Semi-Redutora*". O projeto de *blindagem da radiação*, tem por base o "*Distância Semi-Redutora*", em termos de uma dada espessura que atenua (reduz) pela metade os efeitos da radiação ionizante emitida (*Raios-X e Raios- γ*). Portanto, torna-se mais significativo, ainda, a detecção e monitoração, para o controle dos efeitos nocivos da radiação ionizante sobre o ser humano, animais e ambiente
- Considerando-se a emissão de *Raios- γ* do radio isótopo ^{137}Cs (662 keV), a camada semi-redutora é a seguinte, considerando diferentes materiais da Tabela II (KNOLL, 1979).



- TABELA II: CAMADA SEMI-REDUTORA DE DIFERENTES MATERIAIS

MATERIAL	CHUMBO	ALUMÍNIO	TECIDO HUMANO
Distância Semi-Redutora (cm)	0,64	3,5	7,2

- Radiações eletromagnéticas com menor energia, podem ser igualmente danosas como a **Radiação UV**, característica do espectro de radiações emitidas pelo Sol e que incidem sobre a superfície da terra, seja por meios normais ou por deficiência de filtração provocada por destruição da camada de ozônio (buracos resultante por ataque químico de derivados clorofluorcarbonados: CFC).
 - /// **Outros tipos de radiação** como *Ultra-Som* e sua detecção, são importantes para monitoração de prováveis fontes deste tipo de energia que agridem o ambiente com sinais indesejáveis, ou medida de sinais desejáveis.



- UNIDADES DE DOSES DE RADIAÇÃO
- As medidas de radiações ionizantes são feitas por meio de instrumentação, constando de um sensor (transdutor) e uma eletrônica de suporte adequada.
- Para se estabelecer o conceito de **DOSE** de radiação, é necessário definir a **ATIVIDADE** de uma fonte emissora. A atividade de uma fonte é estabelecida pela expressão:

$$\log \frac{dN}{dt} = \log -\lambda N_0 \Rightarrow \log \frac{A}{\Delta t} = \log -\lambda A_0 \Rightarrow A = A_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \left(\frac{1}{2} A_0\right) = A_0 e^{-\lambda \tau_{1/2}} \Rightarrow \ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\lambda \tau_{1/2} \Rightarrow \tau_{1/2} = 0,693 / \lambda$$

Sendo: N = Número de núcleo radioativo, N_0 = Número inicial de átomos radioativos, λ = Constante de decaimento radioativa, A = Atividade da amostra de átomos radioativos, A_0 = Atividade inicial da amostra de átomos radioativos

- Historicamente, o **CURIE (Ci)** foi estabelecido como *unidade de medida de radiação*, sendo a atividade igual $3,7 \times 10^{10}$ desintegrações por segundo. Esta unidade refere-se à atividade de uma fonte de 1,0 g do radioisótopo ^{226}Ra .



- UNIDADES DE DOSES DE RADIAÇÃO
- Embora correlacionado com **taxa de desintegração**, a unidade de **atividade** também é o número de partículas por segundos que atinge um sensor de radiação. Há sub múltiplos do Ci, tais como o **mCi** e **μCi**, respectivamente de $3,7 \times 10^7$ desintegrações por segundo e $3,7 \times 10^4$ desintegrações por segundo.
- O **Ci** foi empregado extensivamente nos textos sobre radiação, mas, foi substituído pelo **BECQUEREL (Bq)**, em 1975, após Conferência Geral de Pesos e Medidas (**GCPM: General Conference of Weights and Measures**). **1 Bq** corresponde a "**uma desintegração por segundo**", sendo assim, **1 Bq = $2,703 \times 10^{-11}$ Ci**
- Ainda para se definir **DOSE**, é necessário correlacionar a **ENERGIA** da radiação, expressa em **elétron-volt (eV)**. **1,0 eV**, é a energia cinética adquirida por um elétron pela sua aceleração em um campo elétrico gerado por uma diferença de potencial de **1,0 Volt**. São mais usualmente empregados como medida de energia de radiação ionizante, os múltiplos **keV** e o **MeV**, respectivamente 10^3 e 10^6 **eV**.



- UNIDADES DE DOSES DE RADIAÇÃO
- A unidade de energia do Sistema **SI** é o **JOULE (J)**. Quando se especifica energias de radiações ionizantes é mais comum expressar-se com o sub múltiplo **FENTOJOULE, (fJ)**. Sendo:
 - $1,0 \text{ fJ} = 1,0 \times 10^{-15} \text{ J} = 6,241 \times 10^3 \text{ eV}$
- Esta unidade **elétron-volt** é muito bem fundamentada fisicamente, estando atualmente bem em fase com a conceituação e aceitação geral presentemente adotada. Não está claro se sua adoção futura terá a mesma aceitação, embora sua utilização em termos universais seja forte argumento para continuar sua aplicação como unidade de energia de radiação ionizante.
- As radiações ionizantes, *Raios-X e Raios- γ* , têm sua correlação com a **ENERGIA**, pela Equação:
 - $E = hv$ ♦ **Sendo:** $h = \text{Constante de Planck} = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
ou $4,135 \times 10^{-15} \text{ eV}$, $v = \text{Frequência da radiação ionizante}$



- UNIDADES DE DOSES DE RADIAÇÃO
- O comprimento de onda das radiações ionizantes (e também as não ionizantes) se relacionam com a **ENERGIA**, por meio da relação:
- $\lambda = \frac{1240 \times 10^{-6}}{E}$ ♦ Sendo: λ = Comprimento de onda em metros, e E = Energia, expressa em eV
- Define-se **DOSE** de radiação, "a medida recebida por pessoas ou organismos expostos a uma fonte de radiação ionizante".
- Em termos de **DOSES**, as medidas, atualmente adotadas (**SI**) são as apresentadas na Tabela III, mostrando unidades, valores correspondentes e unidades antigas substituídas pelas do Sistema SI de medidas.



Química Nuclear e Radioatividade

RADIAÇÃO IONIZANTE E SUA MONITORAÇÃO

85

- MEDIDAS DE DOSE DE RADIAÇÃO DOS SISTEMA "SI" E CORRELAÇÕES COM MEDIDAS ANTIGAS

UNIDADE DE DOSE ATUALMENTE ADOTADA	ANTIGA UNIDADE SUBSTITUIDA PELA ATUAL	DEFINIÇÃO DA UNIDADE ATUAL	CORRESPONDÊNCIA DE VALORES
GRAY (Gy)	RAD	UNIDADE DE MEDIDA DE DOSE ABSORVIDA PELA MATÉRIA, CORRESPONDENTE A 1,0 JOULE POR QUILOGRAMA DE MATÉRIA	1 Gy = 100 RAD
SIEVERT (Sy)	REM	UNIDADE DE MEDIDA DA DOSE RECEBIDA (DOSE EQUIVALENTE ³), LEVANDO-SE EM CONSIDERAÇÃO UM FATOR DE QUALIDADE, PODE-SE DIZER, DO TIPO DE RADIAÇÃO IONIZANTE.	1 Sv = 100 rem



- EFEITOS INDESEJÁVEIS E EFEITOS BENÉFICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE
- Sempre que se dedica ao tema "Radiações Ionizantes", "Energia Nuclear", "Efeitos da Radiação Ionizante", logo se tem em mente seus efeitos nocivos e agressivos, ligados às primeiras aplicações não pacíficas. Ao longo dos anos, sempre se conviveu, com um consenso de que a "*energia nuclear faz mal*". Segundo **NOAH CHOMSKI** um "*consenso fabricado*" (pelos grandes jornais, redes de rádio e TV), de que *a radiação é nociva. Agride o ambiente, causa danos ao ser humano, animais e plantas, devendo ser controlada.* É um fato que vem sendo relatado desde o final da Segunda Guerra Mundial, passando por testes e acidentes nucleares como o de Chernobyl .
- Ainda segundo **CHOMSKI**, nas sociedades democráticas, mesmo o cidadão mais intelectualizado não estaria mais pensando segundo suas próprias cabeças, mas pelas que decidem se um certo fato deve ser conhecido ou não, ou da importância que a mídia "*sugere*" a um dado tema pelo *peso de título*, pelo *espaço destinado a uma determinada matéria.*



- EFEITOS INDESEJÁVEIS E EFEITOS BENÉFICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE
- Em recente Editorial do periódico "BRASIL NUCLEAR", apresentado por DANTAS e DANTAS, foi comentado o fato existirem muitas evidências confirmando a proposição de *CHOMSKI* na área de aplicações nucleares e de radiações ionizantes. Citam um trabalho de 1988 (*KEPPLINGER*, H.M. "The nuclear energy in the mass media or the rhetoric anxiety"), mostrando que existe uma correlação entre o *humor positivo*, ou *negativo*, da opinião pública, diante da energia nuclear e o tratamento *favorável*, ou *desfavorável*, dado pelos meios de comunicação à tecnologia nuclear.
- Por este motivo, segundo *DANTAS* e *DANTAS*, no editorial sobre o tema, publicado em 1997, o assunto "*Energia Nuclear*" é, também, uma espécie de *paradigma científico*, tacitamente estabelecido como consenso, sobre os efeitos da energia nuclear.



- EFEITOS INDESEJÁVEIS E EFEITOS BENÉFICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE
- Com base nos estudos datados de mais de 50 anos, concordou-se, sem maiores exames, que os efeitos da *pequenas doses* de radiação podem ser linearmente extrapolados com base na observação dos efeitos nocivos (amplamente conhecidos) *de grandes doses*. *Se grandes doses fazem mal, causam sérios problemas, as doses pequenas não teriam que produzir efeitos diferentes.*
- Assim, o **ICRF** (*Comissão Internacional de Proteção Radiológica*), entidade que estabelece padrões internacionais de segurança para instalações nucleares ou radioativas), admitiu, acriticamente, em 1946, como norma, que a dose mínima de exposição radioativa, suportável pelo corpo humano, sem riscos à saúde, seria de 15,6 REMS (0,156 Sv) por ano, número que baixou para 5,0 REMS (0,050 Sv) por ano em 1956 e em 1970, o **ICRF** radicalizou o "*Princípio ALARA*" ("As Low As Reasonably Achievable"), estabelecendo que *a dose de radiação admissível deve ser "a mais baixa possível"*.



- EFEITOS INDESEJÁVEIS E EFEITOS BENÉFICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE
- Criou-se, assim, um clima desfavorável em relação às Ciências Nucleares, com centenas de milhares de dólares sendo gastos na tentativa de reduzir, ao máximo e, se possível, anular a radiação eventualmente emitida de instalações nucleares .
- *GIULANE*, em artigo recente (junho de 1997), citou *PARACELSO*, que no *século XVIII* considerava que, o que faz o veneno não é a substância, mas a dose. Sabe-se, hoje, que a *estricnina*, em altas doses, é um veneno letal, mas em doses menores é estimulante e, em menores doses ainda, é calmante. A mesma autora cita também o trabalho de *HAHMEMAN*, no início do século XIX, que com base nesta idéia, desenvolveu a *Homeopatia*, largamente aceita e praticada mundialmente (em que a *estricnina* é um dos mais conhecidos medicamentos homeopáticos).



- EFEITOS INDESEJÁVEIS E EFEITOS BENÉFICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE
- Discussões recentes, realizadas pela *American Nuclear Society*, em *Washington* (EUA), enfatizaram o trabalho de *LUCKEY*, que em 1980 apresentou uma monografia citando *mais de 1200 trabalhos* de diversos pesquisadores sobre os *efeitos benéficos da radiação*, quando em *pequenas doses*.
- Surgiu o conceito de *HORMESE DAS RADIAÇÕES*, palavra originado do verbo *HORMEN*, do *Grego*, significando *estimular, excitar*. Os efeitos horméticos são comuns para outros agentes biológicos, físicos e químicos, tais como o frio, o calor, a luz, a eletricidade, e o eletromagnetismo, que podem ser aplicados em pequenas doses, com o objetivo de estimular uma variedade de parâmetros fisiológicos em plantas, micro organismos e animais.



- EFEITOS INDESEJÁVEIS E EFEITOS BENÉFICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE
- Aponta-se assim a possibilidade de um tipo de aplicação da radiação, **em pequenas doses**, no que se designa **HOMEOPATIA NUCLEAR**, segundo *GIULANE*, tema pesquisado mundialmente (Japão, Inglaterra, EUA, Canadá, Brasil, entre outros).
- Segundo alguns autores, "*Se soubéssemos em 1960, o que se sabe hoje sobre os efeitos de baixas doses no corpo do homem, os benefícios da radiação estariam amplamente disponíveis e as pessoas teriam uma outra visão da Energia Nuclear..(POLLYCIVE, M., Professor emérito de Medicina Nuclear da Universidade de Califórnia). Os efeitos benéficos incluem melhora metabólica, aumento da resistência imunológica, prevenção de doenças cardíacas, aumento da vida útil (longevidade com qualidade de vida), entre outros efeitos.*



- EFEITOS INDESEJÁVEIS E EFEITOS BENÉFICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE
- Hoje, há controvérsias, mas seguramente, se desenvolveu uma espécie de **RADIOFOBIA**, pois a terra há 4 bilhões de anos era cerca de dez vezes mais radioativa do que é agora. E foi neste ambiente que a vida se proliferou.
- Há uma questão fundamental sobre o tema: "Sem a Radiofobia, o que seria do Greenpeace?". (GERVÁSIO, 1997). Seguramente, o conhecimento da curva de **hormese das radiações**, embora ainda não reconhecida por organismos oficiais, indicam uma tendência.
- Sob quaisquer condições, o **controle das radiações e sua monitoração**, é um tema bastante significativo, cientificamente. Isto é válido para as radiações eletromagnéticas (X e γ) e, principalmente, para Radiações UV, também conhecidas pelos seus efeitos sobre animais, seres humanos, plantas e sobre o ambiente de modo em geral.



• EFEITOS INDESEJÁVEIS E EFEITOS BENÉFICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE

- Apesar de tudo, existe a tal **RADIOFOBIA**, e não sem motivos. Os três tipos de radiação - α , β , γ e UV (consideradas ionizantes) - causam processos disruptivos em células vivas normais e o potencial de destruição e seres humanos e animais é bastante conhecido.
- Os efeitos biológicos da radiação foram muito bem documentados após a explosão das bombas de Hiroshima e Nagasaki, no Japão, em 1945, um pouco antes do término da II grande guerra. .
- Daí ser extremamente importante o controle das radiações e sua monitoração, o que é válido para as radiações eletromagnéticas (X e γ) e, principalmente, para Radiações UV, também conhecidas pelos seus efeitos sobre animais, seres humanos, plantas e sobre o ambiente de modo em geral. Deve-se enfatizar que as diferenças entre os tipos de radiação são significativas e, também, que os efeitos biológicos de cada tipo de radiação são diferentes. Daí a existência de um parâmetro designado de "fator de qualidade".



- EFEITOS INDESEJÁVEIS E EFEITOS BENÉFICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE
- O **Fator de Qualidade** das radiações são considerados em função dos efeitos sobre tecidos vivos: $\alpha = 20$, $\beta = 1,0$, $\gamma = 1,0$, Neutros = 5,0 e prótons = 5,0. Raios - uv e Raios- χ (também, considerados ionizantes) - causam processos menos disruptivos em células vivas normais e apresentam potencial de danos a seres humanos e animais mas, devem ser monitorados pelos efeitos cumulativos. O ser humano se expõe a uma dose anual de 200 mREM/ano de radiação cósmica (radiação de fundo). O fator de Qualidade x Dose (em Gray) dá o Syevert (unidade de dose absorvida)
- Se for considerado a dose em RAD (Unidade de Dose Absorvida), 450 RAD é fatal para metade da população mundial.
- Quando se trata de Radiação χ , a unidade de dose é o RÖNTGEN, ou seja, 1 R é a unidade de radiação em que se mede a dose exposta e se baseia na quantidade de ionização produzida no ar por Raios- χ e Raios- γ . Uma chapa de Raios- χ provoca um efeito equivalente a 0,1

- EFEITOS INDESEJÁVEIS E EFEITOS BENÉFICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE
- Os seres humanos estão constantemente expostos à **Radiação de Fundo** (Ver Tabela na Página Seguinte). Todos os tipos de partículas estão presentes nessa radiação de fundo e cerca de 50 % do total provém da radiação cósmica incidente sobre a terra e de elementos naturalmente radioativos presentes na terra e no ar.
- A radiação cósmica é emitida pelo sol e pelas outras estrelas, sendo responsável por cerca 40 % da radiação de fundo.
- As outras radiações provém do isótopo ^{40}K , e isso se deve ao elemento potássio (que está presente em cerca de 0,3 g/kg de solo) que é essencial à vida na terra e no total, sempre há um pouco do isótopo radioativo de potássio.
- Também, outros elementos radioativos podem ser encontrados em abundância relativamente grande, como o ^{232}Th , que é encontrado na extensão de 12 g /1000 kg de solo. O ThO_2 é empregado em lâmpadas. Também, os radioisótopos ^{238}U e ^{226}Ra têm abundância relativa grande.



Química Nuclear e Radioatividade

RADIAÇÃO IONIZANTE E SUA MONITORAÇÃO

96

- EXPOSIÇÕES RADIOATIVAS ANUAIS A FONTES NATURAIS E ARTIFICIAIS

TIPO DE FONTE	MILIREMS /ANO	PORCENTAGEM
FONTES NATURAIS		
Radiação Cósmica	50,0	25,8
A Terra	47,0	24,2
Materiais de Construção	3,0	1,2
Inaladas do Ar	5,0	2,6
Elementos encontrados naturalmente em tecidos humanos	21,0	10,8
Sub Total	126,0	64,9
FONTES MÉDICAS		
Diagnóstico (Raios- γ)	50,0	25,8
Radioterapia (Raios- γ)	10,0	25,8
Diagnóstico Interno	1,0	25,8
Sub Total	50,0	25,8
Total Parcial	176,0	90,7

Química Nuclear e Radioatividade

RADIAÇÃO IONIZANTE E SUA MONITORAÇÃO

97

- EXPOSIÇÕES RADIOATIVAS ANUAIS A FONTES NATURAIS E ARTIFICIAIS

TIPO DE FONTE	MILIREMS /ANO	PORCENTAGEM
Sub Total (transportado)	176,0	90,7
OUTRAS FONTES ARTIFICIAIS		
Usinas Nucleares	0,85	0,4
Comandos Luminosos Tubos de TV Lixo Radioativo	2,0	1,0
Chuva Radioativa	4,0	24,2
Sub Total	6,9	3,5
TOTAL	193,9	99,9

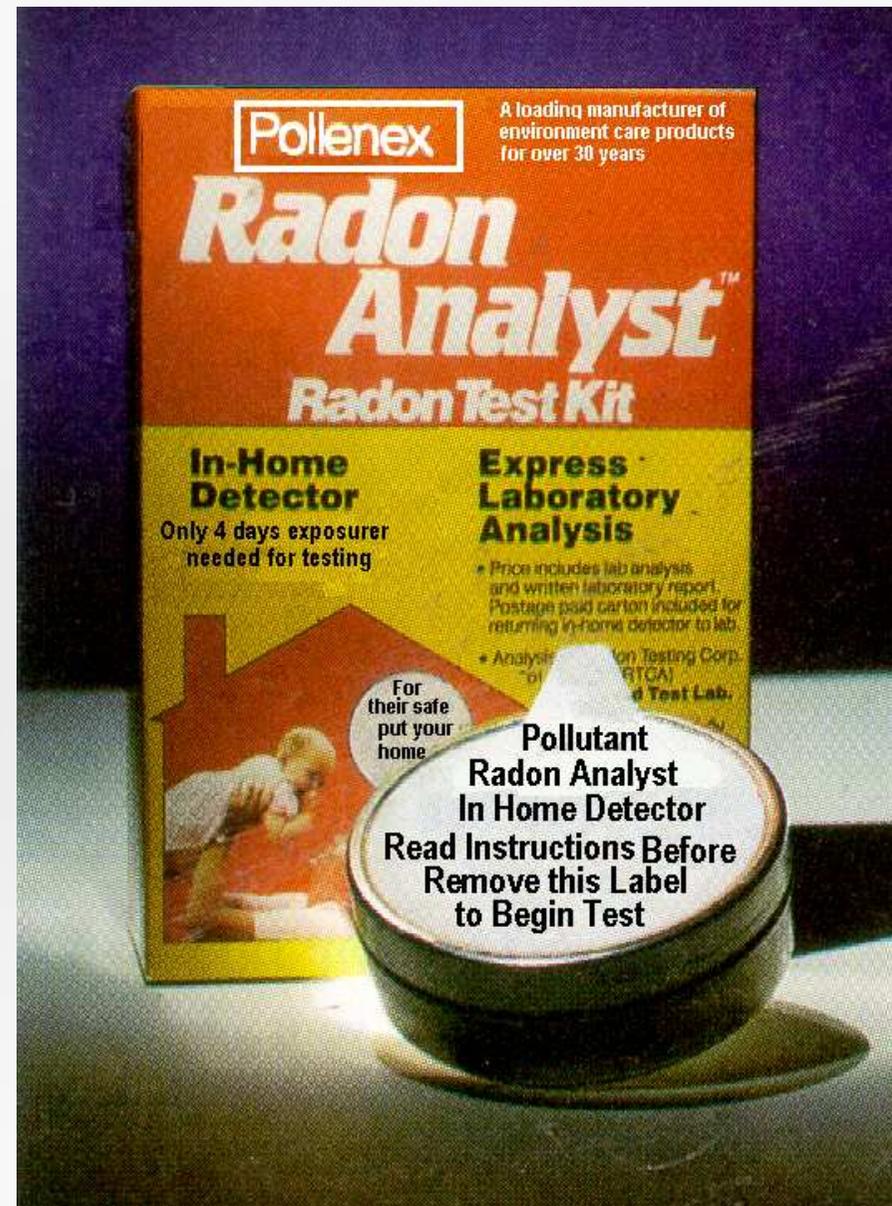
95



- EFEITOS INDESEJÁVEIS E EFEITOS BENÉFICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE
- Cerca de 17 % da **Radiação de Fundo** (**Ver Tabela na Página Anterior**) vem de procedimentos empregados na Medicina Nuclear e nos diagnósticos de Raios- γ .
- Finalmente, os outros 17 % provém de fontes radioativas, tais como de testes de explosões nucleares na atmosfera, Raios - γ da indústria, televisão, plantas nucleares de energia e seus rejeitos radioativos perigosos, manufatura de bombas nucleares e processamento de combustíveis nucleares (enriquecimento de isótopos físséis).
- EFEITOS INDESEJÁVEIS DO RADÔNIO
- O radônio é um gás quimicamente inerte. Faz parte do Grupo dos Gases Nobres e o maior problema desse gás é que é radioativo. A Figura na página seguinte mostra um kit industrial para análise desse gás na atmosfera.



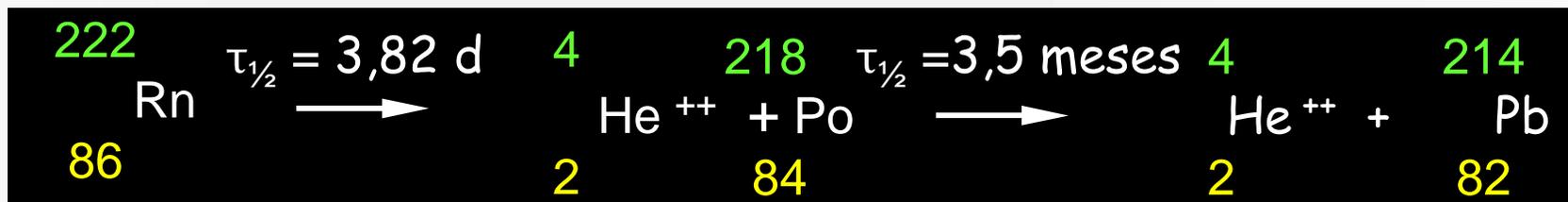
- EFEITOS INDESEJÁVEIS DO RADÔNIO
- O isótopo ^{222}Rn é parte da cadeia de eventos que se inicia com o decaimento radioativo do ^{238}U (outros isótopos do radônio são produtos de outras séries radioativas). Em fevereiro de 1989, a revista Chemical and Engineering News (HANSON, J., 6, p. 7) publicou um artigo apontando o radônio como um elemento de progressão obscura como parte da causa de ansiedade em poluição do ar em ambientes internos de edifícios.



(Figura 15)



- EFEITOS INDESEJÁVEIS E EFEITOS BENÉFICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE
- O radônio **ocorre naturalmente no ambiente** (Ver Tabela na Página 18, séries radioativas) pois vem de depósito de urânio natural e, provavelmente, é responsável pelo menos da metade da radiação de fundo normal da terra.
- É um gás radioativo inerte que tem meia vida de 3,82 dias. Por ser inerte não se fixa no solo, nem nas plantas e nas águas (pois não reage e não participa de nenhum processo vital), ficando livre e se desprender das minas, atravessando as paredes das casas (por difusão em tijolos que são porosos) e buracos nos telhados, pisos e paredes.
- O ^{222}Rn decai gerando o isótopo ^{218}Po , de acordo com as reações nucleares:

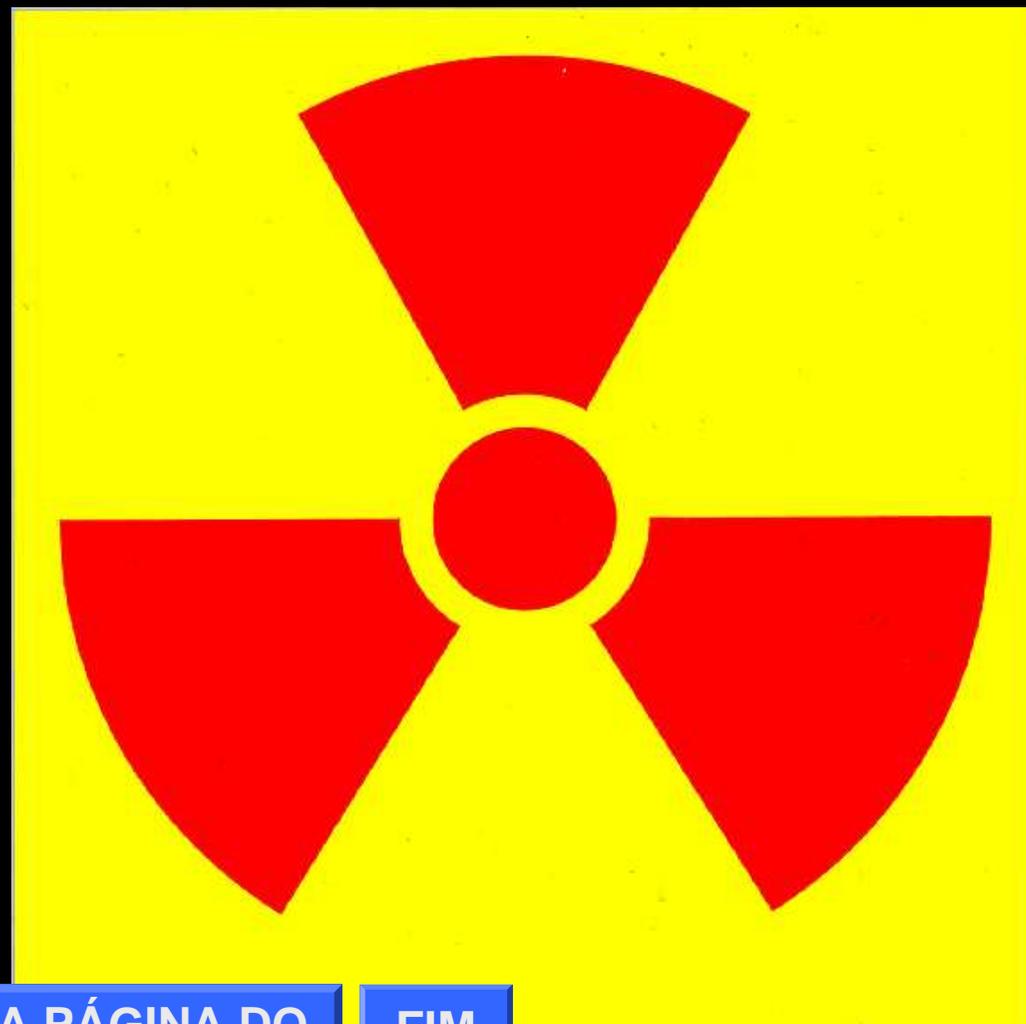
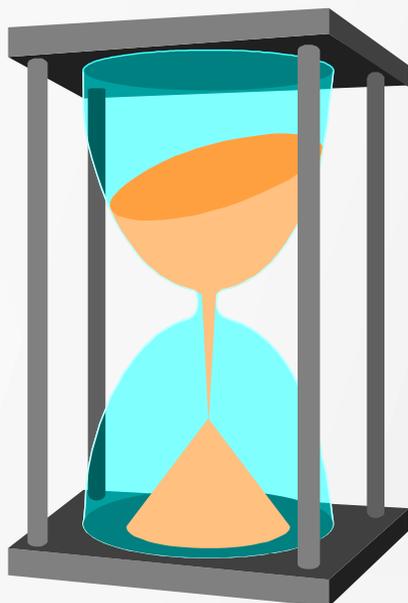


- EFEITOS INDESEJÁVEIS E EFEITOS BENÉFICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE
- O polônio **pode se alojar no interior do corpo humano** (onde ele **decai para o ^{214}Pb**) que é também um isótopo radioativo. O efeito de uma partícula α no organismo (apesar de ser facilmente blindada por células epiteliais) é danoso e o impacto ao longo do tempo pode provocar o aparecimento de câncer.
- Em países desenvolvidos, todas as casas têm algum nível de gás radônio. As Agências de Proteção Ambiental consideram o nível de , ação do radônio o padrão de 4 pCi/L de ar. Porém, o nível em algumas residências pode ser em média de 8 pCi/L.
- Se o ^{222}Rn estiver com altas taxas, é sinal de que o piso está rachado e deve ser selado corretamente para evitar a entrada de gás. Mas, para um nível de atividade baixo, como de 1,5 pCi/L, os riscos são tão pequenos como o de sofrer um acidente fatal doméstico.



APLICAÇÕES DA RADIOATIVIDADE

IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS, TAÇADORES RADIOATIVOS E USO DE RADIOISÓTOPOS NA MEDICINA NUCLEAR



PARA PÁGINA DO
CONTEÚDO

FIM



- IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS
- Embora a radiação possa ser perigosa se **não controlada**, pode ser benéfica se for corretamente empregada. Por exemplo, em certas partes do mundo existem certas pragas e doenças que podem destruir alimentos estocados e as perdas podem chegar a proporções de até 50 %. Deve-se considerar a importância de acabar com essas pragas e doenças empregando irradiação com Raios - γ de fontes radioativas de ^{60}Co e ^{137}Cs .
- /// Embalagens (conservas em latas e do tipo longa-vida) refrigeração e aditivos podem minimizar as perdas, porém com custos elevados. A irradiação com Raios - γ protege os alimentos de alterações posteriores como a pasteurização faz com o leite. A vida média do frango refrigerado (que é de três dias em condições normais de estocagem), aumenta para três semanas.
- A irradiação de alimentos é um processo de "pasteurização com radiação empregado na Europa e nos EUA com êxito. A legislação, em todos os países do mundo, é específica.

PARA PÁGINA DO
CONTEÚDO

FIM



• IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

- A Agência FDA (dos EUA), por exemplo, permite irradiações até **acima de 100 kRADS** na pasteurização de alimentos com fontes Raios - γ de ^{60}Co e ^{137}Cs .
- /// Radiações com níveis pequenos de 1 - 5 **mRAD** já esteriliza bastante (já é suficiente para aniquilar a maior parte dos organismos vivos). Alimentos irradiados podem se tornar indefinidamente livres de pragas (**insetos**) e doenças (**fungos, bactérias, vírus**) se forem devidamente embalados sob vácuo em embalagens plásticas especiais ou com embalagens de alumínio do tipo longa-vida. Assim, alimentos esterilizados tais como bifés de carne bovina, peru, frango, bem como: alimentos de cereais (arroz, soja, milho, ervilha, entre outros).
- Alimentos irradiados podem ser usados em ônibus espaciais, estações espaciais e os astronautas afirmaram que "a **coisa mais bonita é que não atrapalha o sabor o que torna esses alimentos muito melhores do que aqueles liofilizados (secos por ação do frio) e/ou conservados de outro modo que perdem o sabor e a beleza**".



• IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

- A pesquisa recente aponta para um fato marcante: **na produção de alimentos é comum o uso de agentes fumigantes (produtos químicos tóxicos)** na conservação de alimentos estocados pós-colheita. Nesses casos, a irradiação com fontes Raios - γ de ^{60}Co e ^{137}Cs pode ser um método efetivamente **substitutivo** com vantagens de não deixar resíduos químicos da fumigação.
- /// O resultado da colheita pode ser trabalhado, embalado e irradiado em máquinas especiais que fazem a esterilização de grandes containers de navios com grande segurança para o trabalhador que, assim, não entra em contato com resíduos ou produtos químicos perigosos e tóxicos.



- IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS



(Figura 16)

- O resultado é que a esterilização em grande escala conserva o alimento e protege o ambiente evitando fontes de contaminação de águas naturais e da atmosfera.



- **TRAÇADORES RADIOATIVOS**
- Embora o comportamento nuclear seja diferente (emitindo radiação) freqüentemente, **o comportamento químico dos radioisótopos é o mesmo dos isótopos não radioativos**. Assim, os cientistas têm à sua disposição uma ferramenta extremamente importante: **os radio-traçadores** ou "isótopos marcados" para investigação de mecanismos de reações químicas e/ou biológicas. Com isso, tanto os químicos como o agrônomos e biólogos têm como desvendar os processos complexos que ocorrem em reatores ou na natureza.
- /// Na técnica de traçadores radioativos, os elementos escolhidos como "marcadores" são preparados em reatores de pesquisa, empregando reações n, γ . O traçador é misturado ao elemento de interesse (geralmente designado de "carreador"). A mistura é adicionada ao reator ou injetada no ser vivo (planta ou animal). Após a reação química e/ou bioquímica, o pesquisador coleta amostras de tecidos ou fluídos e mede a quantidade de radioisótopos presentes em várias partes da mistura reacional ou das várias partes do organismo. Ver Tabela a seguir dos principais radio-traçadores empregados.



Química Nuclear e Radioatividade

APLICAÇÕES DA RADIOATIVIDADE

108

- RADIOISÓTOPOS EMPREGADOS COMO TRAÇADORES RADIOATIVOS

TIPO DE ISÓTOPO	MEIA - VIDA	USO COMO RADIOTRACADOR
${}^{14}_6\text{C}$	5.730 anos	CO ₂ em pesquisa sobre fotossíntese
${}^3_1\text{H}$	12,26 ano	Marcação de Hidrocarbonetos
${}^{35}_{16}\text{S}$	87,9 dias	Marcação de Pesticidas e Fluxo de Ar
${}^{32}_{15}\text{P}$	14,3 dias	Absorção de fósforo pelas plantas

- Por exemplo, as plantas aproveitam o fósforo do solo, **absorvendo ativamente o conteúdo de frações solúveis ou não solúveis pela raiz**. Com o uso do radioisótopo ${}^{32}\text{P}$: **que é um β^- emissor** ou isótopo marcado β^- .



● TRAÇADORES RADIOATIVOS

- O traçador ^{32}P serve não só para medir o conteúdo de fósforo transferido do solo para planta, mas, também, para investigação de mecanismos (cinética ou velocidade) de reações químicas e/ou biológicas de absorção desse elemento. Biólogos, químicos e agrônomos podem usar o critério de absorver fósforo mais rapidamente para selecionar híbridos ou variedades geneticamente modificadas com melhor desempenho agrônômico.
- /// Esta propriedade é importante pois a habilidade de absorver fósforo mais rapidamente está ligada à maior velocidade de maturação de frutos, legumes, sementes de oleaginosas e cereais, maior rendimento no cultivo o que significa maior quantidade de alimentos e fibras com menor custo na produção.
- Também, os radioisótopos são usados na pesquisa e desenvolvimento de novos biocidas agrícolas. Empregam-se traçadores de meia-vida curta. Assim, avalia-se a tendência de acumulação no solo e na águas naturais da superfície (*run-off*) com elevado grau de exatidão e precisão, sem riscos ambientais devido à desintegração rápida dos traçadores de meia-vida curta empregados que servem bem para a procura de biocidas mais efetivos e de melhor desempenho no campo.



- USO DE RADIOISÓTOPOS NA MEDICINA
- Os radioisótopos podem ser usados **NA MEDICINA NUCLEAR** em duas aplicações: **Diagnóstico** e **Terapia**. No diagnóstico de tumores e outras desordens internas, os especialistas (físicos nucleares ou médicos) precisam obter informações exatas da localização dos tumores ou outras anomalias. Isto se consegue por meio de **imagens**, em que o procedimento é empregar o radioisótopo (puro ou em combinação com outros componentes químicos) que se acumula nas regiões afetadas e pela emissão da radiação de desintegração radioativa e com a detecção apropriada, constrói-se a imagem física delimitando o local da desordem.
- /// Os equipamentos mais modernos não apenas detectam melhor o espaço ocupado por um tumor, por exemplo, mas constrói sua imagem a partir do sinal da radiação local no exato ponto em que o radioisótopo se concentra.
- Quatro dos radioisótopos mais comuns estão listados na Tabela da Tela seguinte, mostrando para que servem e como são empregados. Cada um desses radioisótopos são emissores de Radiação γ e, todos são preparados em aceleradores de partículas ou reatores de pesquisa.



- USO DE RADIOISÓTOPOS NA MEDICINA

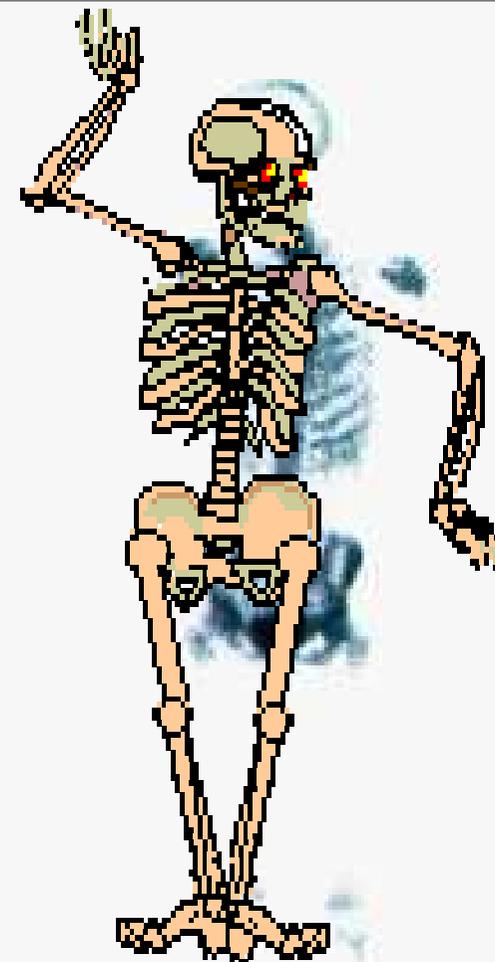
ISÓTOPO	DESIGNAÇÃO	MEIA - VIDA (em horas)	USO COMO RADIOTRAÇADOR
$^{99m}_{43}\text{Tc}^*$	Tecnécio – 99 m	6	Tireóide, Rins e Cérebro
$^{201}_{73}\text{Tl}$	Tálio – 201	74	Para o Coração
$^{67}_{31}\text{Ga}$	Gálio – 67	77,9	Vários Tumores e Abscessos
$^{123}_{53}\text{I}$	Iodo - 123	13,3	Para a Tireóide

* O tecnécio 90m é uma forma meta-estável e é um dos radioisótopos mais empregados na Medicina Nuclear para diagnósticos.



- USO DE RADIOISÓTOPOS NA MEDICINA

- Esses radioisótopos, em menores doses, são bem menos perigosos aos tecidos quando comparados com emissores de partículas β (β^+ ou β^-). Quando aplicados juntamente com carreadores especiais, esses radioisótopos podem se acumular em áreas específicas do corpo humano. Assim, todos esses radioisótopos, como por exemplo o pirofosfato (íon $P_2O_7^{4-}$) pode se ligar ao ^{99m}Tc e juntos, acumulam-se nos ossos (estrutura esquelética toda do corpo humano) como mostra a Figura ao lado.

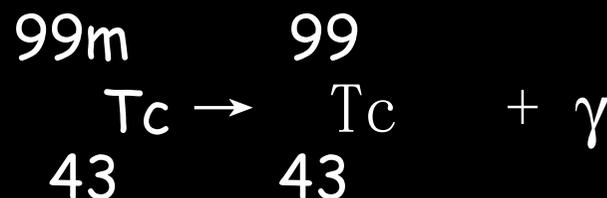


(Figura 16)

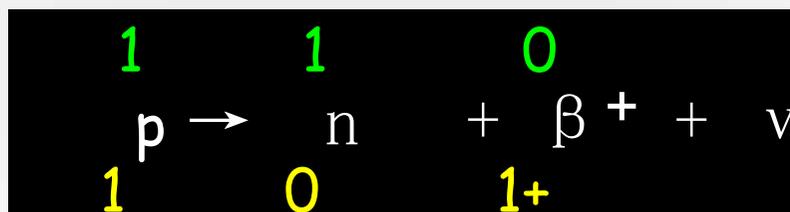


- USO DE RADIOISÓTOPOS NA MEDICINA

- O radioisótopo ^{99m}Tc é um **nuclídeo metaestável**, isto é, decai para uma forma mais estável do mesmo isótopo, o que se dá pela reação a seguir:



- /// A radiação γ emitida é **detectada**. A principal aplicação desse radioisótopo é na procura de tumores em tecidos ósseos.
- quando um desses radioisótopos decai **um próton se transforma em um nêutron de acordo com a reação:**



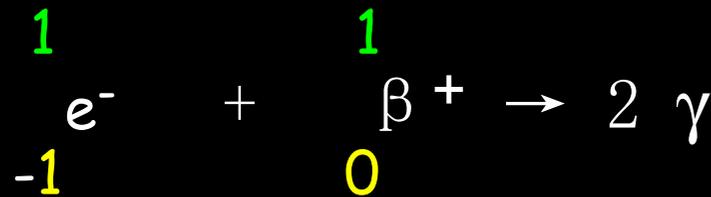
Neutrino
(partícula neutra
de matéria)
ejetada junto com
a anti-matéria β^+

...em que conjuntamente com o pósitron é formado um neutrino.

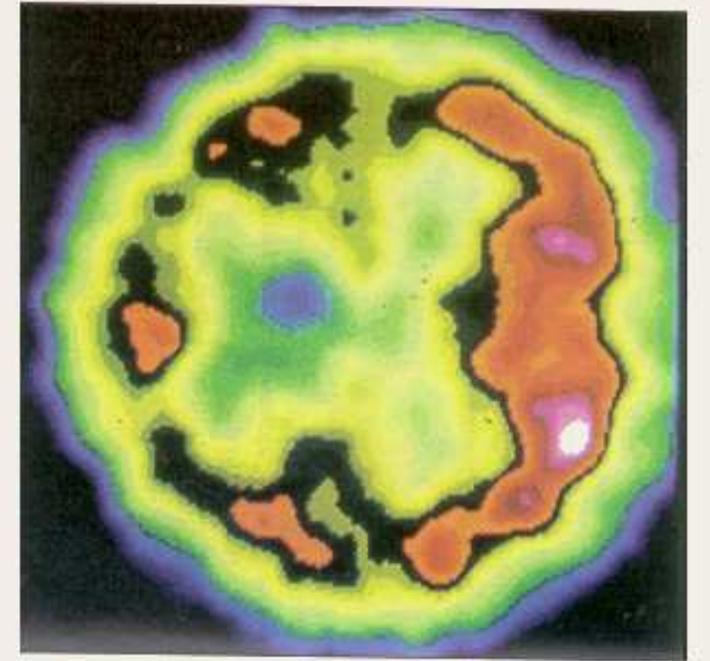


APLICAÇÕES DA RADIOATIVIDADE

- USO DE RADIOISÓTOPOS NA MEDICINA
- O neutrino é uma partícula especial, a matéria é totalmente transparente a ele e escapa sem ser detectado, mas, o pósitron viaja cerca de 2,0 mm até se encontrar com um elétron da matéria e ser aniquilado, de acordo com a reação:



- O evento de aniquilação produz dois Raios- γ em direções opostas, sendo detectado por dois cintiladores (cristais de Ge-Li) localizados e separados por um ângulo de 180° , na instrumentação PET. Forma-se uma imagem como mostra a Figura 17 a seguir.



Foi uma experiência muito interessante trabalhar com esta turma de alunos. Desejo muito êxito em tudo que fizerem e contem comigo.

Prof. Dr. Wagner Luiz Polito
–[politowl @ iqsc.usp.br](mailto:politowl@iqsc.usp.br) –

Telefone: 0xx16-33739973 – IQSC-USP

Telefone: 0xx16-33743896 – Residencial.



PARA PÁGINA DO
CONTEÚDO

FIM