

**BIJ0207-15**  
**Bases Conceituais da Energia**

Prof. Dr. José Antonio Souza

**Aula 10**

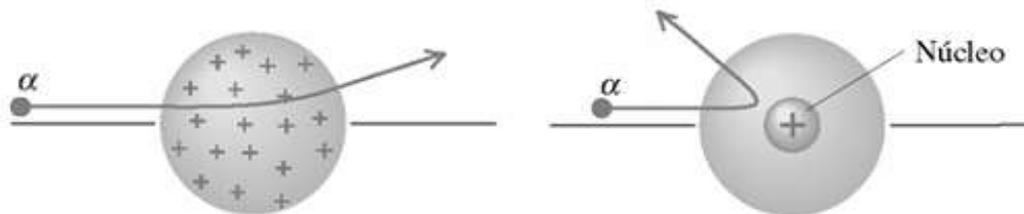
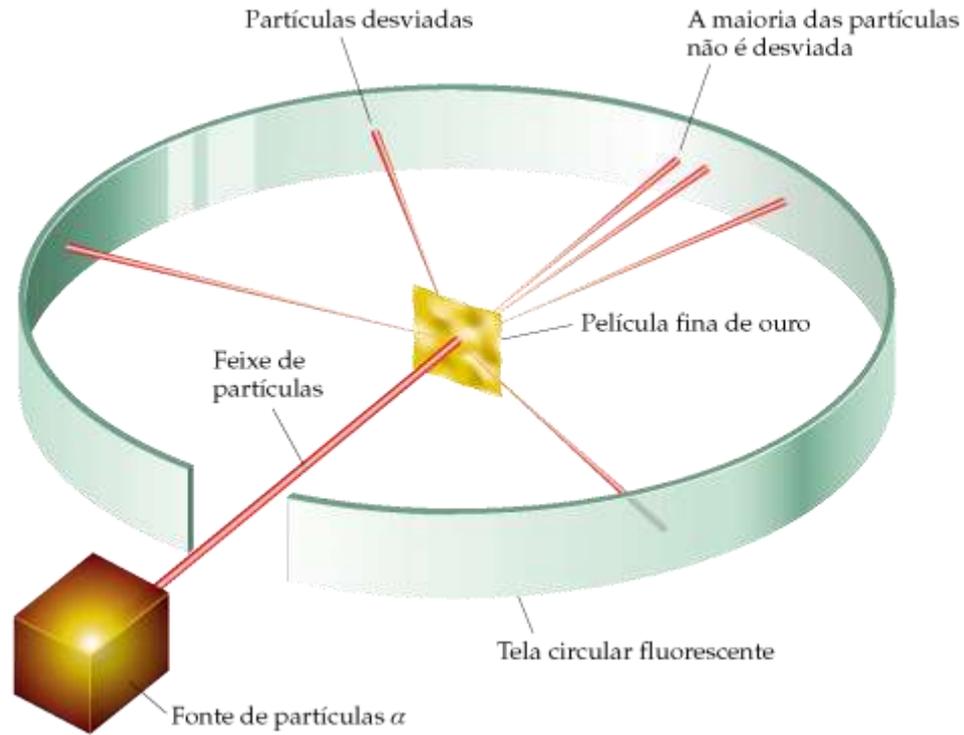


# Física da Energia Nuclear

## Descoberta da Radioatividade

- Becquerel, estudando fenômenos de fluorescência e raios-X
  - Observava fluorescência no Urânio quando exposto ao Sol. Becquerel protegia uma chapa fotográfica com papel preto e deixava sal de urânio exposto ao Sol em cima da chapa fotográfica. Era registrada uma imagem na chapa fotográfica, supostamente devido aos raios-X que penetravam no papel preto.
  - Descoberta por acaso: mesmo sem exposição à Luz do Sol ocorreu o fenômeno. Chamado de Raios urânicos.
- Principais características
  - São capazes de ionizar gases
  - São capazes de descarregar corpos carregados
  - São independentes do estado cristalino do Urânio
  - Produzem um efeito no filme que diminui com o aumento da distância entre a amostra e o filme
- Natureza espontânea da radiação era o que mais intrigava na época
- Madame Curie
  - Não apenas o Urânio mas também o Tório (Th) emitia o mesmo tipo de raios
  - Semelhantes aos raios-X embora com grande diferença no poder de penetração: não penetram mais do que poucos centímetros na matéria sólida
  - Descobriu outros elementos radiativos, como o rádio (daí o nome de radioatividade ao fenômeno)
- Teoria da transmutação
  - Átomos instáveis, uma fração fixa se desintegra espontaneamente por unidade de tempo
  - Radioatividade leva a uma ruptura do próprio átomo
  - Diferentes isótopos e descoberta do nêutron.

# Experimento de Rutherford (1911): Espalhamento de partículas $\alpha$

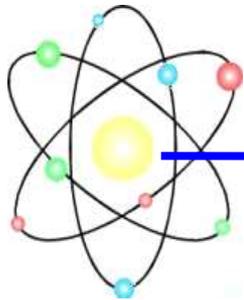


# A descoberta do Núcleo

- Espalhamento de partículas alpha
  - Thomson: espera-se ângulos muito pequenos de espalhamento. Em seu modelo as partículas alpha seriam espalhadas por elétrons.
  - Observou-se algumas partículas alpha com espalhamento para trás
  - Nas palavras de Rutherford: *[esse resultado] foi tão incrível como se você disparasse uma bala de canhão de 15 polegadas sobre uma folha de papel e ela voltasse e atingisse você.*

Átomo

Núcleo

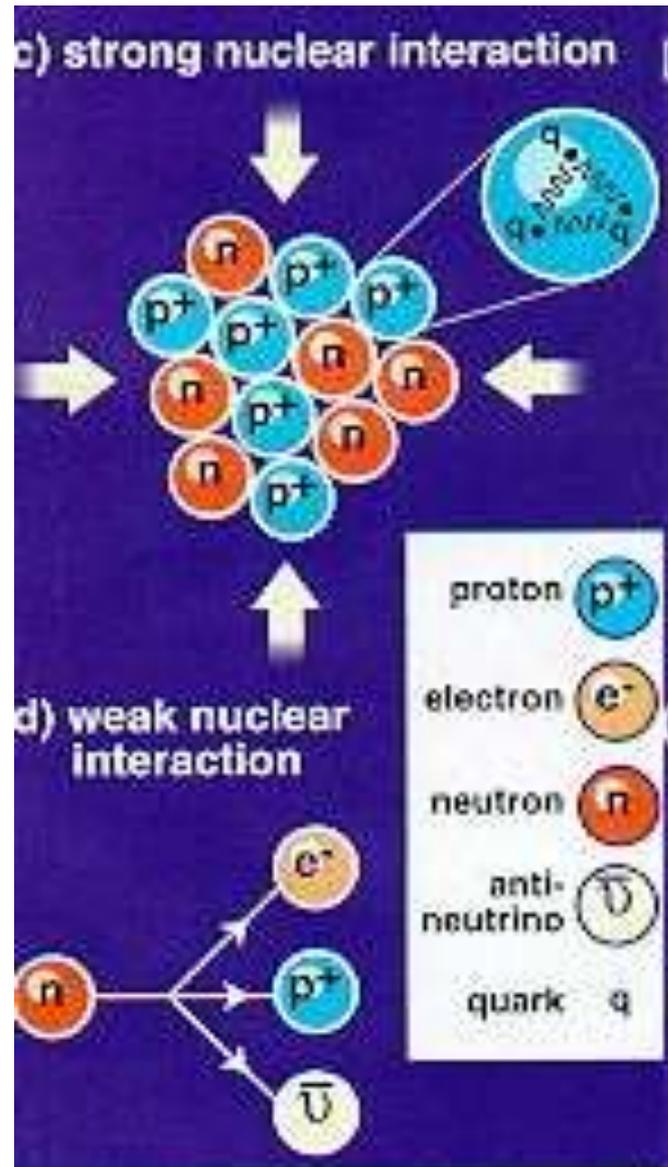
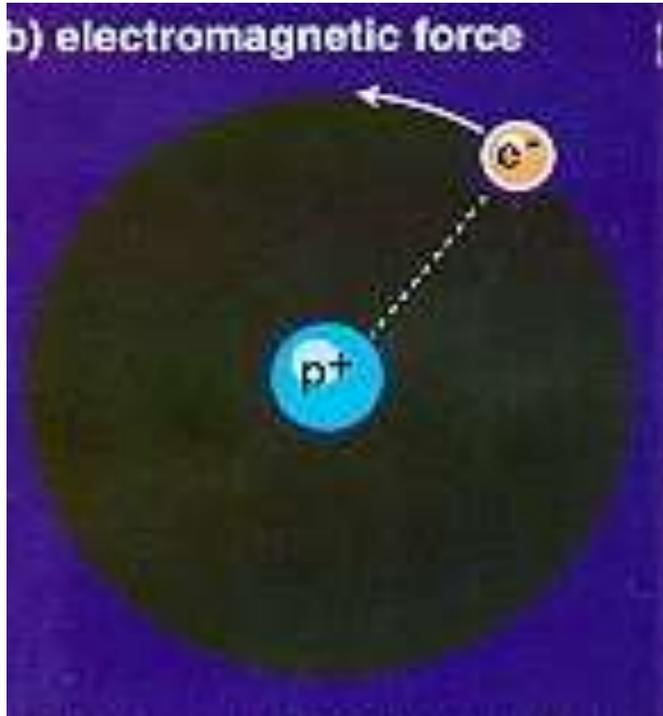
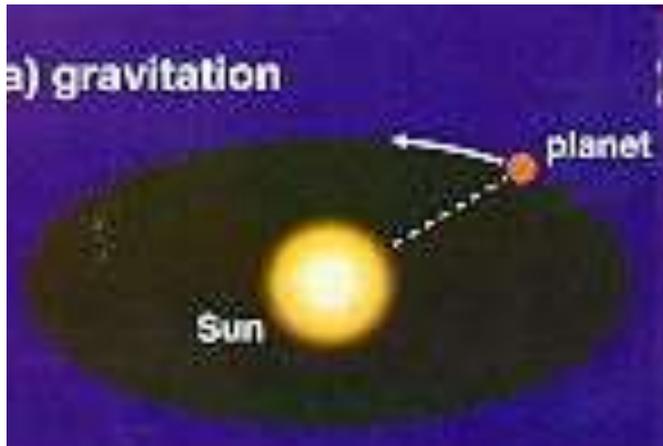


Prótons  
Nêutrons

- Um núcleo central com carga  $Ze$ .
- O núcleo atômico teria um raio da ordem de  $10^4$  vezes menor do que o raio atômico.



# Interações fundamentais: As quatro forças



# Física Nuclear

Desde o século XX, as aplicações da física nuclear vêm produzindo muitos efeitos para a humanidade.

Benéficos: Energia, radiodiagnóstico, radioterapia, etc

Catastróficos: Bomba nuclear

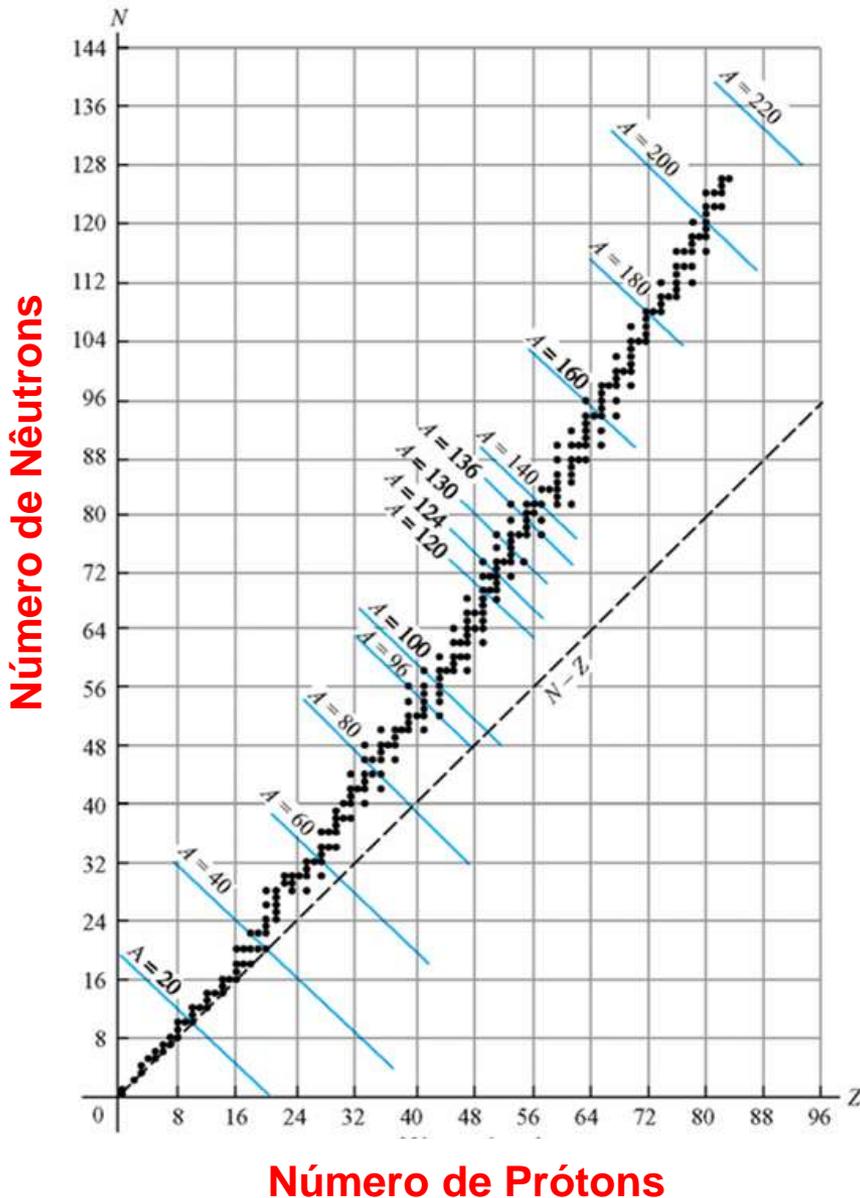
Estabilidade ou instabilidade nuclear é determinada pela competição entre a força de atração nuclear entre os prótons e os nêutrons e a força de repulsão elétrica entre os prótons.

Reações nucleares: os núcleos instáveis decaem, ou seja, se transformam espontaneamente em outras estruturas, outros núcleos.

A  **fusão**  e a  **fissão**  são dois tipos de reações nucleares de interesse especial. Se no Sol não ocorresse a reação nuclear de fissão/fusão com potencia total de  $4 \times 10^{26}$  W, nossa vida não seria possível.

# Estabilidade Nuclear e Radioatividade

## Núcleos estáveis



2500 nuclídeos conhecidos, apenas 300 são estáveis. Os outros sofrem decaimento (se transformando em outros nuclídeos) ao emitir partículas e ondas eletromagnéticas mediante um processo chamado **radioatividade**.

Gráfico de Segrè mostrando o número de nêutrons e o número de prótons para nuclídeos estáveis. Em um nuclídeo estável, o número de nêutrons é maior que o número de prótons e a diferença entre esses dois números aumenta com o número atômico  $Z$ .

*A razão  $N/Z$  cresce com  $A$ !!!*

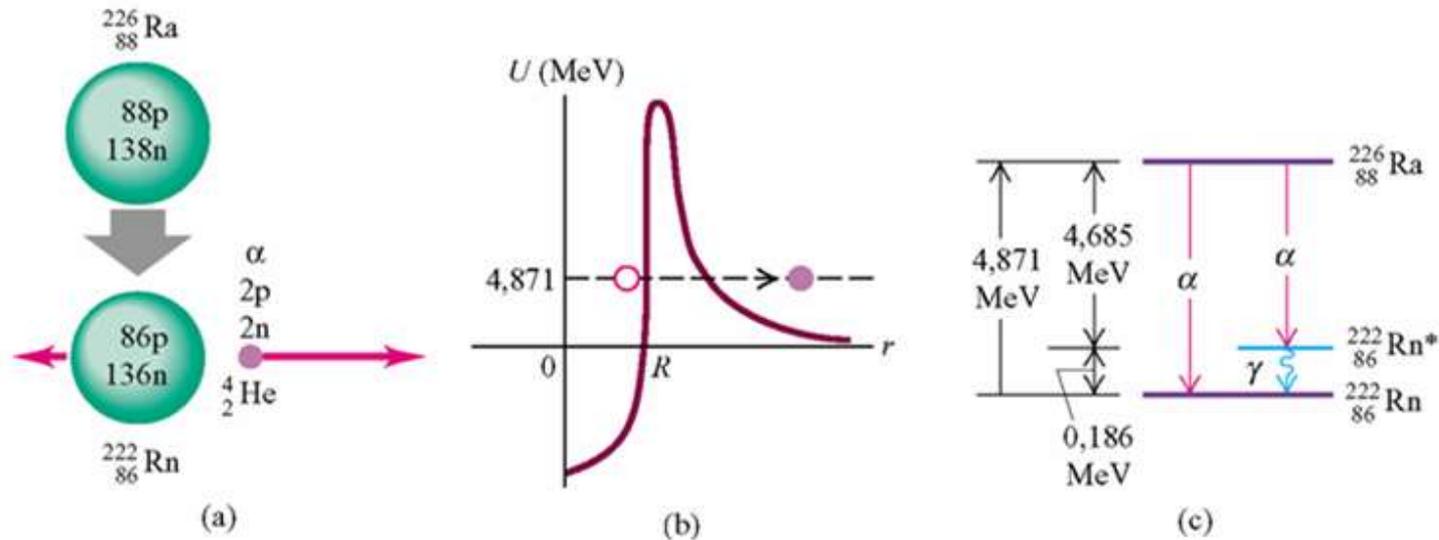
**Núcleos instáveis**

Emissão alfa, beta e gama!

# Decaimento Alfa $\alpha$

A emissão alfa ocorre em núcleos pesados demais para serem estáveis. Uma partícula alfa é um núcleo de  ${}^4\text{He}$  com dois prótons e dois nêutrons unidos.

Exemplo: Rádío  $\rightarrow$  Radônio



O nuclídeo  ${}_{88}^{226}\text{Ra}$  decai para  ${}_{86}^{222}\text{Rn}$ . (b) Curva da energia potencial para uma partícula alfa. A partícula tunela através da barreira de potencial. (c) diagramas dos níveis de energia para o sistema, mostrando o nível excitado  ${}_{86}^{222}\text{Rn}^*$  para uma energia 0,186 MeV acima do estado fundamental. O sistema pode decair para o nível fundamental  ${}_{86}^{222}\text{Rn}$  emitindo um fóton  $\gamma$  com energia igual a 0,186 MeV.

# Os raios beta e gama

**Raios alfa:** fortemente ionizantes e pouco penetrantes

**Raios beta:** fracamente ionizantes mas capazes de atravessar folhas metálicas finas: Uma partícula beta negativa é um elétron. A emissão de uma part. beta envolve a transformação de um nêutron em um próton juntamente com um elétron e uma partícula chamada neutrino. Pauli propõe o neutrino (carga nula e massa muito pequena) para garantir a conservação de energia.



**Raios gama**

A energia do núcleo é quantizada. Ele possui um estado fundamental e diversos estados excitados. Energia de excitação da ordem de 1 MeV em comparação com alguns eV para as energias dos níveis de energia atômicos. Quando o núcleo atinge o estado excitado, em decorrência de colisões com partículas de energia elevada, ele pode decair para o estado fundamental emitindo fótons de raios gama, ou simplesmente raios gama. Alto poder de penetração.

Tanto no decaimento alfa quanto no beta o valor de Z varia e o núcleo se transforma. No decaimento gama o elemento não se transforma!

Número de Nêutrons

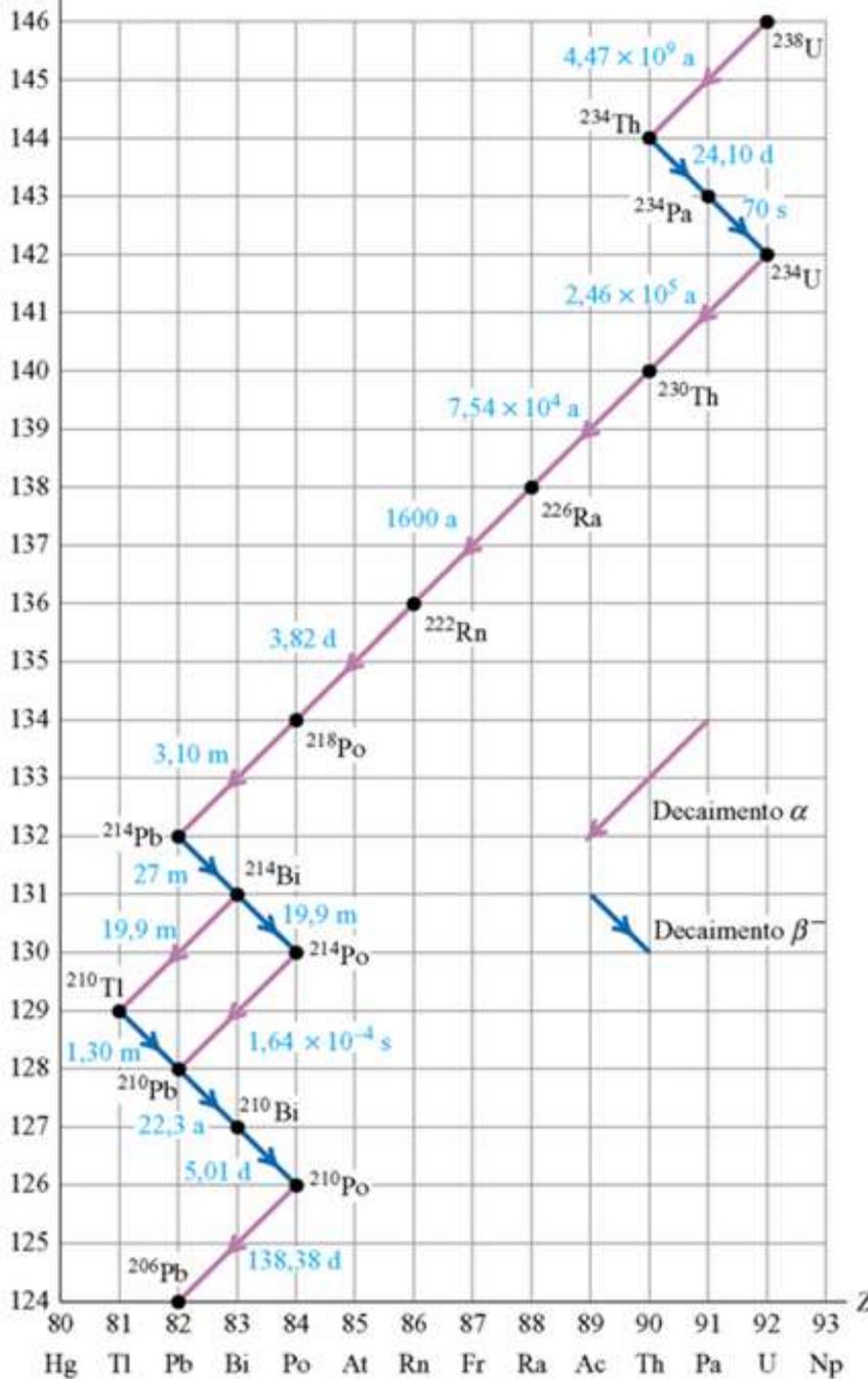


Gráfico de Segrè mostrando a série de decaimentos do  $^{238}\text{U}$ : o elemento estável final corresponde ao  $^{206}\text{Pb}$ . Os tempos são meias-vidas fornecidas em anos (a), dias (d), horas (h), minutos (m) ou segundos (s)

$^{238}\text{U}$  é o mais comum na natureza e tem vida média de 5 bilhões de anos.

Número de Prótons

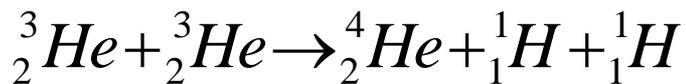
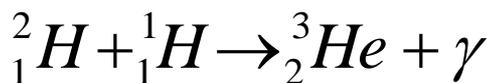
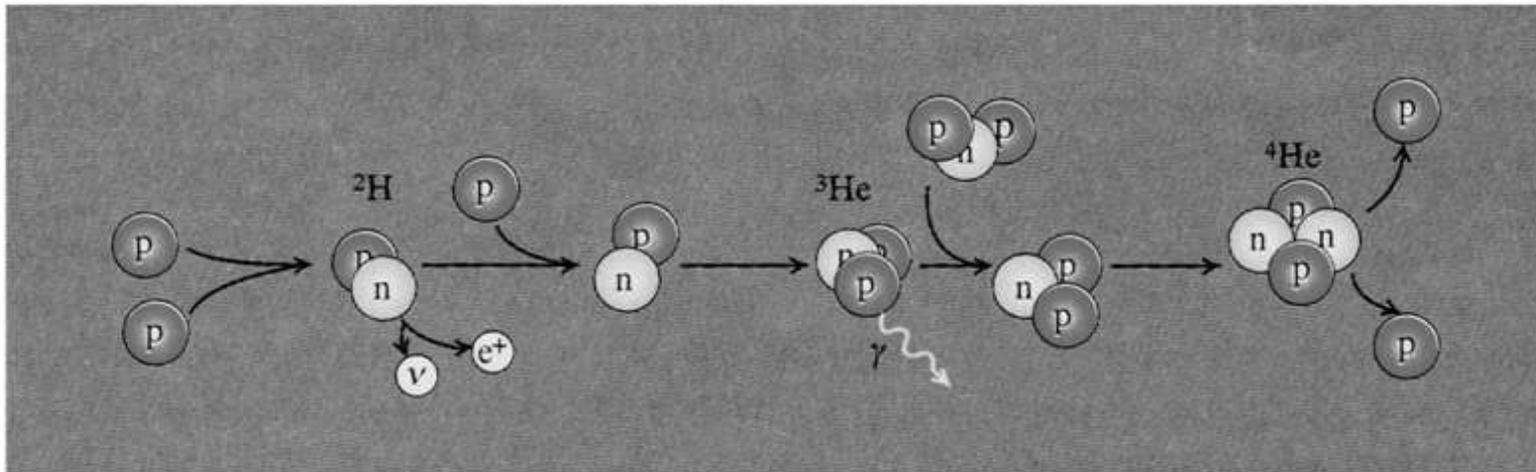
# Fusão nuclear



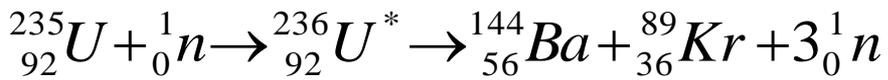
A energia liberada por uma estrela é oriunda de reações de fusão que ocorrem no interior da estrela. Desde o momento em que a estrela se forma e durante a maior parte de sua vida ela converte o hidrogênio de seu interior em hélio. À medida que a estrela envelhece, a temperatura de seu interior pode se tornar tão elevada que ocorrem reações de fusão adicionais que convertem o hélio em carbono, oxigênio e outros elementos.

# Fusão nuclear

Na fusão nuclear dois ou mais pequenos núcleos leves se aglutinam, ou se fundem, formando um núcleo maior. As reações de fusão liberam energia pela mesma razão das reações de fissão: a energia de ligação por núcleon depois da reação é maior do que antes.

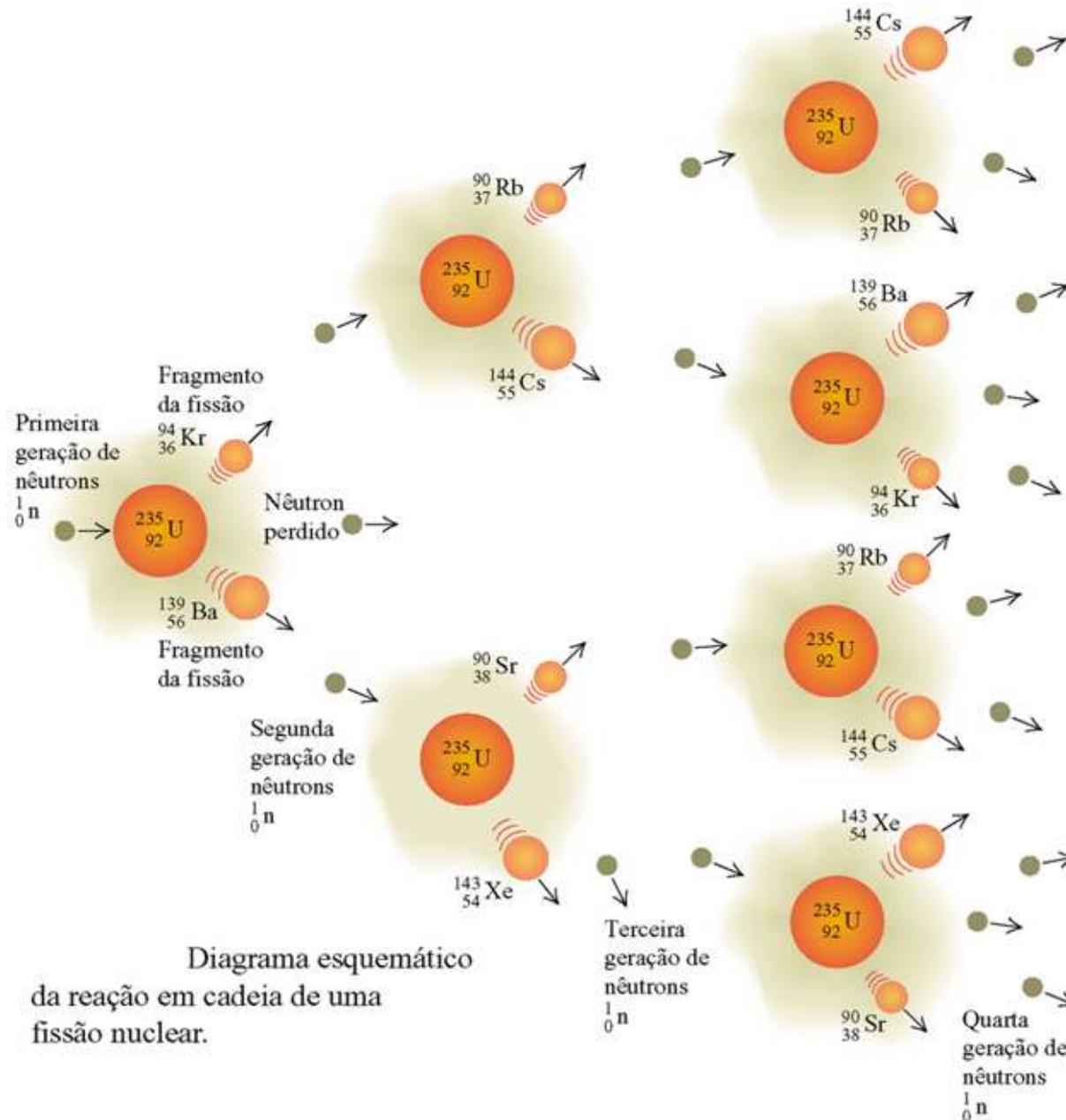


Na primeira reação, dois prótons se combinam e formam um deutério, com emissão de um próton, de um pósitron e de um neutrino. Na segunda, um próton e um deutério se combinam e formam um núcleo do isótopo leve do hélio (<sup>3</sup>He), com emissão de um raio gama. Agora dobre as duas primeiras reações para obter os dois núcleos de hélio <sup>3</sup>He que se fundem na terceira reação e formam uma partícula alfa <sup>4</sup>He e dois prótons. Esse conjunto é chamado cadeia próton-próton.



# Fissão nuclear

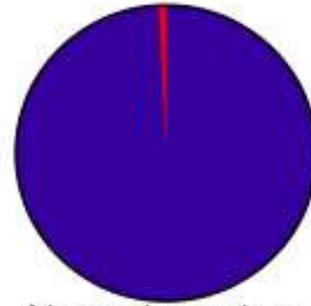
**Fissão nuclear** é o processo no qual o núcleo instável se divide em dois fragmentos de massas comparáveis. Pode ser induzido mediante bombardeio com nêutrons



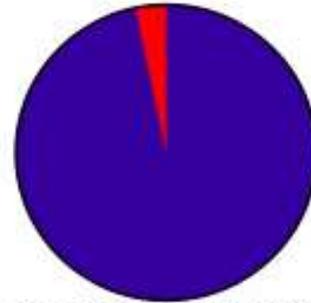
## Reatores Nucleares

Na média cada fissão de um núcleo de  ${}^{235}\text{U}$  produz cerca de 3 nêutrons livres. Apenas esse isótopo  ${}^{235}\text{U}$  pode ser fissionado por um nêutron! Enriquecimento de Urânio. Bomba e energia elétrica!

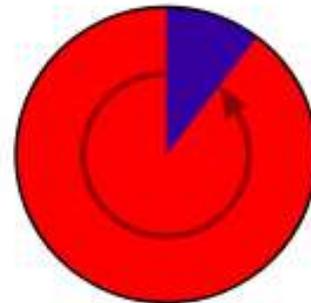
$^{238}\text{U}$  é o mais comum na natureza e tem apenas 0.7% de  $^{235}\text{U}$ .



Natural uranium  
> 99.2% U-238  
0.72% U-235



Low-enriched uranium  
(reactor grade)  
3-4% U-235



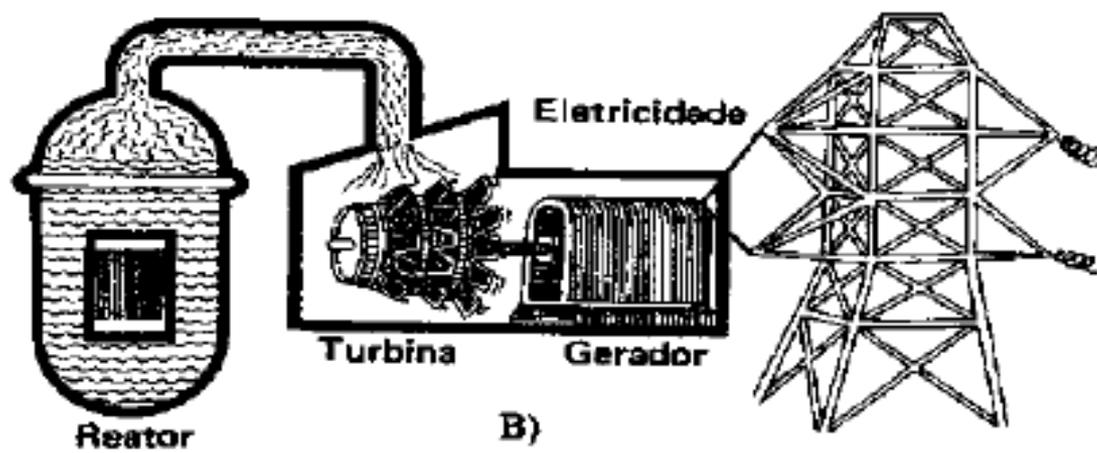
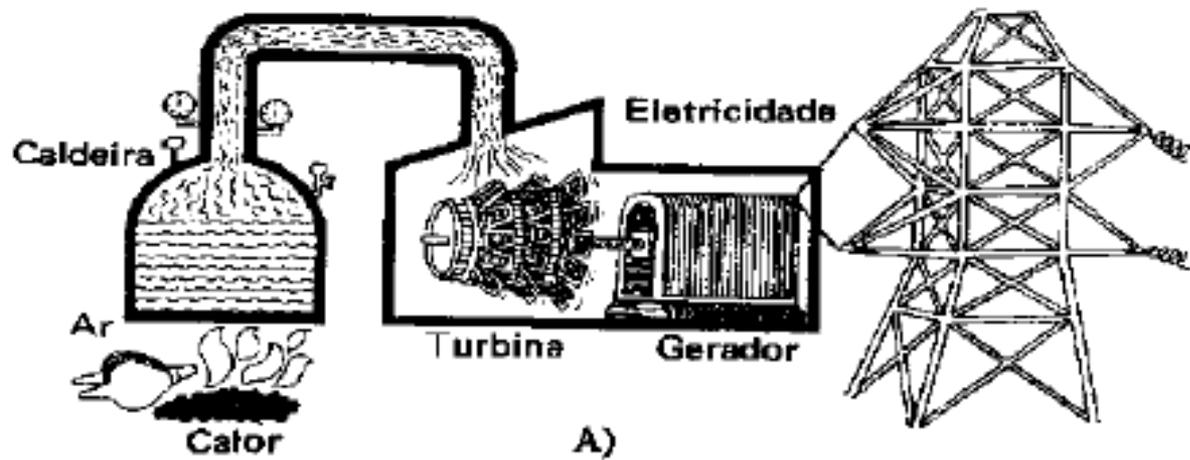
Highly enriched uranium  
(weapons grade)  
90% U-235

# Mineração



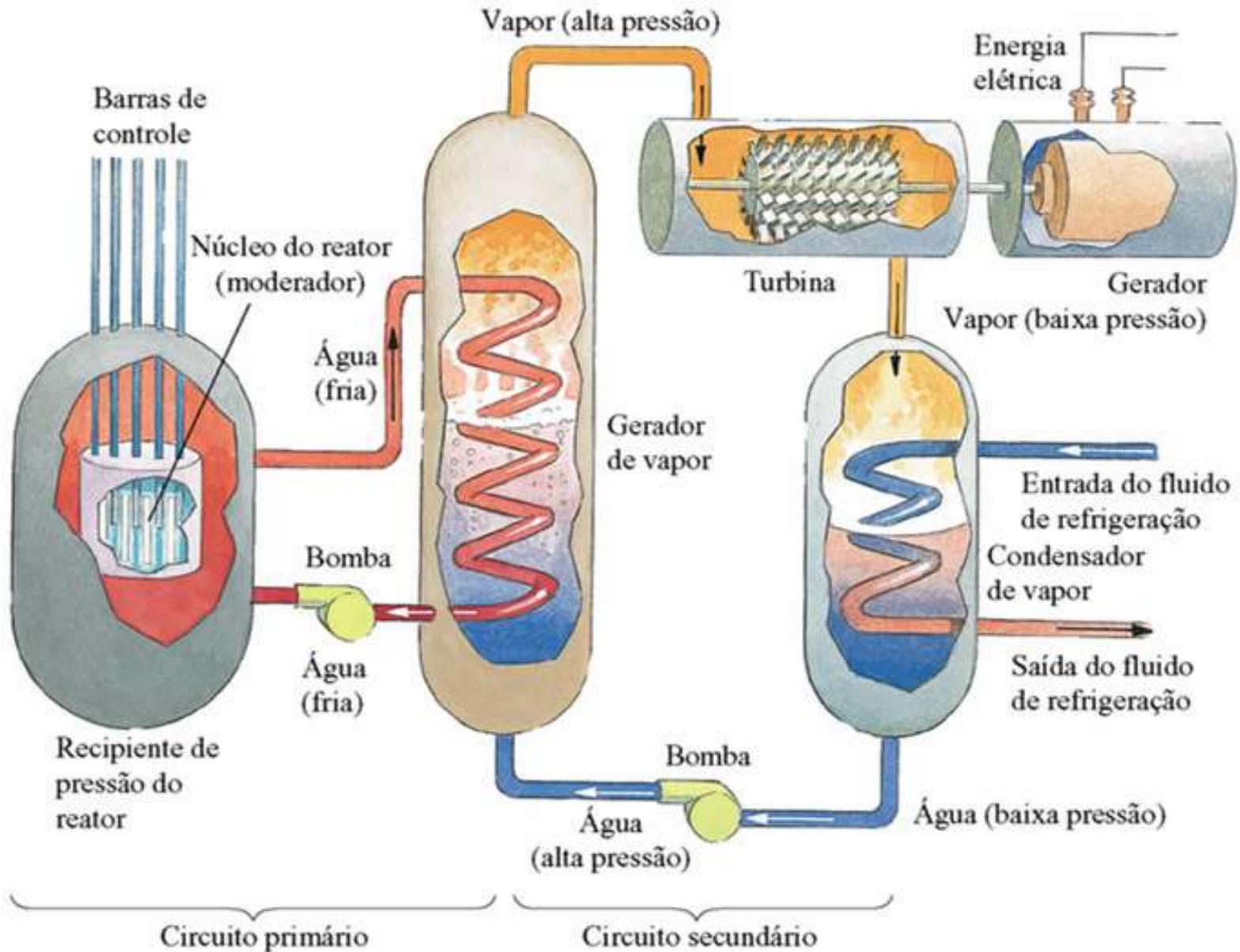
A mineração e a produção de concentrado de urânio consiste na primeira etapa do ciclo do combustível. Após o conjunto de operações, que têm como objetivo descobrir uma jazida e fazer sua avaliação econômica - prospecção e pesquisa - determina-se o local onde será realizada a extração do minério do solo, e o início dos procedimentos para mineração e para o beneficiamento. Na usina de beneficiamento o urânio é extraído do minério, purificado e concentrado sob a forma de um sal de cor amarela, conhecido como "yellowcake". No Brasil tais atividades são desenvolvidas no município de Caetité, no Estado da Bahia.





# Usina nuclear gerando energia elétrica

~ 1000M W

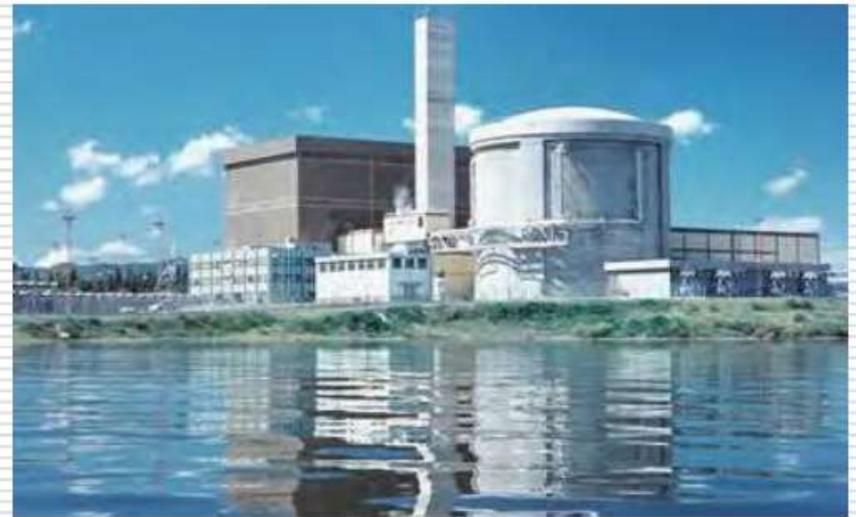


# Usinas termoelétricas nucleares

---



Usinas nucleares de Angra 1 e 2  
2000 MW



Usina nuclear de Embalse –  
Argentina  
600 MW