

II Seminário sobre Lítio-Brasil



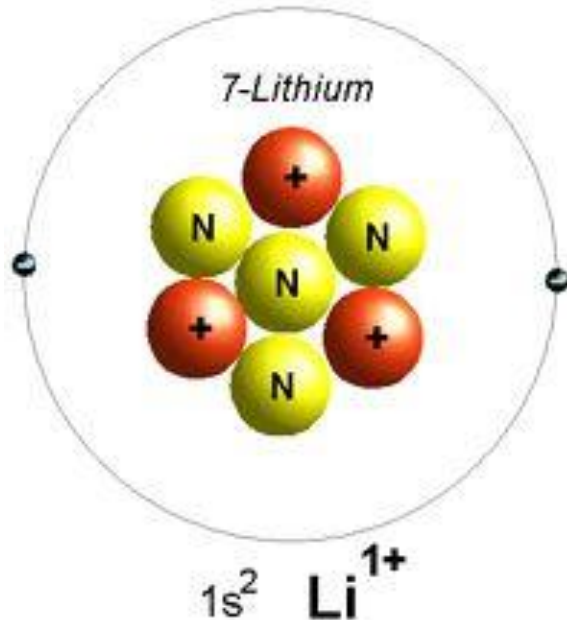
21 de julho de 2016 de 9 às 16h
Auditório CETEM

Usos do Lítio na indústria nuclear



Leonam dos Santos Guimarães
Diretor de Planejamento, Gestão e Meio Ambiente



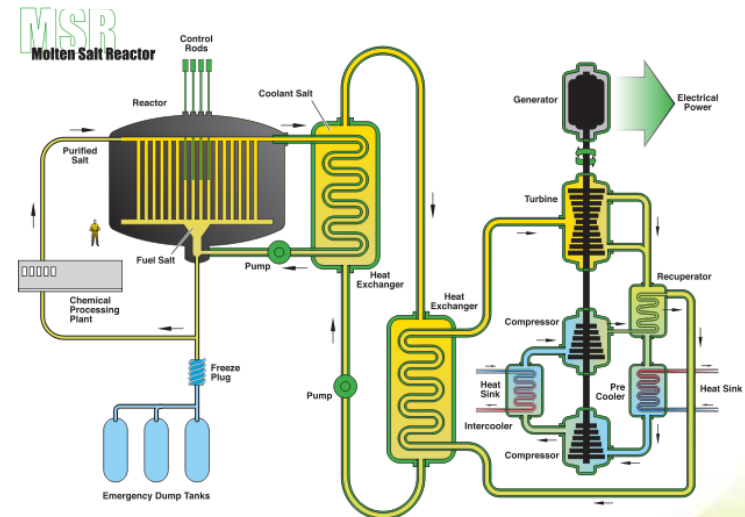
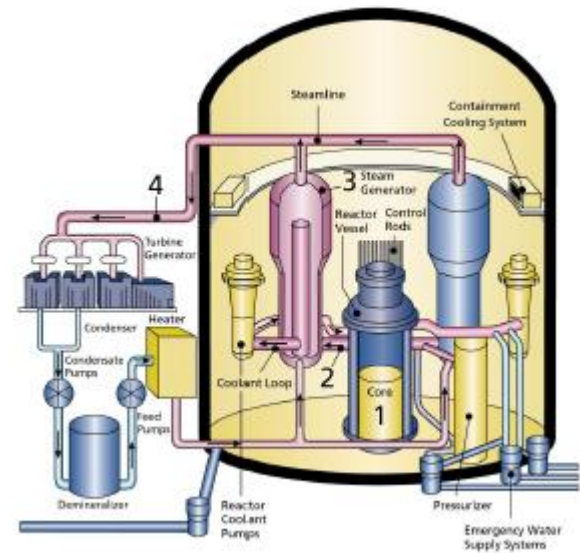


- Existem na natureza dois isótopos estáveis de Lítio:
 - **Li-7 (92,5%)**
 - **Li-6 (7,5%)**
 - massa atômica do Lítio natural é 6,94
- Ambos os isótopos naturais têm baixa energia de ligação nuclear por núcleon

- ***Li-7 como hidróxido é importante no controle da química da água de resfriamento dos reatores PWR***
- ***Li-7 como fluoreto é um componente chave do fluido de resfriamento de reatores a sal fundido MSR***
- ***Li-6 é uma fonte de trítio para uso em armas e reatores nucleares de fusão.***

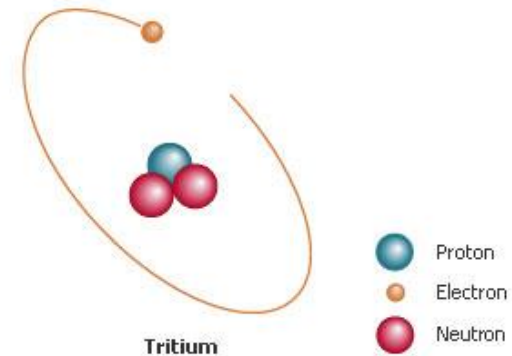
Lítio na Indústria Nuclear

- Lítio-7 tem *dois usos importantes para energia nuclear hoje e no futuro*, devido à sua relativa transparência aos nêutrons
- Como **hidróxido**, em pequenas quantidades, é usado para a operação segura dos sistemas de resfriamento de reatores **PWR** como um estabilizador de pH, para reduzir a corrosão no circuito primário.
- Como o **fluoreto**, com a entrada em operação no futuro de reatores **MSR**, hoje em desenvolvimento, é esperada uma demanda muito maior



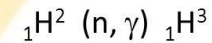
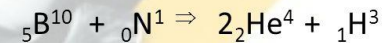
Lítio de uso nuclear

- No entanto, para ambos os fins, deve se ter Li-7 puro, pois sob o fluxo de nêutrons no núcleo do reator, o Li-6 se converte em Trítio radioativo por captura de nêutrons
 - Trítio é facilmente absorvido pelo corpo humano sob a forma de água
 - para evitar riscos à saúde, é necessário utilizar apenas enriquecido no isótopo mais comum (**99.95% de Li-7**).



Sources of Radioactive Activity

• Tritium Sources

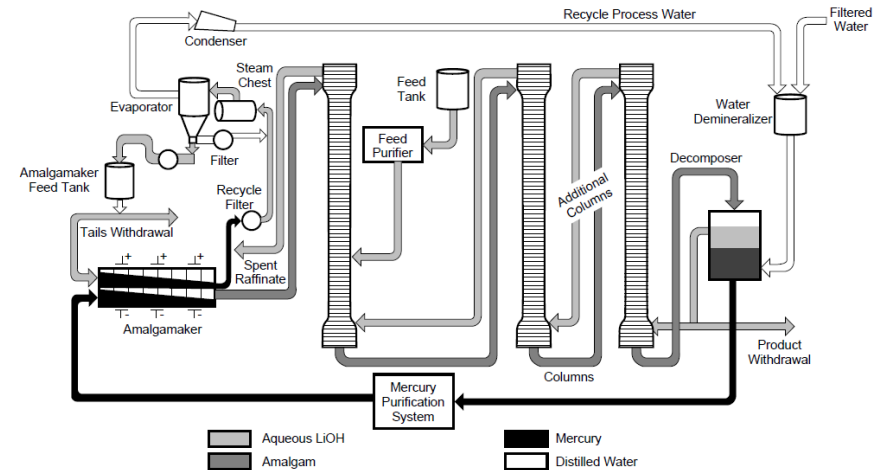


Li-6 is minimized by using Li-7 to control the pH. (99.9 for chemical addition or 99.7% for the resin.

Enriquecimento de Lítio

- Hoje o Lítio-7 é enriquecido utilizando-se processo de coluna troca iônica (**COLEX**), que se baseia no fato de que o lítio-6 tem uma maior afinidade com o mercúrio
 - o Lítio é primeiro dissolvido em mercúrio e a solução é então feita reagir com água.
 - a solução aquosa de hidróxido de lítio que se forma no topo da coluna é principalmente de Lítio-7, ao passo que o amálgama rico em mercúrio na parte inferior contém principalmente lítio-6.
 - o Lítio-6 pode então ser removido do amálgama e o mercúrio reutilizado.

Figure B-7. COLEX Process for Lithium Isotope Separation



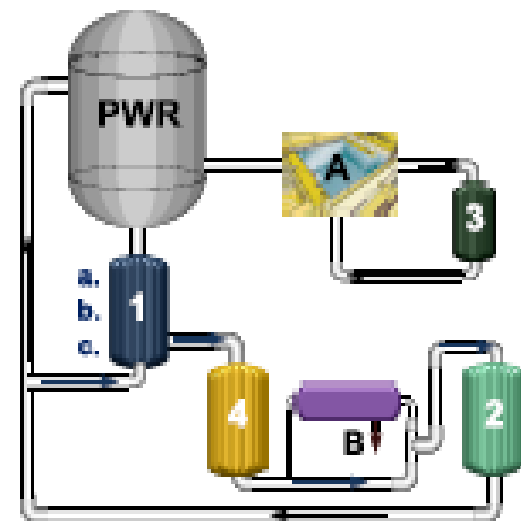
Lítio Nuclearmente Puro

- O hidróxido de lítio a 99,95% de Li-7 é usado como aditivo na água de resfriamento do primário dos PWR, em cerca de 2,2 ppm
 - para manter a química da água, neutralizar os efeitos corrosivos do ácido bórico (utilizado como absorvedor de nêutrons) e minimizando a corrosão em geradores de vapor de PWR.
- É também um componente de base para a fabricação de membranas de troca iônica utilizadas no tratamento da água de resfriamento de PWR.
- Uma usina nuclear PWR consome tipicamente menos de 10 kg de hidróxido de lítio nuclear por ano (6 – 7 kg).

Pressurized Water Reactor Primary System ION EXCHANGE TREATMENT CIRCUITS

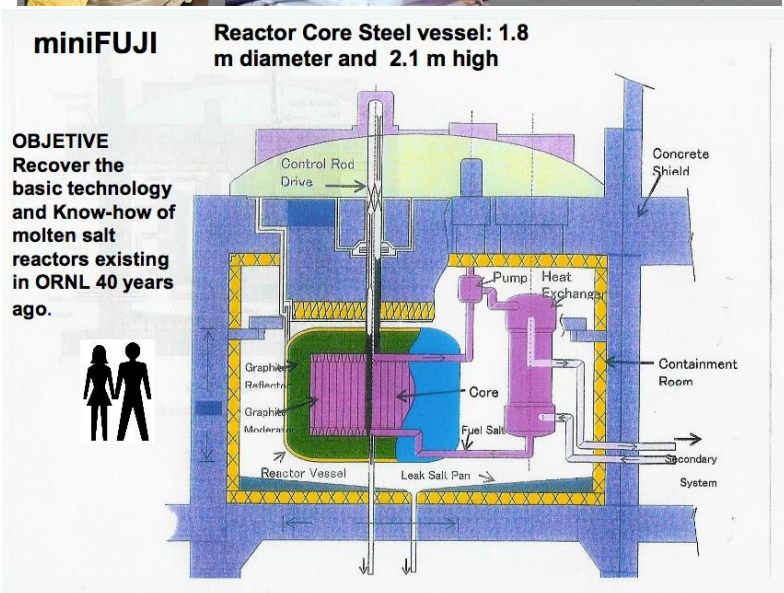
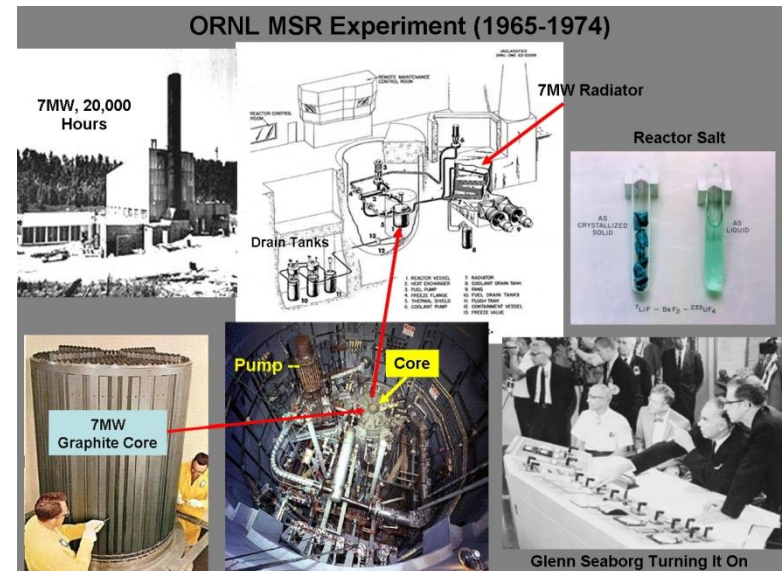
1. Reactor Coolant Purification
 - a. Outage Cleanup Beds
 - b. pH control
 - c. Outage Activity
2. Deboration
3. Spent Fuel Pool treatment
4. Radwaste effluent treatment

- A. Spent fuel pool pond
- B. Disposal



Lítio em Reactores Avançados

- Li-7 é usado como fluoreto de lítio (LiF) e fluoretos de lítio-berílio (FLiBe) que constituem o fluido de resfriamento nos MSR, que hoje estão no foco de intenso desenvolvimento.
- FLiBe tem cerca de 14% de lítio, por isso são necessários níveis ainda mais altos de pureza - 99,995% em Li-7.
- Na maioria dos projetos em desenvolvimento, o combustível nuclear está dissolvido no fluido de resfriamento LiF ou FLiBe.



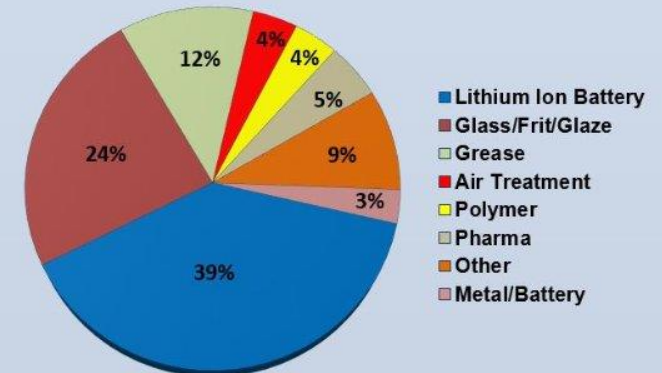
Demanda de Lítio Nuclear

- A demanda mundial de Li-7 para reatores PWR é de cerca de 1 ton por ano, incluindo cerca de 400 kg por ano para os 65 PWR dos EUA
 - a Rússia utiliza um processo de controle de pH diferente
- Para cada GWe de MSR construídos, várias toneladas de puro Li-7 serão requeridas para
 - 20 t/50m³ de LiFcom 5 t Li-7
 - 150-400 toneladas FLiBe com 21-56 toneladas Li-7
- A demanda por Li-7 poderia facilmente chegar a 250 t por ano com a construção de MSR planejadas

Lithium Market – Demand* by End-Use 2015

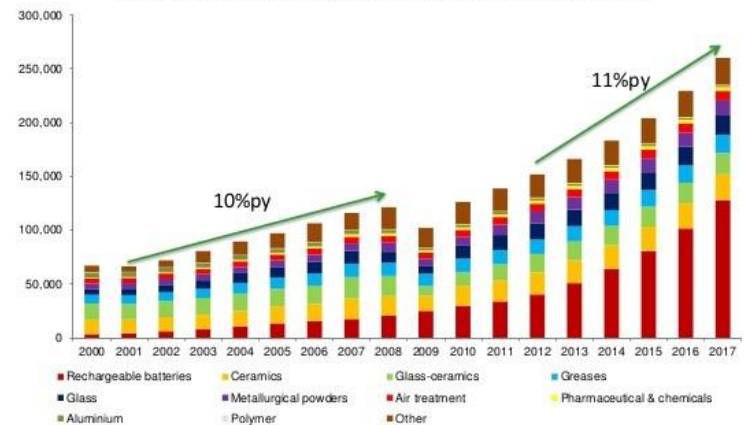
Total demand in 2015: ~163K metric tons

©Global Lithium LLC 2016



Consumption growth may exceed 11%/py, even in the base-case scenario, as demand from 3C, EV and off-grid battery markets increase

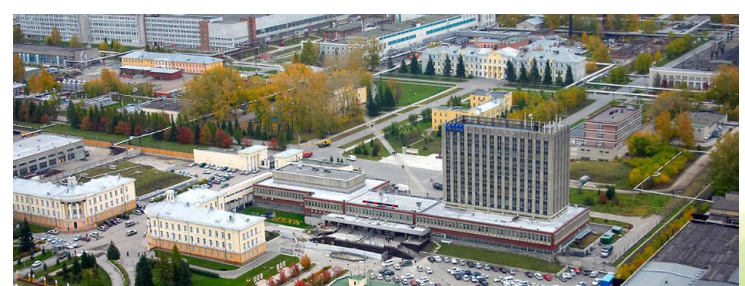
World: Consumption of lithium by end-use, 2000-2017 (t LCE)



Source: Lithium: Market Outlook to 2017, Roskill Information Services Ltd.

Produção de Lítio Nuclear

- A produção de lítio-7 cessou nos EUA em 1963, em parte por causa de preocupações ambientais com mercúrio usado em seu enriquecimento.
- Hoje as únicas fontes de Li-7 enriquecido a partir de lítio natural são a Rússia e a China.
 - A produção de lítio-7 é um subproduto do **enriquecimento de lítio-6 para produzir trítio para armas termonucleares**
- *Novosibirsk Chemical Concentrates Plant (NCCP)*, na Sibéria, é o maior fornecedor de mono-hidrato de hidróxido de Li-7 com pureza de até 99,95%, respondendo por 80% das necessidades do mundo.



Usos Nucleares do Lítio-6

- O lítio é o único elemento leve estável capaz de produzir energia líquida através da fissão
 - A fissão de lítio em hélio induzida por prótons foi a primeira reação de fissão artificial feita em 1932 por Cockcroft e Walton



- A reação mais significativa hoje é:

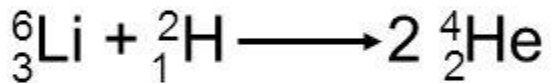
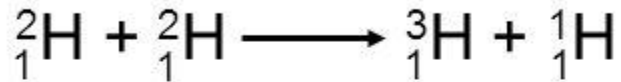


- O Lítio-6 é empregado em reações de fusão nuclear como gerador de trítio:



Nuclear Fusion

Fusion Reaction

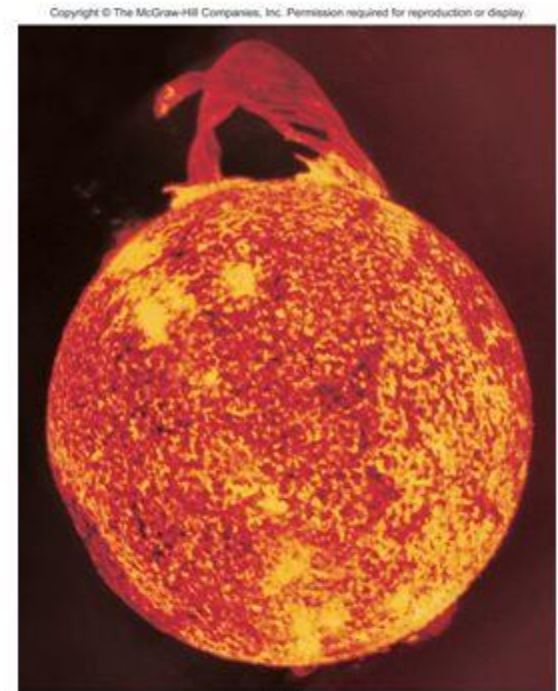


Energy Released

$$4.9 \times 10^{-13} \text{ J}$$

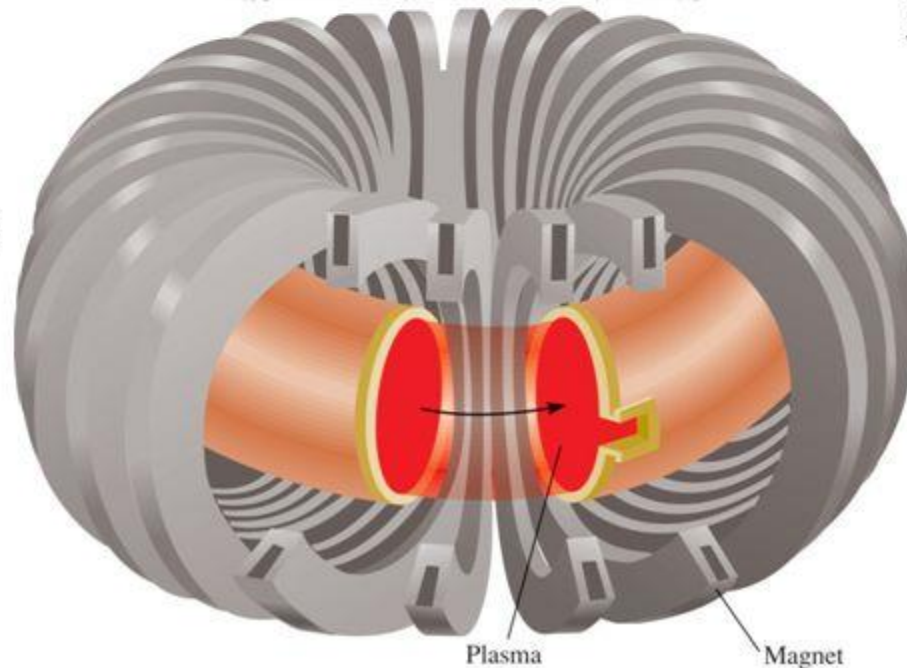
$$2.8 \times 10^{-12} \text{ J}$$

$$3.6 \times 10^{-12} \text{ J}$$



solar fusion

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



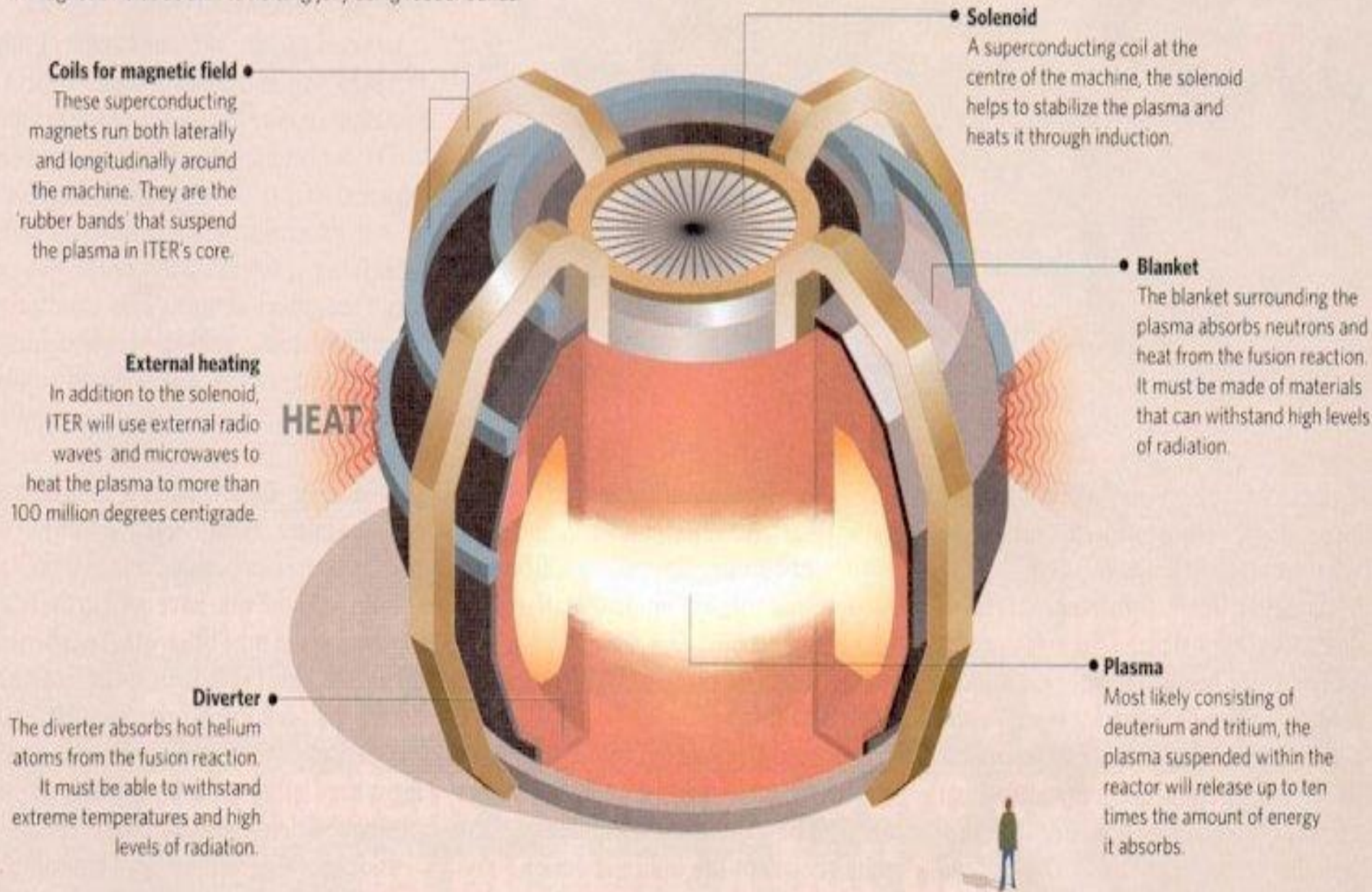
Plasma

Magnet

Tokamak magnetic
plasma
confinement

ITER'S TOKAMAK — TOO HOT TO HANDLE

Fusion scientists often describe the job of containing a hot plasma in magnetic fields as akin to holding jelly using rubber bands.



Coils for magnetic field

These superconducting magnets run both laterally and longitudinally around the machine. They are the 'rubber bands' that suspend the plasma in ITER's core.

External heating

In addition to the solenoid, ITER will use external radio waves and microwaves to heat the plasma to more than 100 million degrees centigrade.

Divertor

The divertor absorbs hot helium atoms from the fusion reaction. It must be able to withstand extreme temperatures and high levels of radiation.

Solenoid

A superconducting coil at the centre of the machine, the solenoid helps to stabilize the plasma and heats it through induction.

Blanket

The blanket surrounding the plasma absorbs neutrons and heat from the fusion reaction. It must be made of materials that can withstand high levels of radiation.

Plasma

Most likely consisting of deuterium and tritium, the plasma suspended within the reactor will release up to ten times the amount of energy it absorbs.

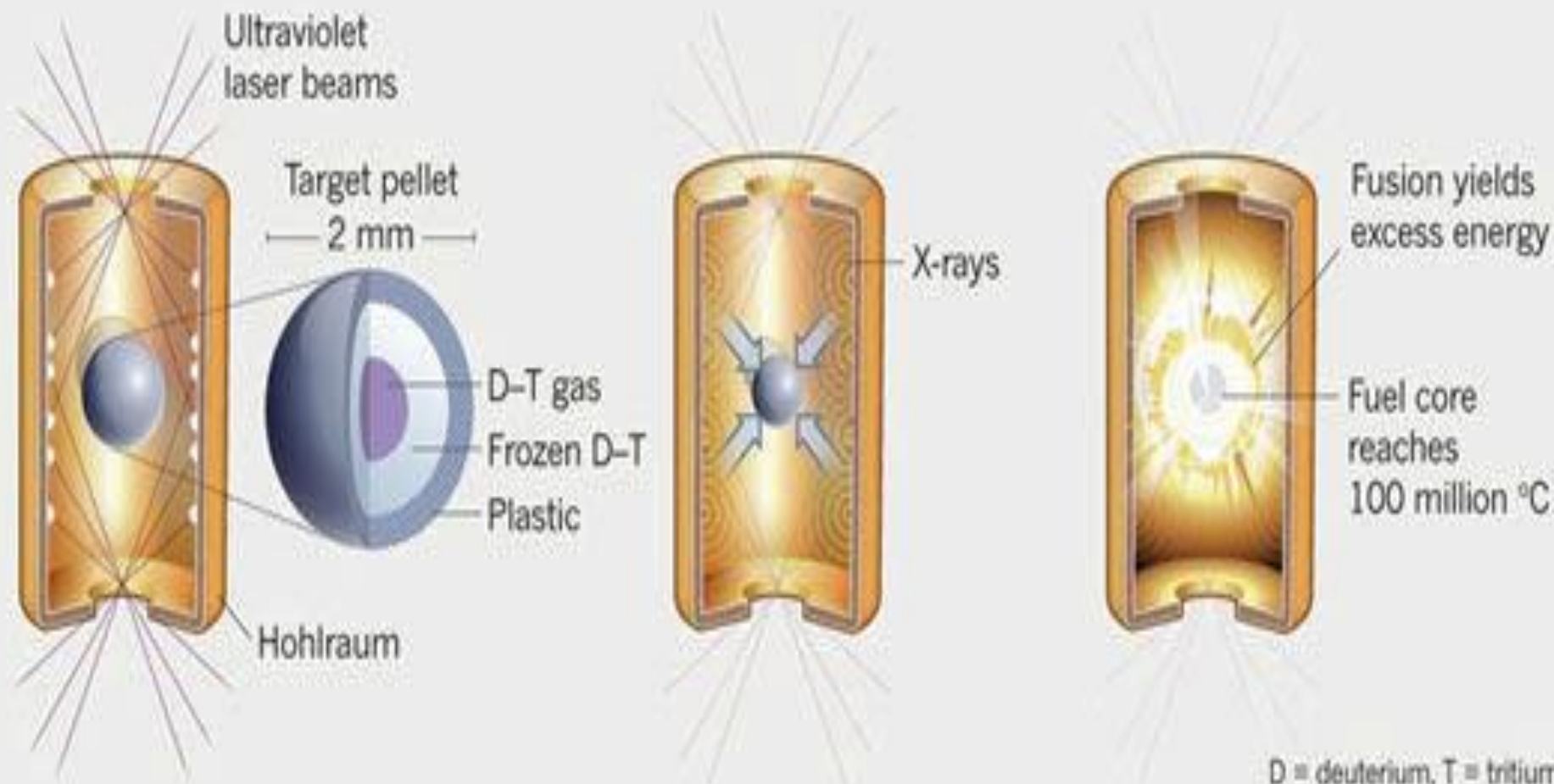
THE NIF'S FUSION STRATEGY

As the NIF's laser beams hit the gold hohlraum capsule (1), they generate X-rays that blast the outer layer of the pellet (2), compressing the hydrogen isotopes until they fuse (3).

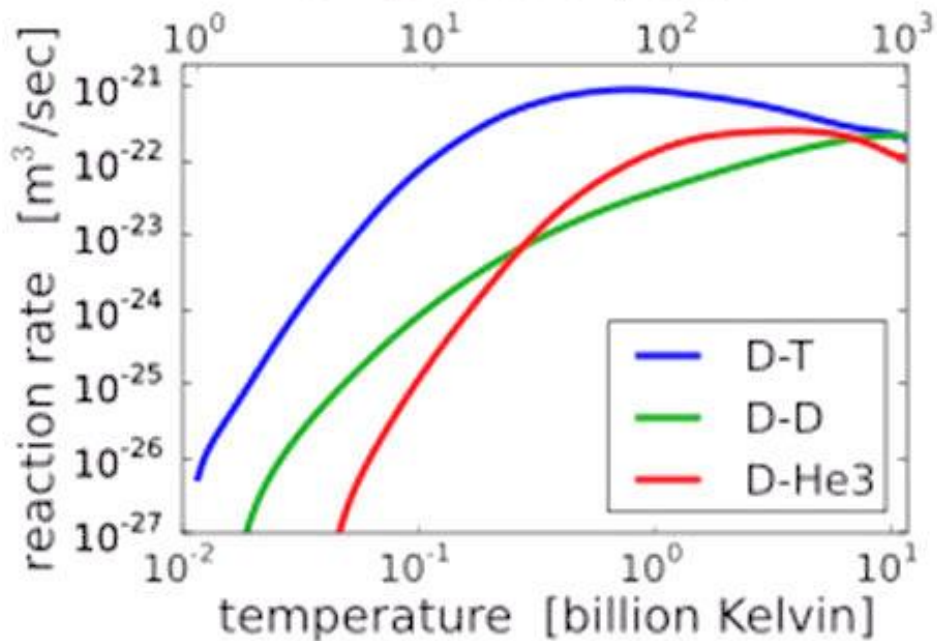
1 LASER BEAMS HEAT HOHLRAUM

2 X-RAYS BLAST PELLET

3 IGNITION!



temperature [keV]



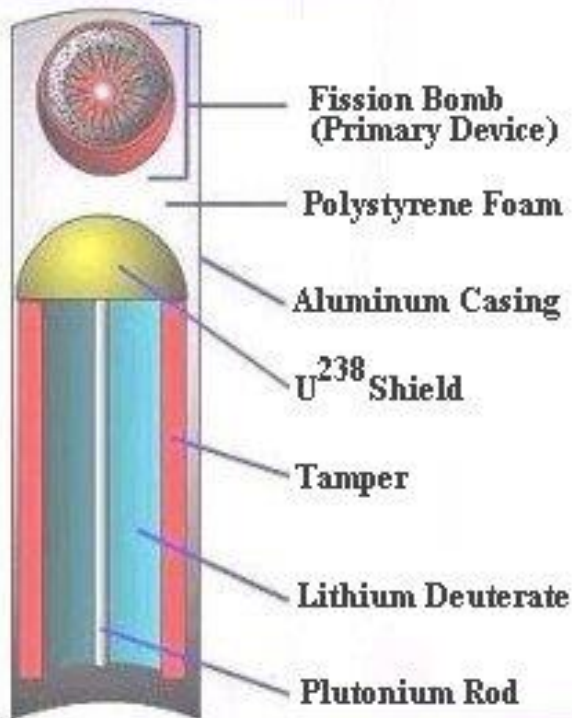
1. $D + T \rightarrow He-4 + n + 17.588 \text{ MeV}$
2. $D + D \rightarrow He-3 + n + 3.2689 \text{ MeV}$
3. $D + D \rightarrow T + p + 4.0327 \text{ MeV}$
4. $He-3 + D \rightarrow He-4 + p + 18.353 \text{ MeV}$
5. $Li-6 + n \rightarrow T + He-4 + 4.7829 \text{ MeV}$
6. $Li-7 + n \rightarrow T + He-4 + n - 2.4670 \text{ MeV}$

Fusion Reactions for Thermo-nuclear Weapons



Teller - Ulam Fusion Bomb

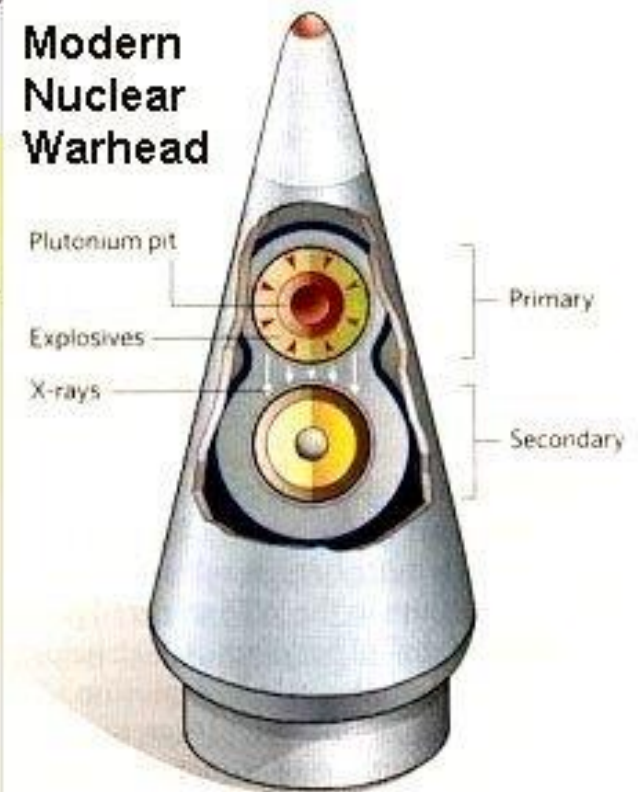
Length: 225 inches
Diameter: 61 inches
Weight: 39,600 lbs
Yield: 13.5 megatons



Ballistic Missile



Modern Nuclear Warhead



Modern nuclear warheads consist of two stages: the 'primary' and 'secondary'. For the bomb to work, explosives in the outer shell of the primary must detonate, squeezing a hollow sphere of nuclear material, usually plutonium-239, and triggering a runaway fission reaction. X-rays from the primary then cause atoms in the secondary's fuel to fuse and release still more energy.

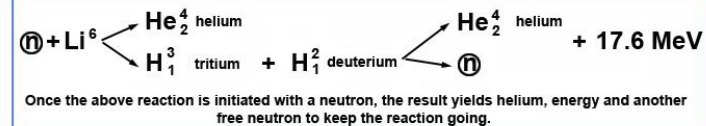
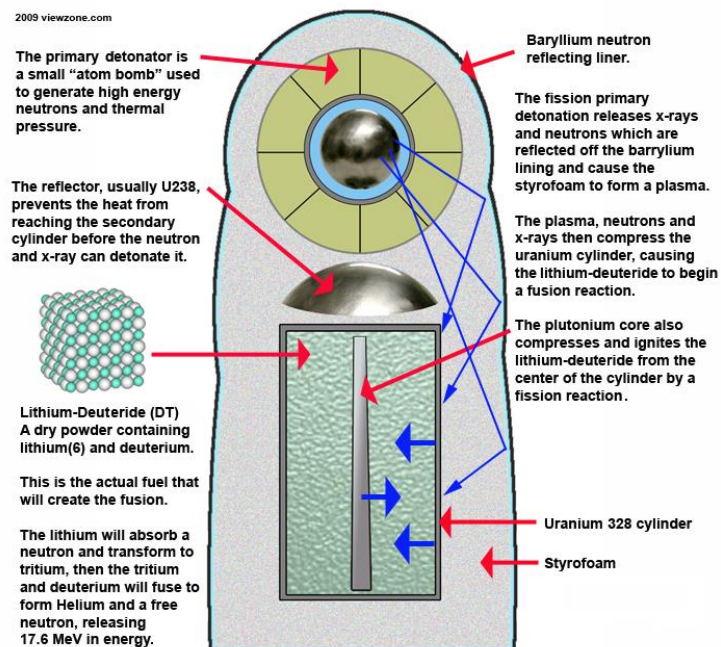
Cutaway of thermonuclear warhead

primary fission trigger



© 2008 Encyclopædia Britannica, Inc.

2009 viewzone.com



A principal fonte de trítio dos EUA desde 2003 foram hastes de absorção especiais contendo lítio-6 inseridas no núcleo do reator PWR de Watts Bar 1, da TVA.

Suprimentos precisam ser repostos devido à meia-vida de 12 anos do trítio, decaindo cerca de 5% ao ano

Conclusão

- *Li-7 como hidróxido é importante no controle da química da água de resfriamento dos reatores PWR*
- *Li-7 como fluoreto é um componente chave do fluido de resfriamento de reatores a sal fundido MSR*
- *Li-6 é uma fonte de trítio para uso em armas e reatores nucleares de fusão*

- *O suprimento de Li-7 para a indústria nuclear é concentrado em poucos fornecedores, sendo subproduto da produção de Li-6 para uso militar*
- *Encontram-se em desenvolvimento novos processos de separação de Li-7 com menor impacto ambiental que substituam o COLEX e permitam novos fornecedores para a indústria nuclear*

II Seminário sobre Lítio-Brasil



21 de julho de 2016 de 9 às 16h
Auditório CETEM

Usos do Lítio na indústria nuclear

**MUITO OBRIGADO
PELA ATENÇÃO!**

Leonam dos Santos Guimarães
Diretor de Planejamento, Gestão e Meio Ambiente