



# Fissão Nuclear

Danilo Leal Raul

Miguel Angel Mosquera Molina

# Estados Excitados dos Núcleos

- Cada um dos estados de muitas partículas num grupo tem o mesmo impulso angular e paridade que o estado da partícula original só.
- **Modelo Simples do núcleo:**
  - Subcamadas com números mágicos preenchidos mais um buraco.
  - O primeiro estado excitado é o estado do buraco.

# Estados Excitados dos Núcleos

- Tratamento dos espectros rotacionais das moléculas diatómicas, energia total  $E$  do rotor simétrico, de forma elipsoidal:

$$E = \frac{i(i+1)}{2\mathfrak{I}} \hbar^2 \quad i=0, 2, 4, 6, \dots$$

: momento de inercia

- Exceções do tratamento:
  - O número quântico  $i$  é utilizado no lugar de  $r$ .
  - $\hbar^2$  é utilizado no lugar de  $I$  para inercia rotacional.
  - Rotor simétrico, aparecem valores pares do número quântico rotacional  $i$ .

# Estados Excitados dos Núcleos

- A função própria que descreve o movimento rotacional é simétrica.
- Do análises coletivo e os momentos quadrupolares elétricos, os núcleos com:
  - N par e Z impar
  - N impar e Z par
  - N e Z entre os números mágicosapresentam geralmente forma elipsoidal (lantanídeos).
- Os diagramas de energia são sensíveis à forma real do núcleo e não da meia temporal de todas as orientações possíveis da forma como ocorre nas medidas do desdobramento hiperfino de núcleos com espin zero.
- As únicas exceções são quando N e Z são muito próximos aos números quânticos.

# Estados Excitados dos Núcleos

- A deformação do núcleo esférico a elipsoidal é uma consequência dos efeitos coletivos.
- As únicas exceções são quando  $N$  e  $Z$  são muito próximos aos números quânticos (núcleos esféricos).
- Devido à rotação do núcleo, o movimento do núcleo é complicado.
- Os primeiros níveis de energia dos núcleos se encontram espaçados como os níveis de energia de um oscilador harmônico simples.

# Estados Excitados dos Núcleos

- Os estados coletivos de mais baixa energia do núcleo elipsoidal são rotacionais, vibracionais, ou uma mistura de ambos tem energias de excitação menores que os estados mais baixos do modelo de camadas do núcleos esféricos.
- Nos estados excitados baixos em certos pares de núcleos são idênticas, exceto que os nêutrons e prótons estão intercambiados (núcleos espelho).

# Estados Excitados dos Núcleos

- Os núcleos espelho permitem a determinação experimental da constante de acoplamento no decaimento  $\beta$ .
- As forças nucleares são dependentes da carga, não é possível distinguir prótons de nêutrons (funções próprias do estado basal são idênticas).

# Breve História

- Enrico Fermi iniciou experimentos em 1934 (bombardeio de átomos de urânio com nêutrons)
- Fermi descobriu que o seu experimento criava um novo elemento com 94 prótons, mas não compreendia o processo
- Ida Noddack foi a primeira a sugerir que o átomo de urânio se quebrava em dois menores (primeira a falar em fissão nuclear)
- Após experimentos de Enrico Fermi, Otto Hahn, Lise Meitner e Fritz Strassman iniciaram experimentos (bombardeio de urânio com nêutrons)

# Breve História

- 1938: Lise Meitner perdeu a cidadania austríaca e fugiu para a Suécia, mas continuou contribuindo
- Hahn detectou a produção de bário após os experimentos
- Meitner interpretou a produção de bário como a fissão nuclear
- Otto Hahn recebeu o prêmio Nobel em 1944 pela descoberta da fissão nuclear

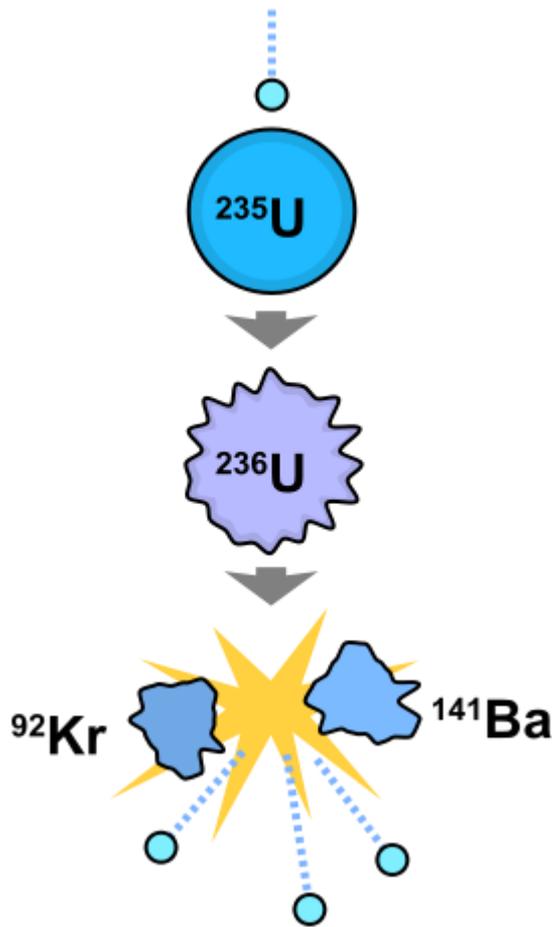
# Projeto Manhattan

- 1939: Leó Szilárd e Albert Einstein entregaram uma carta ao presidente Roosevelt sobre a urgência de acelerarem as pesquisas sobre fissão nuclear
- A declaração da guerra contra a Alemanha e o Japão (1941) direcionaram as pesquisas para o desenvolvimento de armas nucleares

# Projeto Manhattan

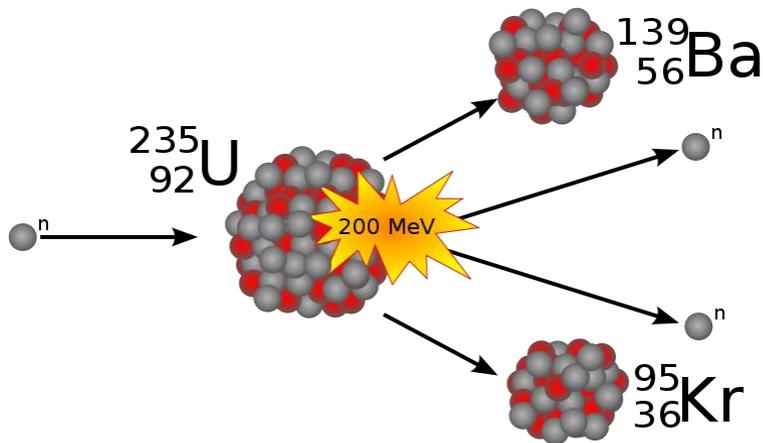
- Corrida armamentista para a produção da bomba atômica
- Os bombardeios de Hiroshima e Nagasaki (1945) selaram o final da 2ª Guerra Mundial, culminando na rendição do Japão

# A Fissão Nuclear



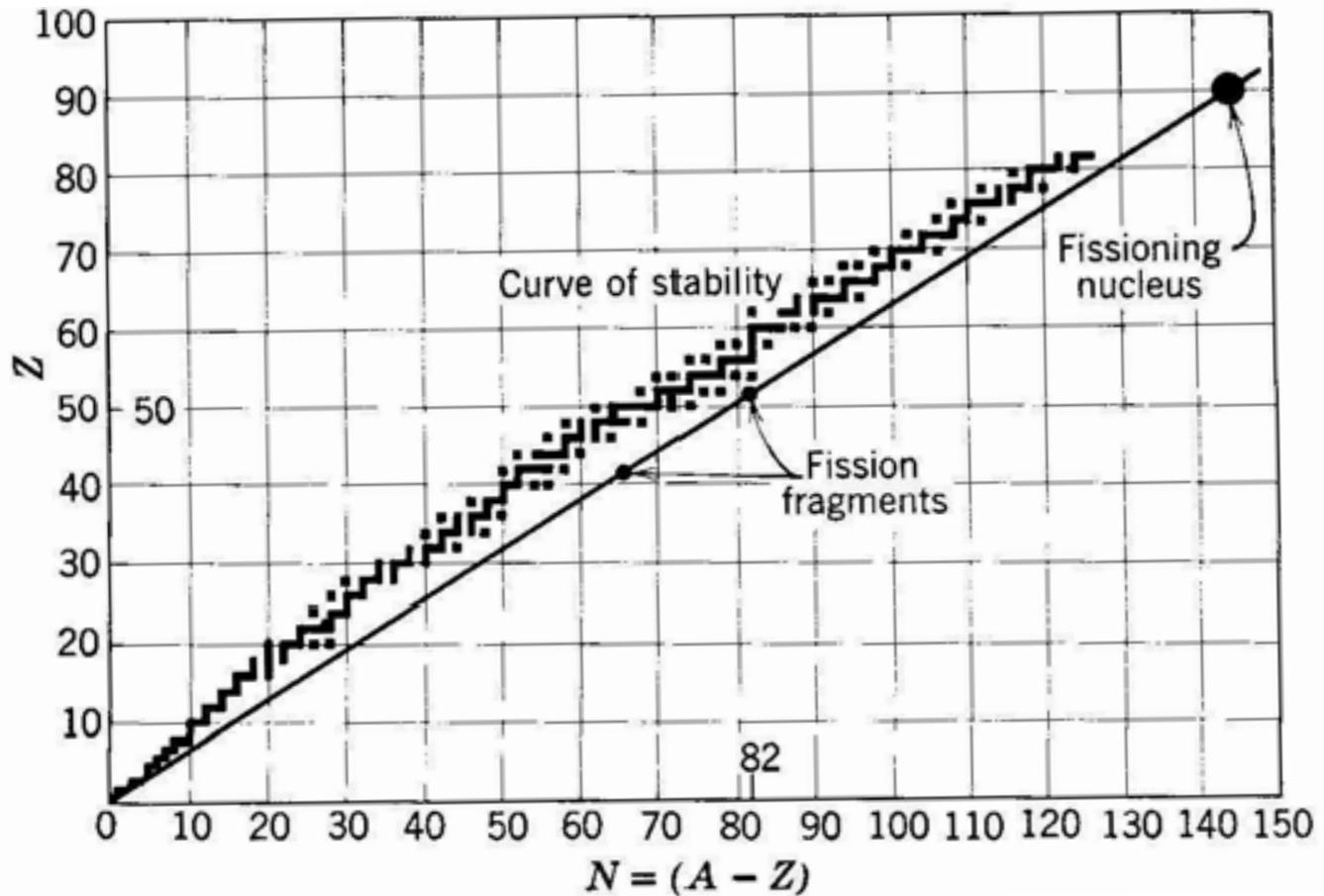
- O núcleo de urânio-235 é atingido por um nêutron
- O núcleo se transforma em um estado excitado de urânio-236
- O novo elemento é instável, e se quebra rapidamente em 2 núcleos mais leves + 2 ou 3 nêutrons livres

# A Fissão Nuclear

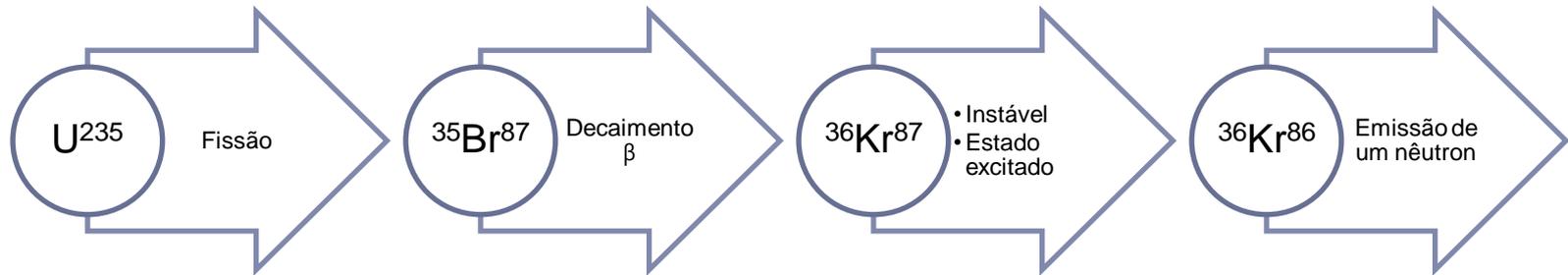


- Cerca de 200 MeV de energia são liberados por fissão
- Energia cinética dos produtos da fissão
- Também pode ocorrer a liberação de raios gama

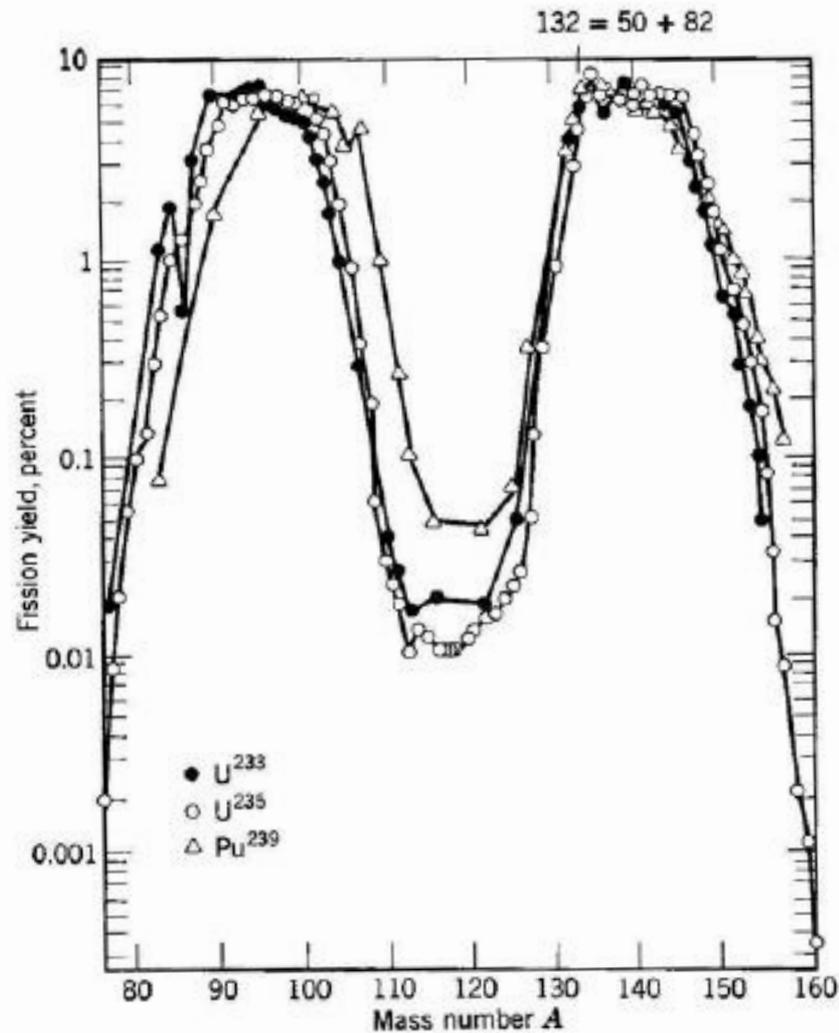
# A Fissão Nuclear



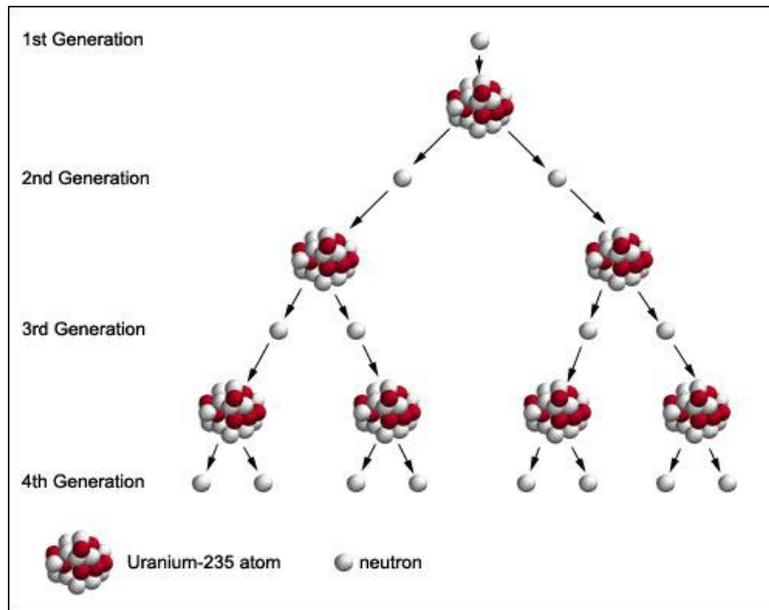
# Emissão Retardada



# A Fissão Nuclear



# Reação em Cadeia



- Os nêutrons resultantes de cada fissão atingem outros núcleos
- A energia liberada pela fissão completa de um bloco de urânio é aproximadamente  $10^6$  vezes maior do que a queima da mesma massa de carvão

# Reação em Cadeia

Fissão Nuclear (3.26)

Arquivo Ajuda

Fissão: um núcleo    **Reação em cadeia**    Reator nuclear

Urânio-235  
Urânio-238  
Urânio-239  
Núcleos filhos

Controles

Câmara de contenção

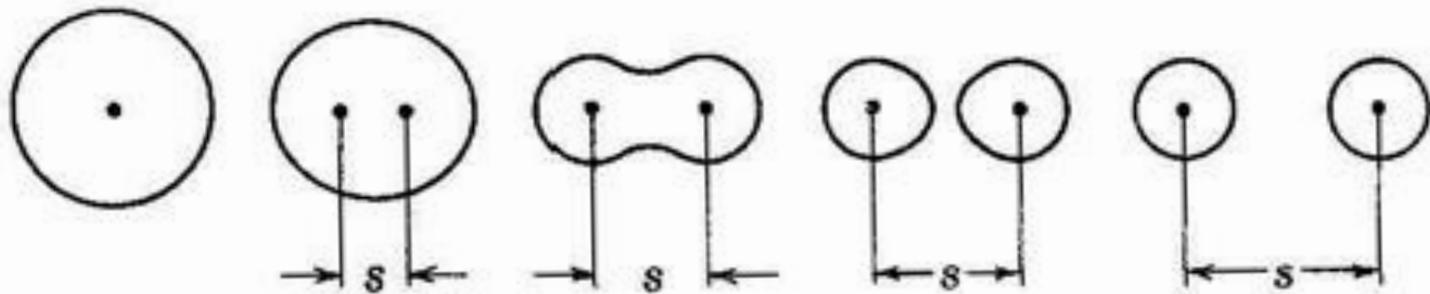
U-235 75 Núcleos

U-238 0 Núcleos

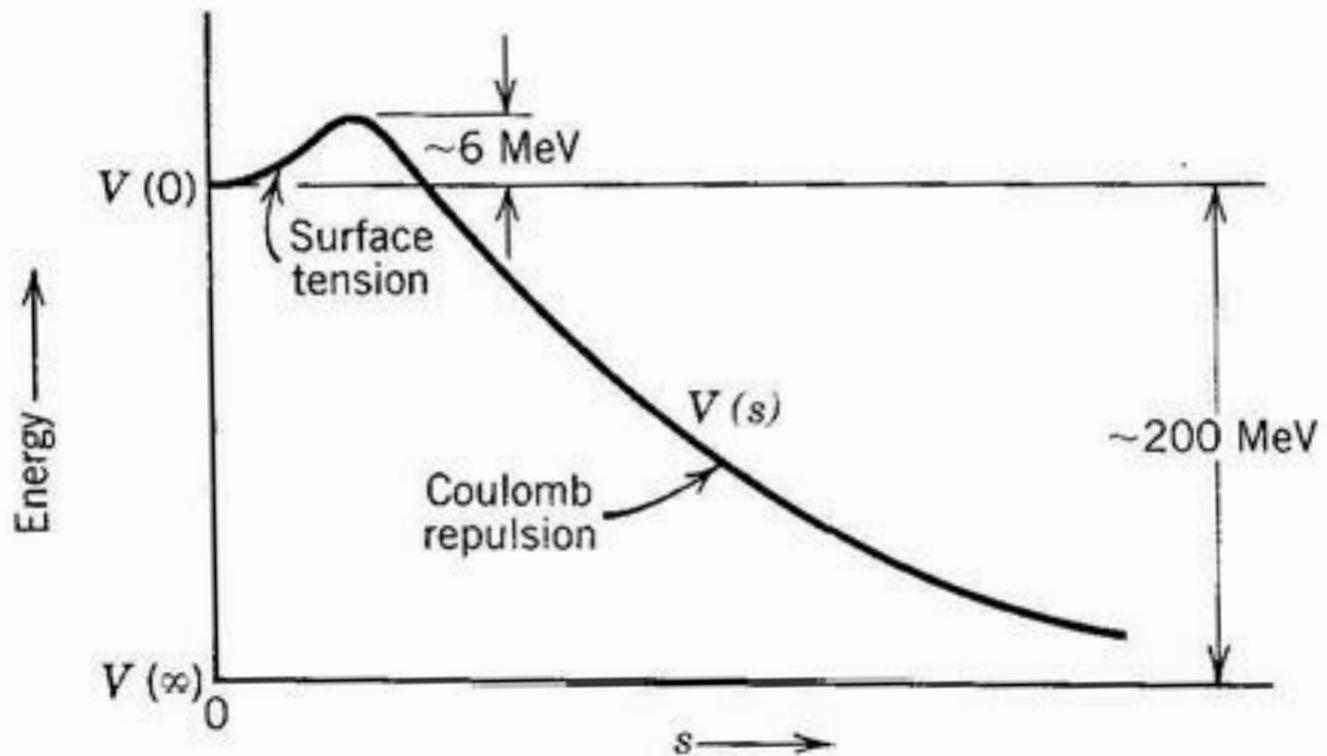
235 Núcleos

19:12

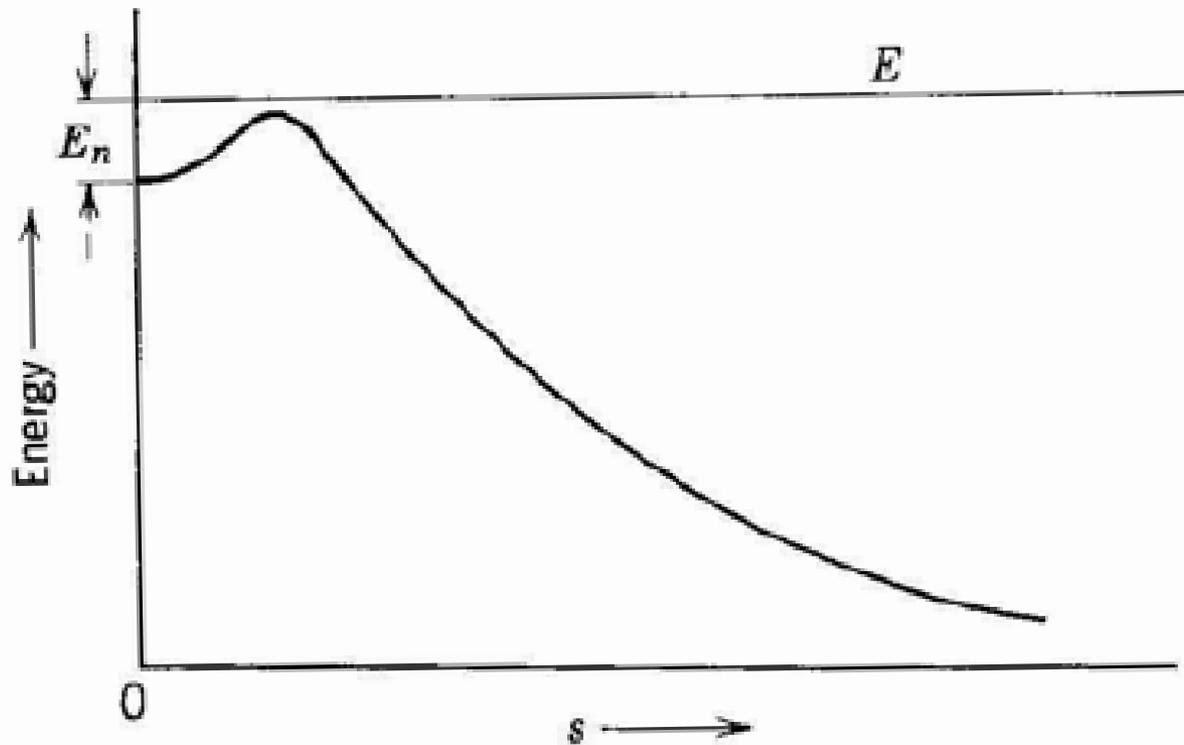
# Modelo da Gota Líquida



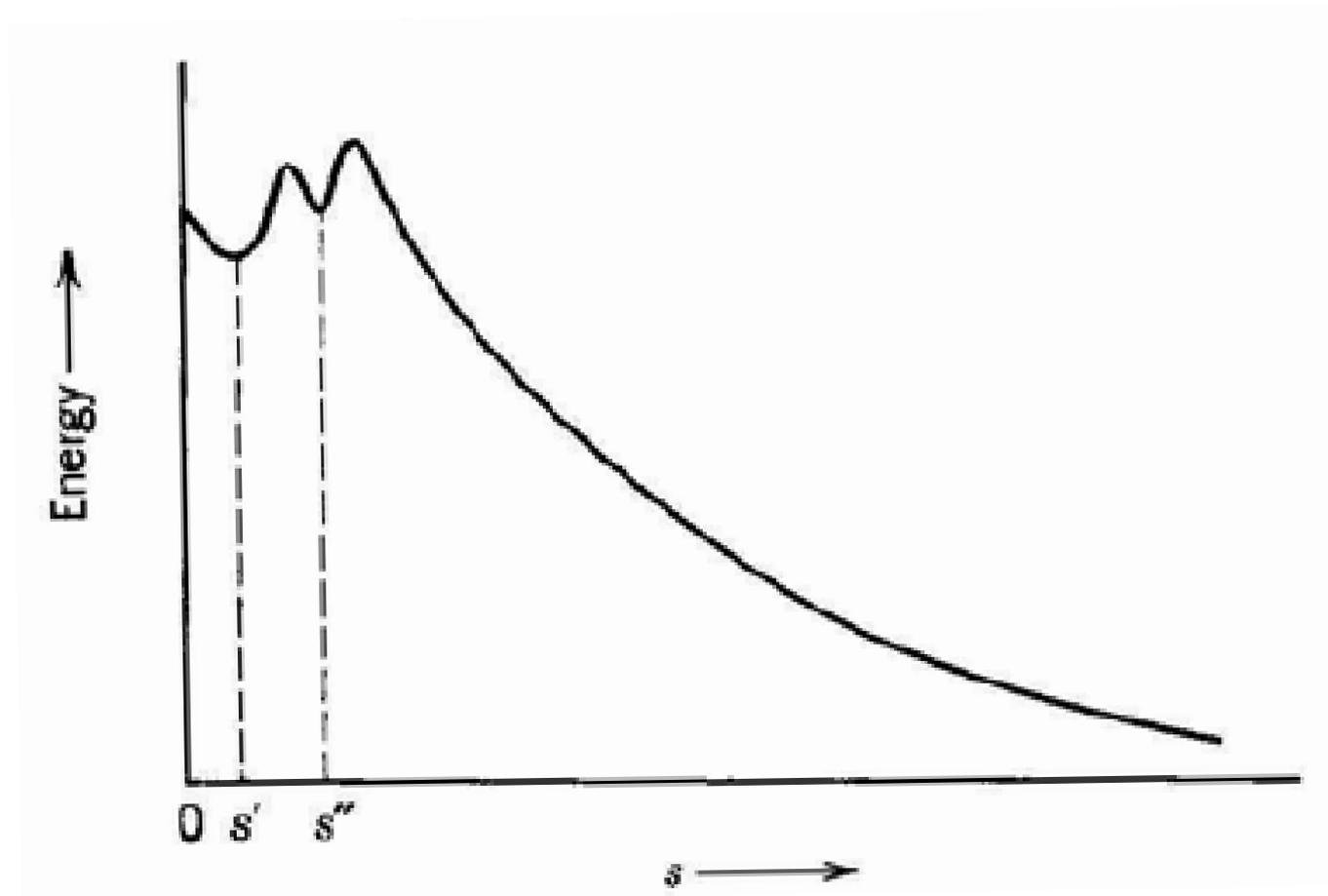
# Modelo da Gota Líquida



# Fissão Induzida



# Fissão Induzida





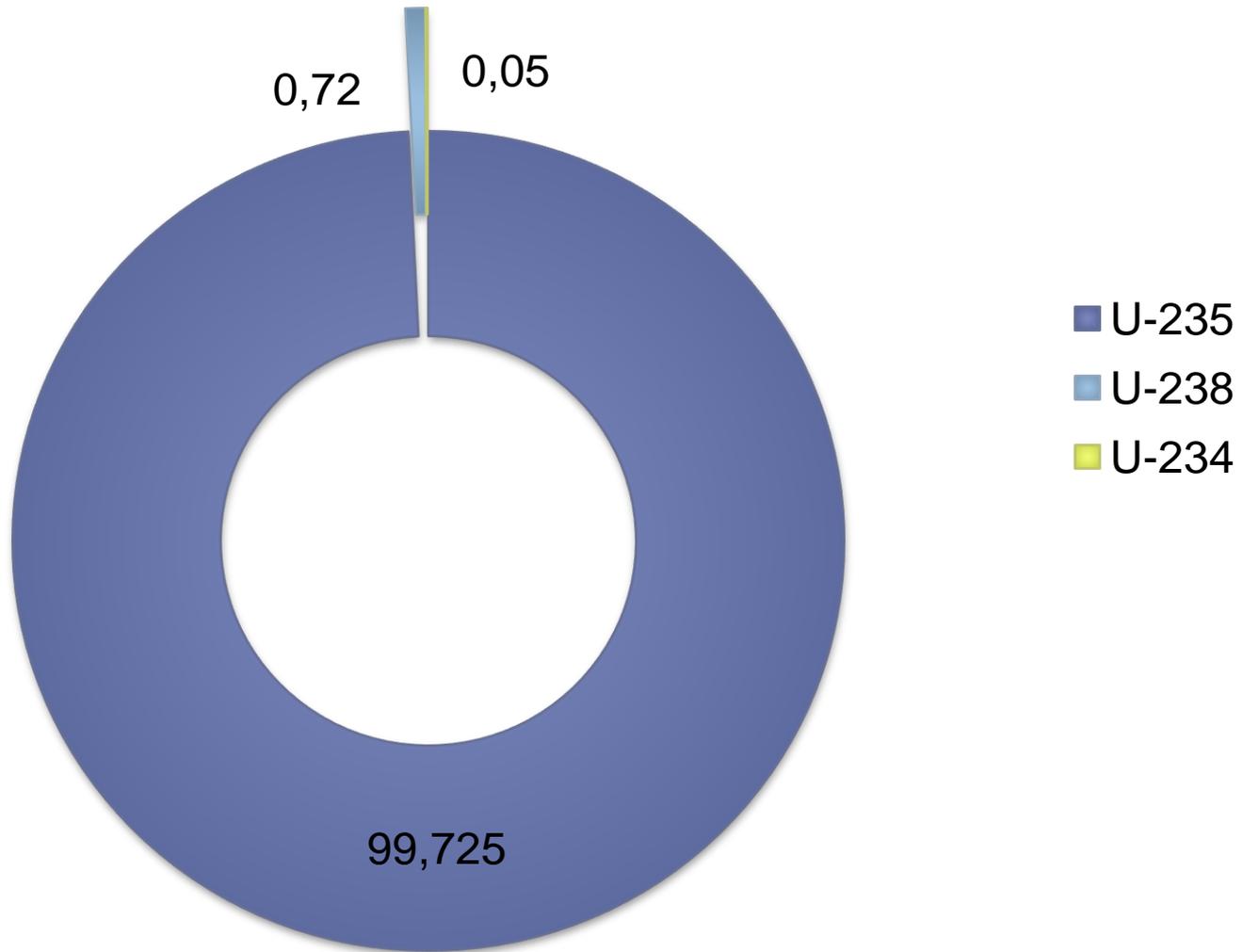
- $E_n \sim 6,5 \text{ MeV}$
- Facilmente “fissionável”
- Raro
- Meia-vida  $\sim 10^6$  anos



- $E_n \sim 5 \text{ MeV}$
- Fissão mais difícil
- Abundante na natureza
- Meia-vida  $\sim 10^9$  anos

# Fissão dos átomos de urânio

# Proporção dos Isótopos do Urânio na Natureza



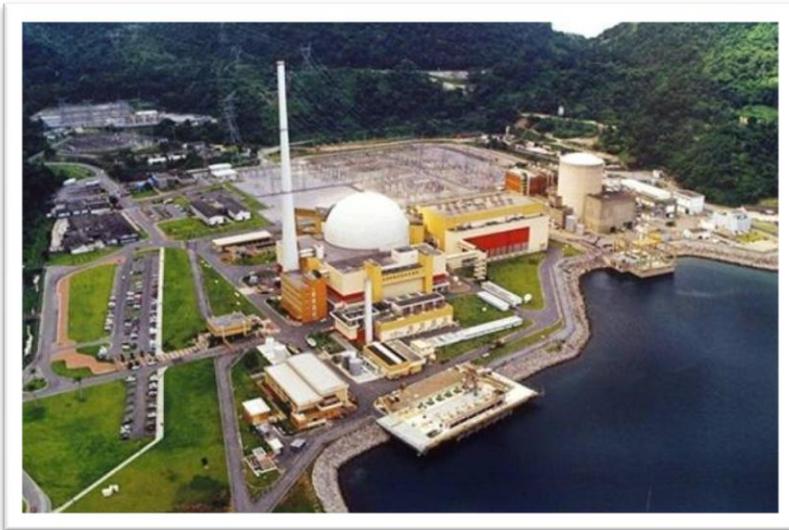
# Enriquecimento de Urânio

- Difusão Gasosa
  - Produção de  $UF_6$
  - O gás é forçado contra membranas semi-permeáveis
  - Processo repetido sucessivas vezes

# Produção de Plutônio



# Reatores e Bombas



# Fator de Reprodução - k

- Número médio de nêutrons oriundos de fissões que produzem novas fissões
- Máximo possível do U-235: 2,4
- Não é atingido por duas razões:
  - alguns nêutrons simplesmente não colidem com nenhum núcleo
  - alguns nêutrons colidem com núcleos não fissionáveis (U-238)

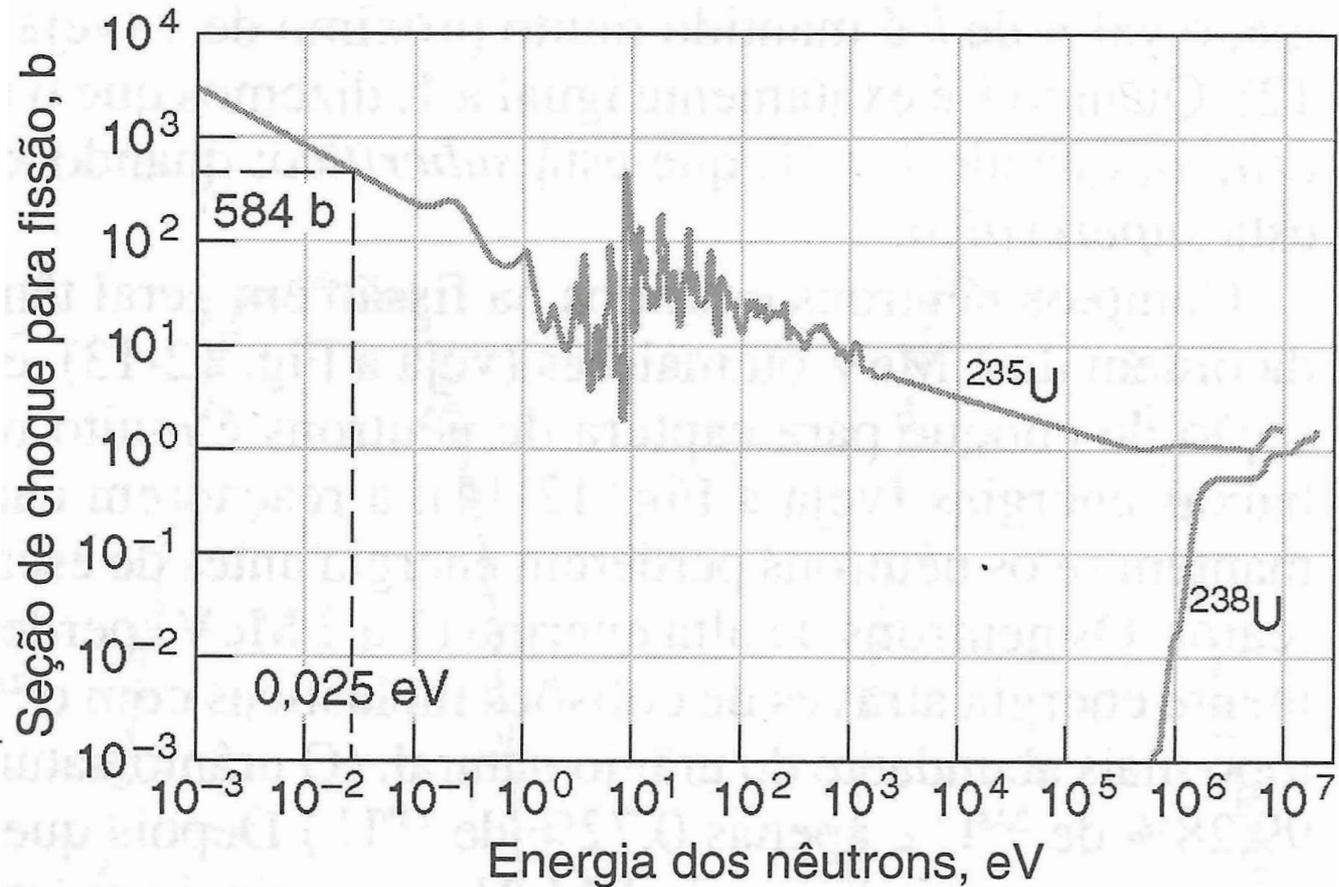
# Fator de Reprodução - k

- $k = 1$ : reação autosustentada (crítica)
  - REATORES
- $k < 1$ : reação interrompida (subcrítica)
- $k > 1$ : reação explosiva (supercrítica)
  - BOMBAS

# Seção de Choque - $\sigma$

- Área que mede a probabilidade da colisão entre duas partículas
- Núcleo atômico típico tem  $10^{-12}$  cm
- 1 barn (b) =  $10^{-24}$  cm<sup>2</sup>

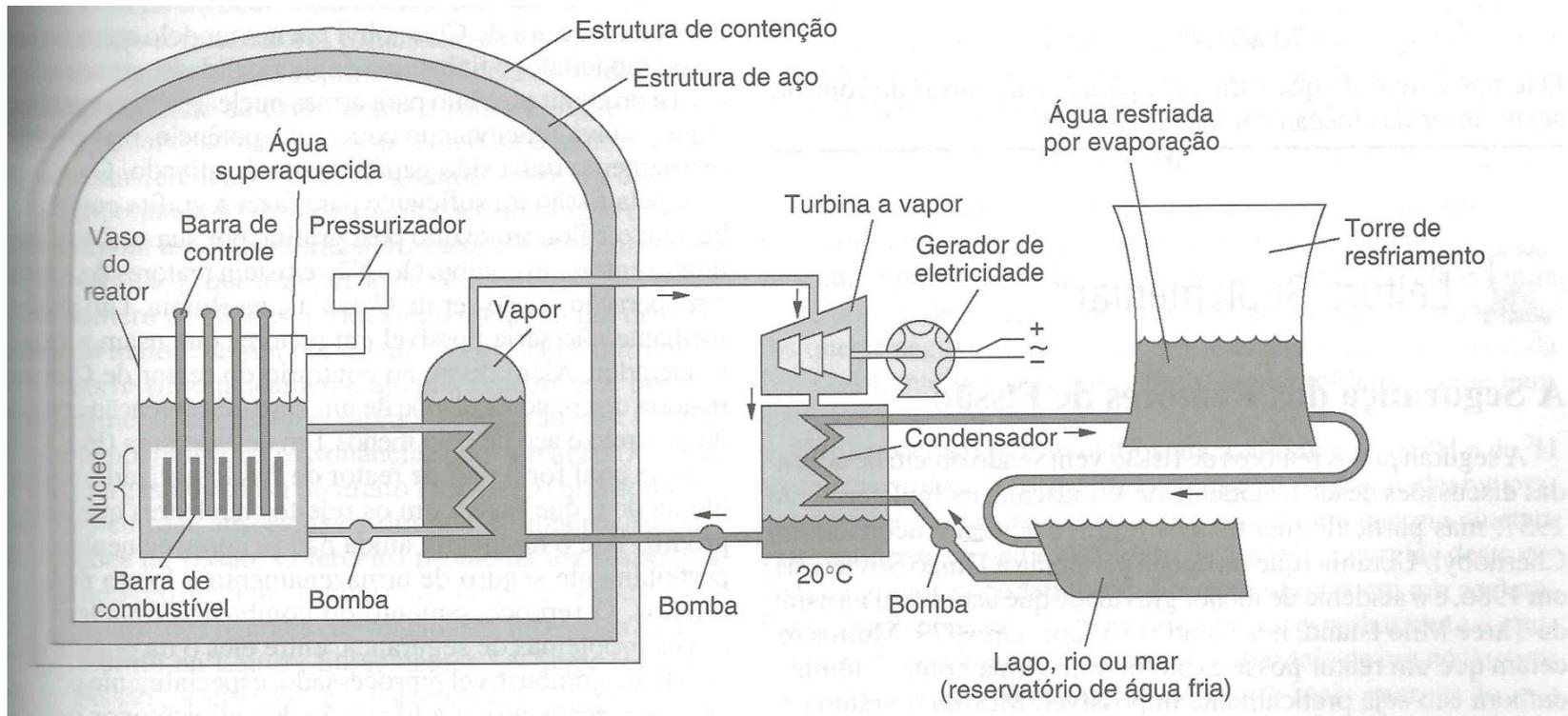
# Seção de Choque - $\sigma$



# Reator Nuclear

- A reação em cadeia só é mantida se os nêutrons perderem energia dentro do reator
- Colisão dos nêutrons com U-238 é aproximadamente elástica
- Inserção de elemento de baixa massa atômica (moderador)
- Normalmente utiliza-se água ou grafite como moderador

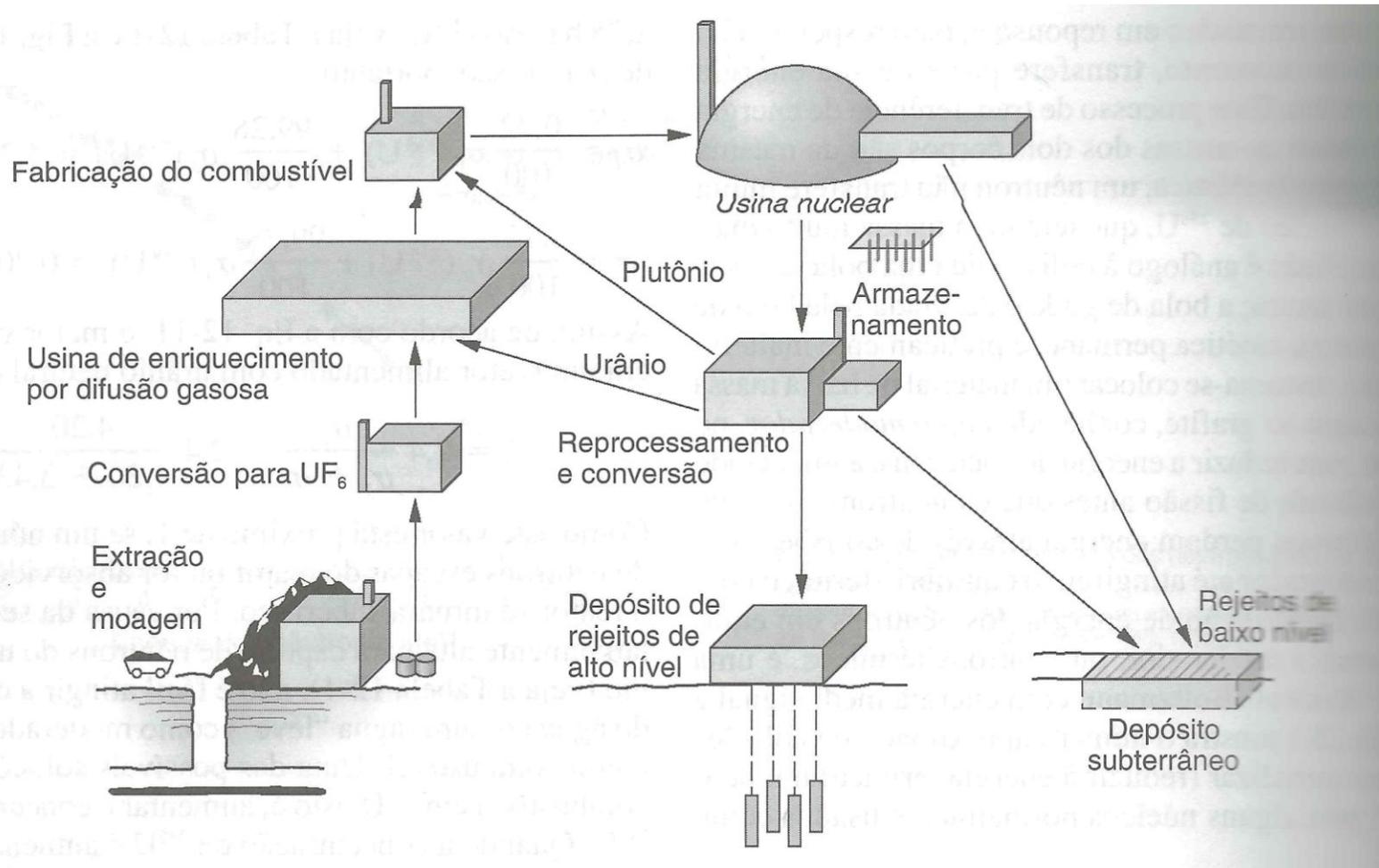
# Reator Nuclear



# Reator Nuclear

- O valor de  $k$  para o Urânio natural é de 1,32
- Muito próximo de 1, se os nêutrons escaparem do material sem atingir núcleos fissionáveis, a reação não se sustenta
- Necessário o enriquecimento do urânio

# Usina Nuclear



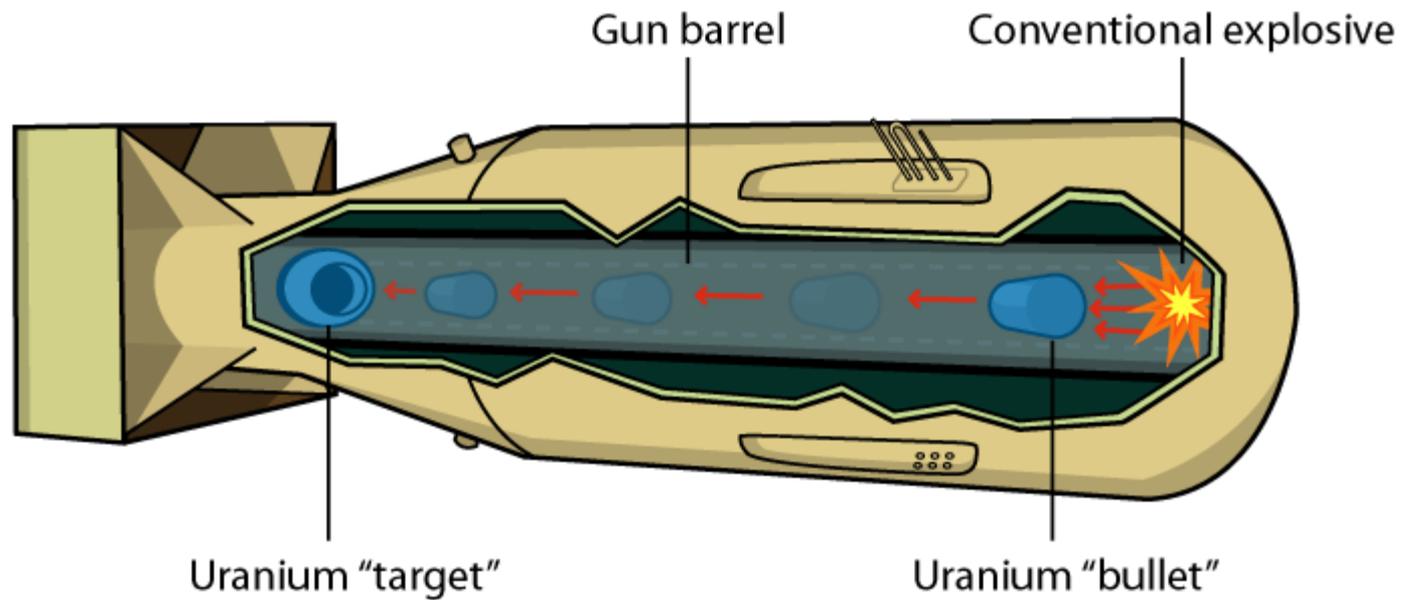
# Usina Nuclear - Problemas

- Armazenamento de resíduos
- Severidade das falhas
- Eventos catastróficos
  - Chernobyl (1986)
  - Fukushima (2011)

# Bomba de Fissão – Little Boy



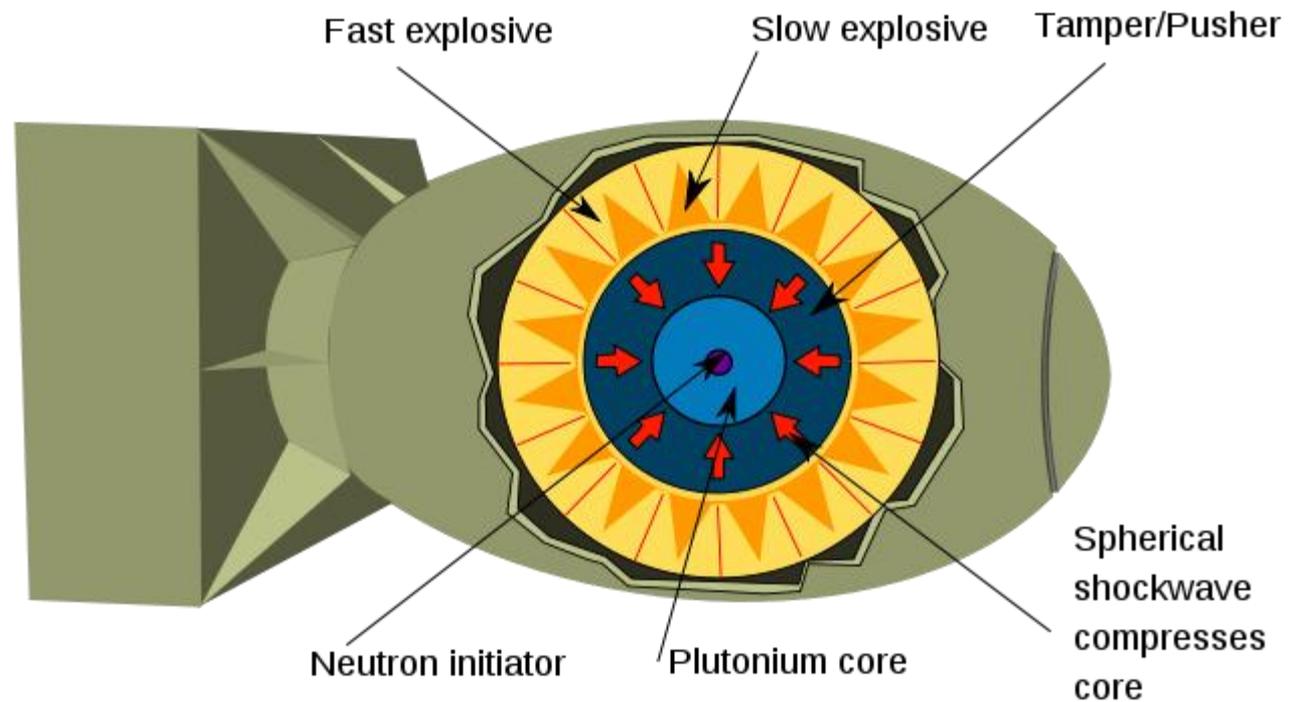
# Bomba de Fissão – Little Boy



# Bomba de Fusão – Fat Man

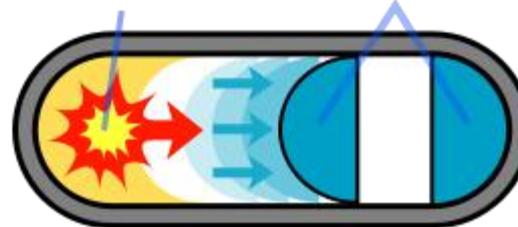


# Bomba de Fusão – Fat Man

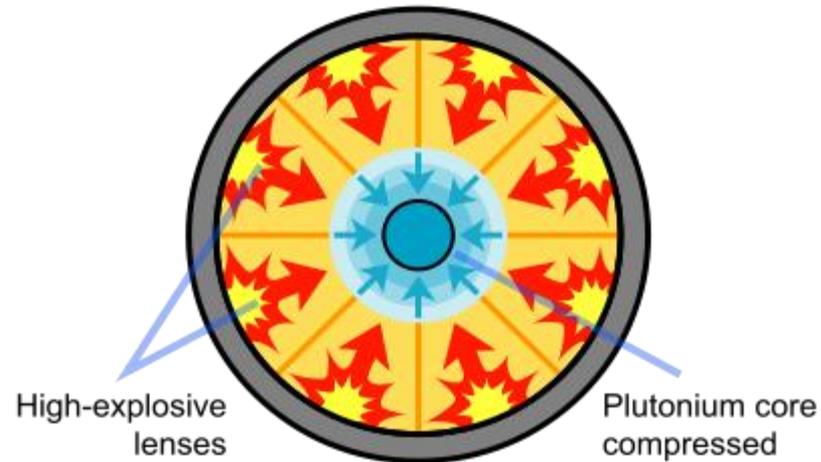


# Bomba de Fissão

Conventional chemical explosive      Sub-critical pieces of uranium-235 combined



**Gun-type assembly method**



**Implosion assembly method**

# Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares

- Países participantes concordam em não desenvolver armas nucleares
- Podem utilizar tecnologia nuclear para produção de energia
- Aceitam monitoramento da Agência Internacional de Energia Atômica