

MATERIAIS DE APLICAÇÃO NA ENGENHARIA NUCLEAR

Materiais dos Reatores Nucleares

Prof. Arnaldo Andrade e Raquel Lobo

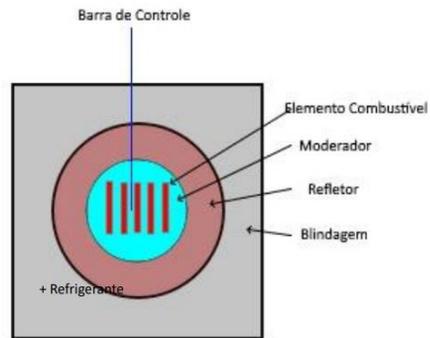
*Ipen*  
2022



08/03 – Dia Internacional da Mulher

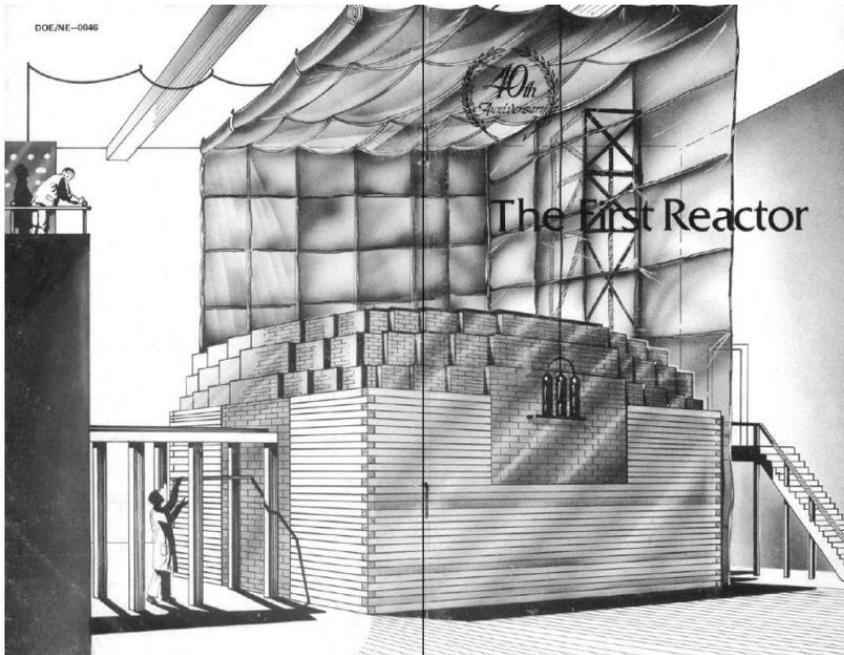
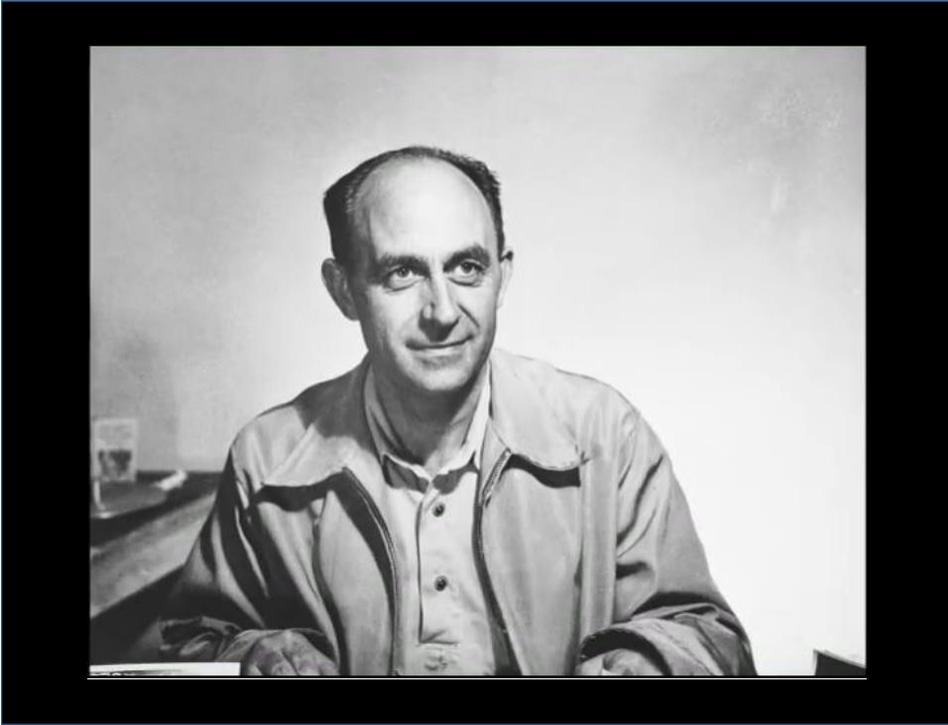
## Conceito de um Reator Nuclear

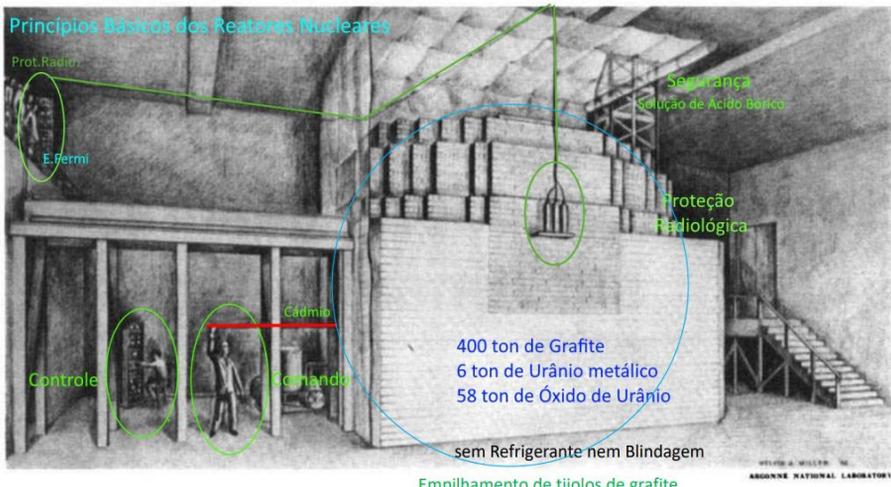
A Fissão Nuclear sob controle



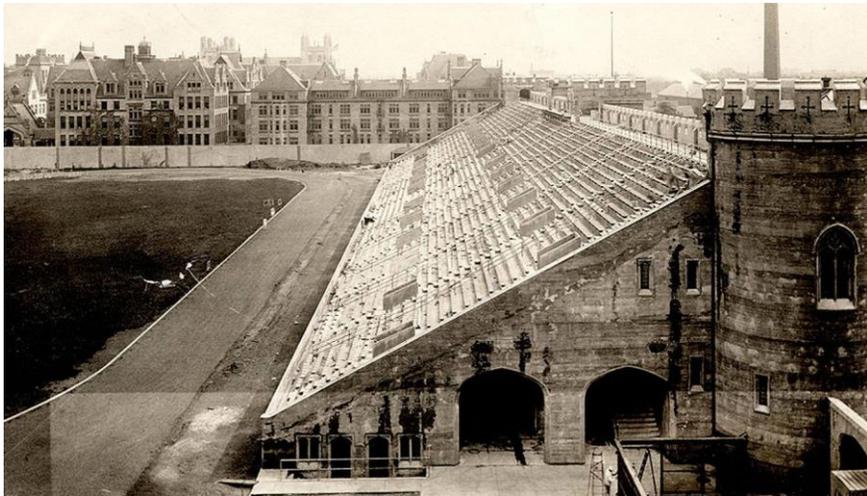
# CP1

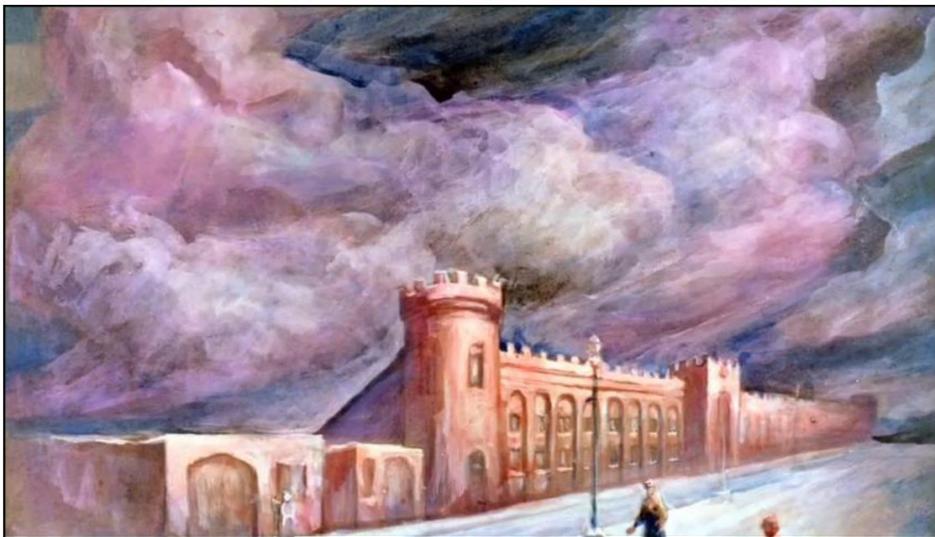
(Chicago Pile 1)



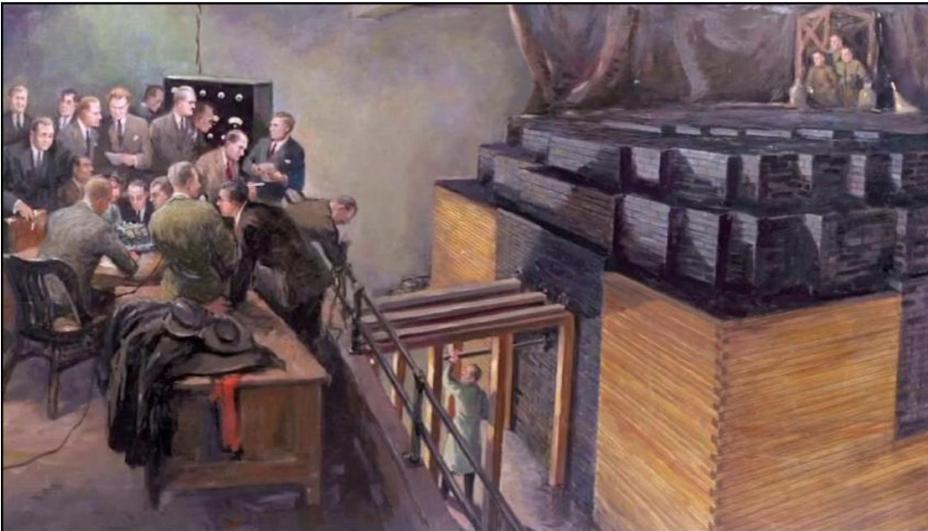
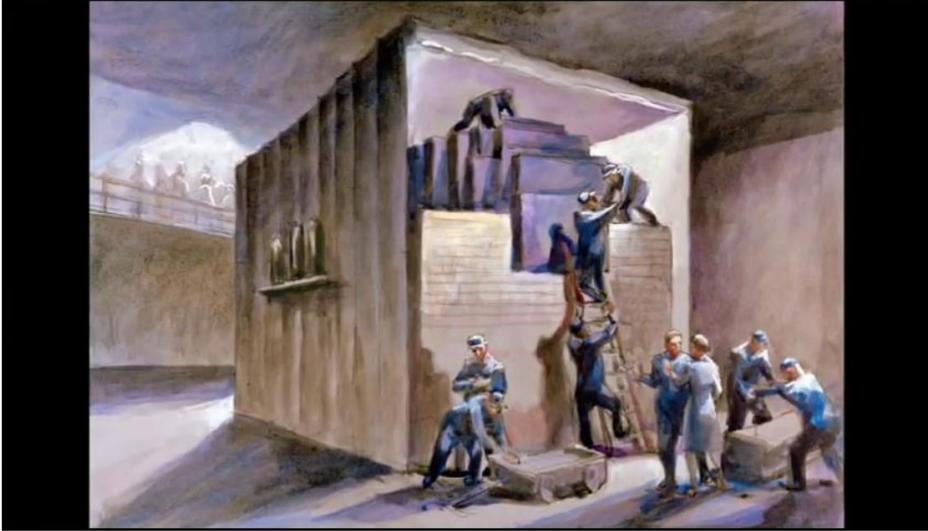


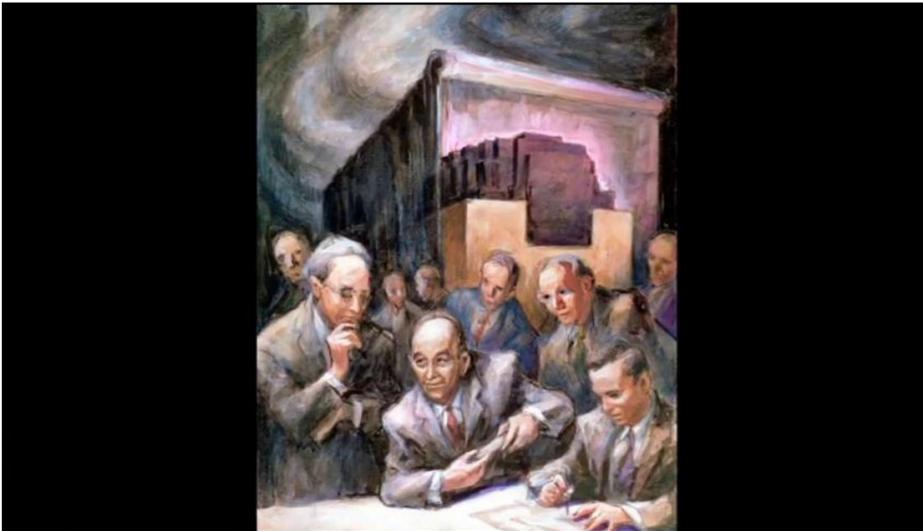
**La pile de Fermi** (document Argonne National Laboratory).

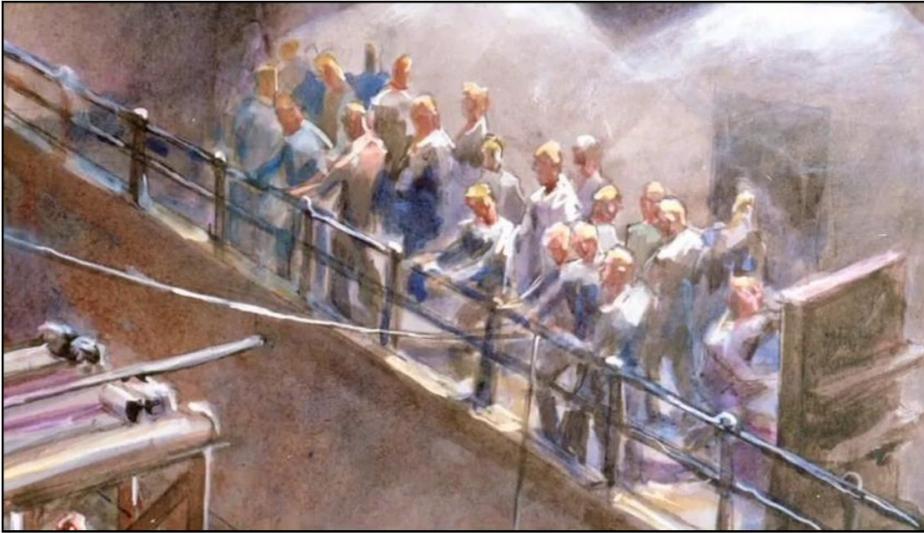


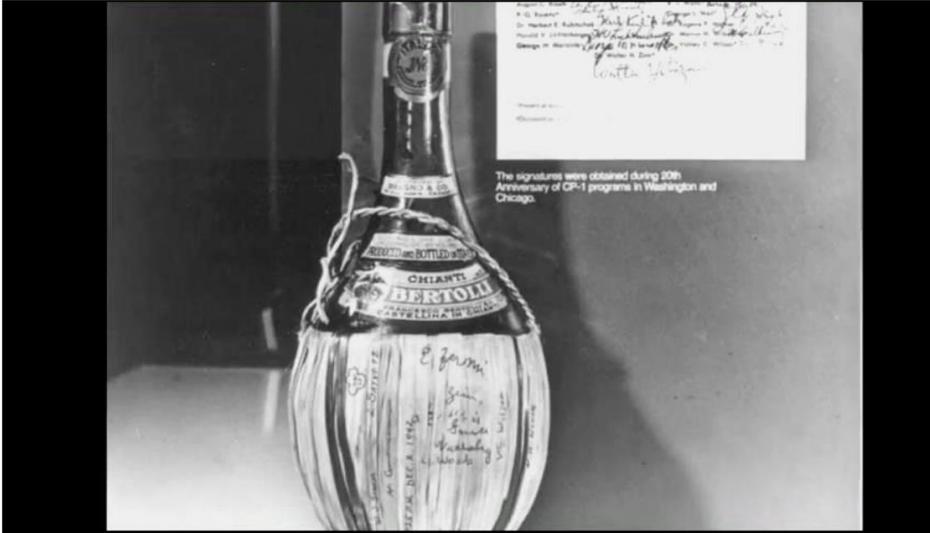






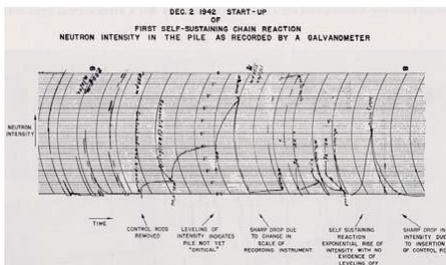




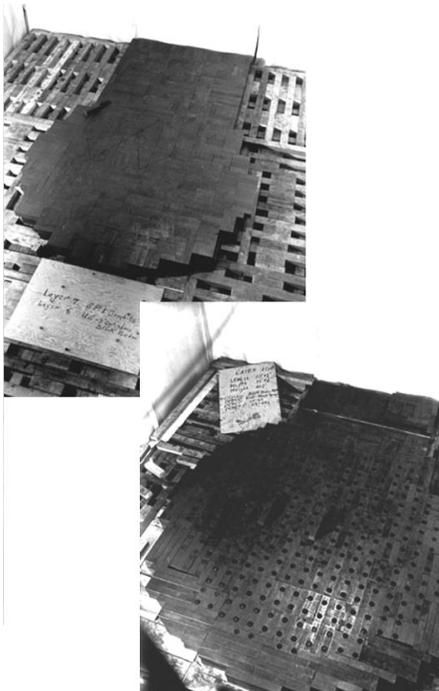


Enrico Fermi

Dec. 2, 1942



Início: 15:25  
Duração: ~ 28min





Acima da esquerda pra direita: Norman Hilberry, Samuel Allison, Thomas Brill, Robert G. Nobles, Warren Nyer, and Marvin Wilkening. No meio: Harold Agnew, William Sturm, Harold Lichtenberger, Leona W. Marshall, and Leo Szilard. Abaixo: Enrico Fermi, Walter H. Zinn, Albert Wattenberg, and Herbert L. Anderson.

A handwritten signature in cursive script that reads "Enrico Fermi".





(CP2)

## Seleção de Materiais

## Seleção de Materiais

Necessidade de escolha dos materiais mais apropriados para cada tipo de reator nuclear, orientada por especificações de projeto, tempo de serviço e demanda operacional de modo a garantir Seu bom desempenho

### Fatores a considerar

- Propriedades Nucleares
- Propriedades Mecânicas
- Propriedades Térmicas
- Propriedades Químicas
- Estabilidade à Irradiação
- Custo
- Reprocessamento

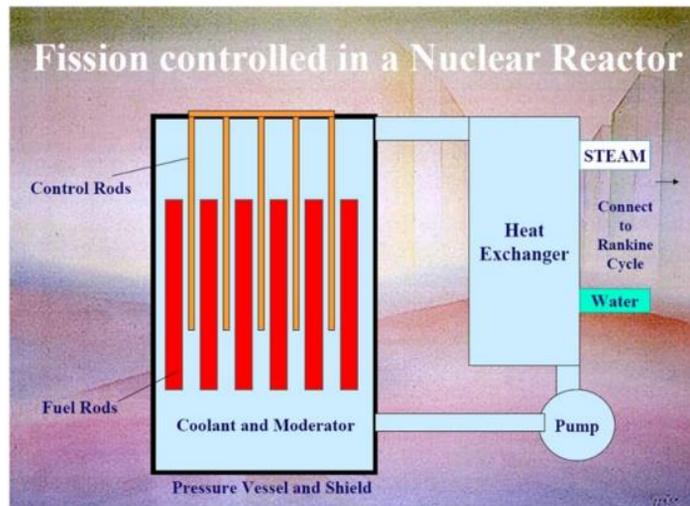
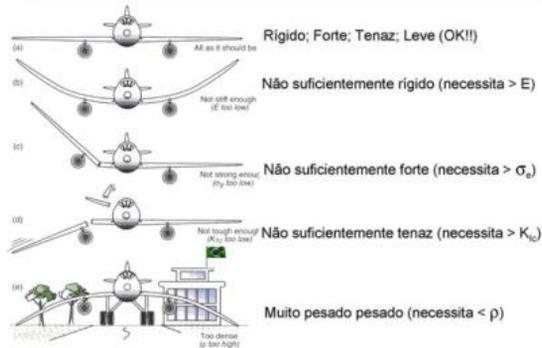
## Propriedades Gerais

- **Mecânicas**
  - Resistência
  - Ductilidade
  - Tenacidade
  - Integridade Estrutural
- **Químicas**
  - Resistência à Corrosão
  - Compatibilidade Química
- **Fabricação**
  - Conformabilidade
  - Soldabilidade
  - Usinabilidade
- **Térmicas**
  - Coeficientes de Transferência de Calor
- **Disponibilidade e Custo**

## Propriedades Específicas

- **Neutrônicas**
  - Seção de choque de captura
  - Seção de choque de fissão
  - Razão e poder de moderação
- **Radioatividade Induzida**
  - Produção de emissores de raios  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$
  - Geração de calor
- **Estabilidade à Irradiação**
  - Inchamento (swelling)
  - Fluência (creep)
  - Fadiga (ciclagem térmica)
  - Fratura
- **Interação Química e Interdifusão**
- **Facilidade de Reprocessamento do Combustível**

### Exemplo de Aplicação: Propriedades Mecânicas



### *What goes in a nuclear reactor?*

Fuel	Coolant	Moderator	Materials	Control
ceramic metallic particle dispersion nitride	water sodium gas liquid metal	water graphite	steel zircaloy graphite advanced alloys	fixed (control rods) soluble boron Ag-In-Cd

- Continual effort to improve nuclear power:
  - more efficient (better fuel utilization, better heat removal)
  - more economical (construction and operations)
  - safer (better accident/off-normal response)

Reator Nuclear de Pesquisa IEA-R1

IPEN



IEA-R1

MB01



**PRÉDIO DO REATOR**

Tempo de construção: 1ano e 16 dias

Área coberta: 2.000 m<sup>2</sup>

Quantidade de concreto: 1.600 m<sup>3</sup>

**1956/57**



1957



Prédio do Reator IEA-R1

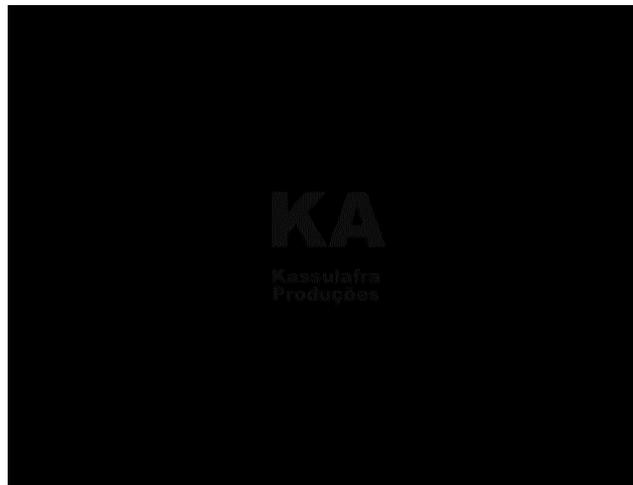


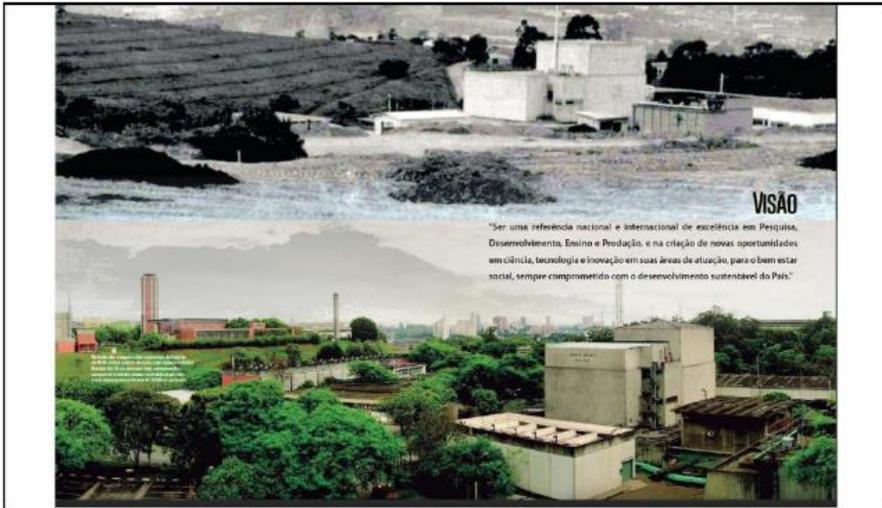


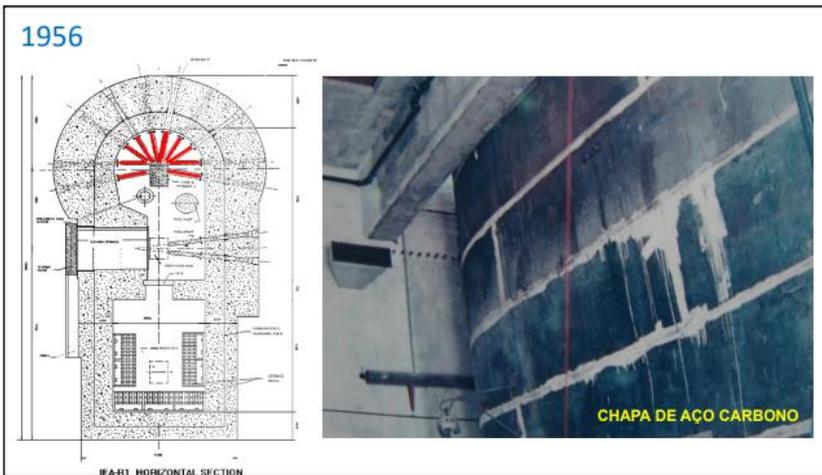
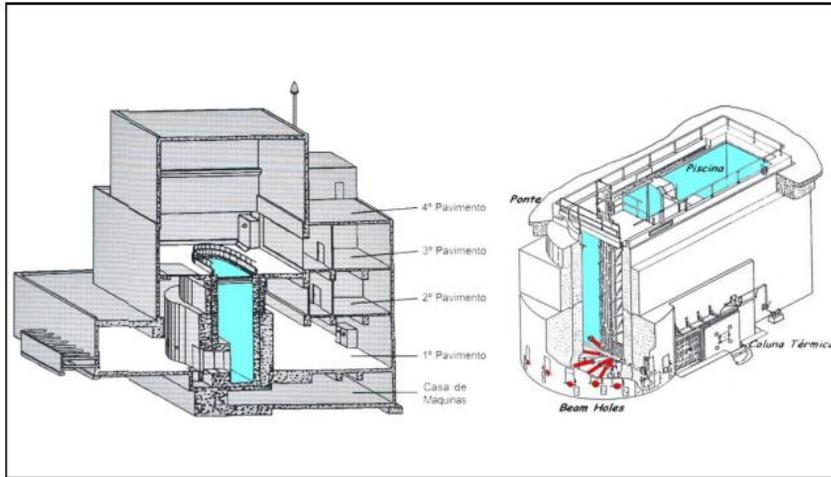
"a inauguração deste Reator Atômico, na presença do Presidente Kubitschek, assinala uma das datas mais memoráveis na civilização paulista. Dá à SP e à Nação o primado sul americano quanto a pesquisa atômica" (Governador Jânio Quadros, 25/01/58)

Video

IPEN IEA-R1









-O reator IEA-R1 é do tipo piscina aberta, moderado a água leve e utiliza grafite e berílio como refletor

-Foi projetado e construído pela empresa americana Babcock & Wilcox Co em 1956

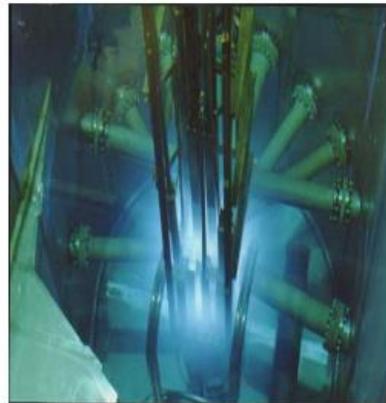
-A primeira criticidade ocorreu em 16 de Setembro de 1957

-Nível de potência: 2 MW (até 1997)  
-4.5 MW

-Ciclo de operação: 64 h contínuas por semana

-O Núcleo possui 20 elementos tipo padrão e 4 de controle

-enriquecimento: 20 w/o





# Cherenkov effect

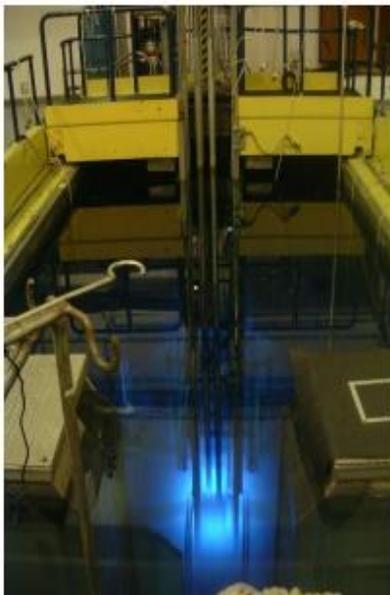
International Atomic Energy Agency (IAEA)  
27 de dezembro de 2017

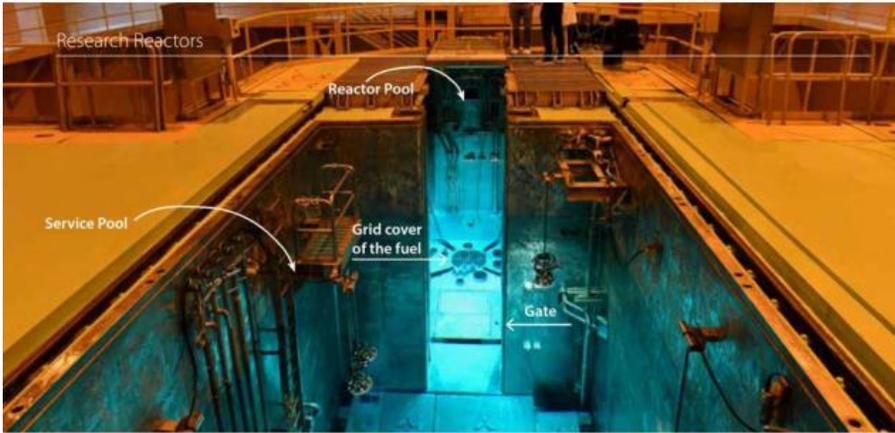
Fuel rods inside nuclear reactors glow with a distinct **bluish light**, but do you know why?

This light comes from **charged particles moving at very high speeds** inside the reactor. These particles pass through an insulating medium such as water **faster than light** does in this same medium.

As they pass through the water, the charged particles increase the energy of the water's atoms, and these atoms try to **return to a state of equilibrium by releasing photons**. These photons have **very high energy**, and therefore shorter wavelengths. The shorter the wavelengths, the bluer the light.

This phenomenon is known as the Cherenkov effect, named after Pavel Cherenkov. **Cherenkov won the 1958 Nobel Prize in Physics** for being the first person to determine the reason for this bluish glow.





**ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS TIPO MTR**  
 $U_3O_8Al - 11,7g/211g$   
 $U_3Si_2Al - 15,5g/280g$

elemento combustível

## Utilização do Reator IEA-R1

- Produção de radioisótopos
- Análise por Ativação Neutronic
- Dopagem de silício
- Teste de materiais
- Treinamento
- Pesquisa em Física Nuclear
- Neutronografia
- Espalhamento com neutrons
- Terapia por captura de neutrons



## Produção de radioisótopos

### ➤ $^{131}\text{I}$

(~25Ci por semana -corresponde a aproximadamente 70% da demanda nacional que é de ~35Ci por semana)

### ➤ $^{153}\text{Sm}$ (100%)

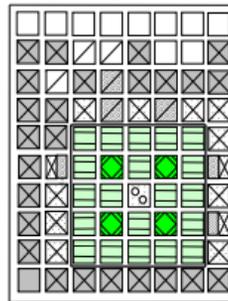
(analgésico)

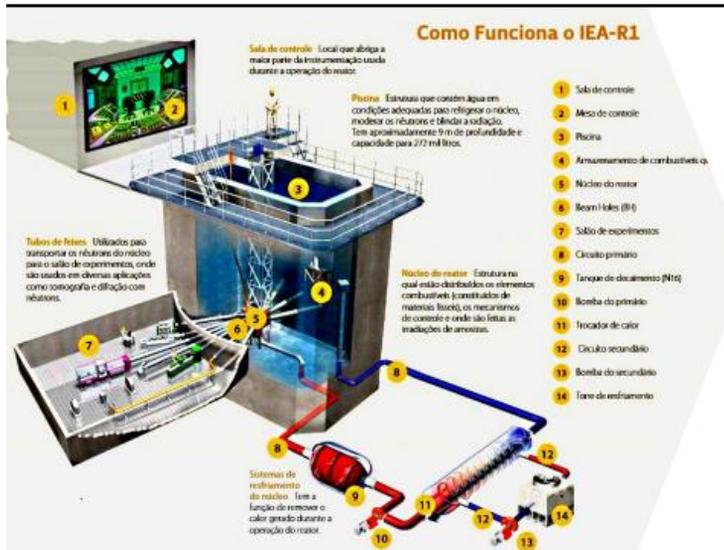
### ➤ $^{41}\text{Ar}$ and $^{82}\text{Br}$

(inspeção industrial)

### ➤ $^{192}\text{Ir}$ e $^{198}\text{Au}$

(Braquiterapia)





## TRANSPORTE DE COMBUSTÍVEIS QUEIMADOS PARA OS ESTADOS UNIDOS



1999 (127)



2007 (33)





MB-01







100ª Edição

# ORBITA

Rev. 07/11  
Número 138  
Novembro/Dezembro 2018



Publicação Bimestral do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

## Reator IPEN/MB-01 comemora 30 anos de operação com novo núcleo para simular RMB



Pesquisadores, técnicos e operadores comemoram os 30 anos do Reator Nuclear IPEN/MB-01, que atingiu sua primeira criticidade às 15h35 do 9 de novembro de 1988. Celebração marca também a entrega do novo núcleo, com elemento combustível do tipo placa, que vai simular a física de nêutrons do núcleo do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB). Os 19 elementos combustíveis do IPEN/MB-01 foram produzidos pelo Centro do Combustível Nuclear (CCN).

Págs. 8 e 9



*Reator Nuclear IPEN/MB-01 – 30 anos*

Concebido por pesquisadores e engenheiros do IPEN, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares e do Ministério da Energia, o Reator IPEN/MB-01 é o único reator nucleográfico português em funcionamento. Possui uma potência térmica de 30 MW e é operado em regime de potência para a produção e calibração de células solares. Também serve de laboratório de testes de materiais, para a produção de compostos químicos e de materiais especiais, para a produção de radioisótopos e para a produção de materiais para a indústria nuclear. O Reator Nuclear IPEN/MB-01 é o único reator nucleográfico português em funcionamento. Possui uma potência térmica de 30 MW e é operado em regime de potência para a produção e calibração de células solares. Também serve de laboratório de testes de materiais, para a produção de compostos químicos e de materiais especiais, para a produção de radioisótopos e para a produção de materiais para a indústria nuclear. O Reator Nuclear IPEN/MB-01 é o único reator nucleográfico português em funcionamento. Possui uma potência térmica de 30 MW e é operado em regime de potência para a produção e calibração de células solares. Também serve de laboratório de testes de materiais, para a produção de compostos químicos e de materiais especiais, para a produção de radioisótopos e para a produção de materiais para a indústria nuclear.



Sala de Controle – MB01

**NÚMERO DE REATORES DE PESQUISA EM  
OPERAÇÃO NO MUNDO**  
(IAEA – setembro 2011)

Europa	108	
Ásia	62	
América Latina	18	
América do Norte	49	
África	9	<b>Total: 246</b>



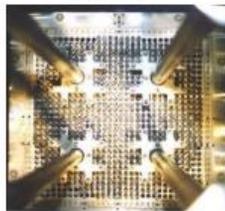
Reatores de Pesquisa no Brasil



IEA-R1



ARGONAUTA



MB-01

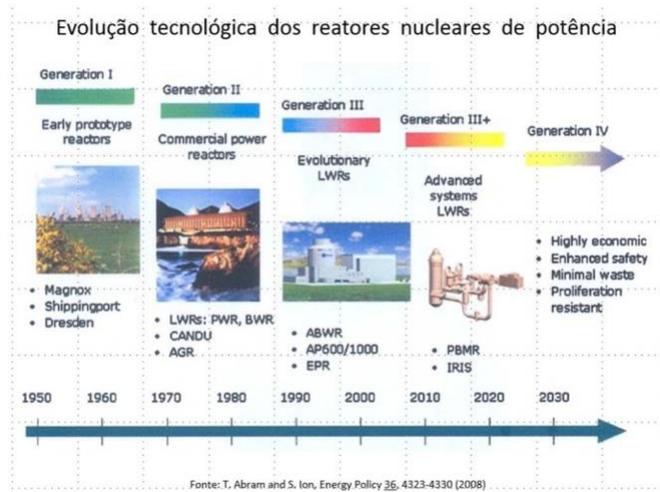


IPR-R1

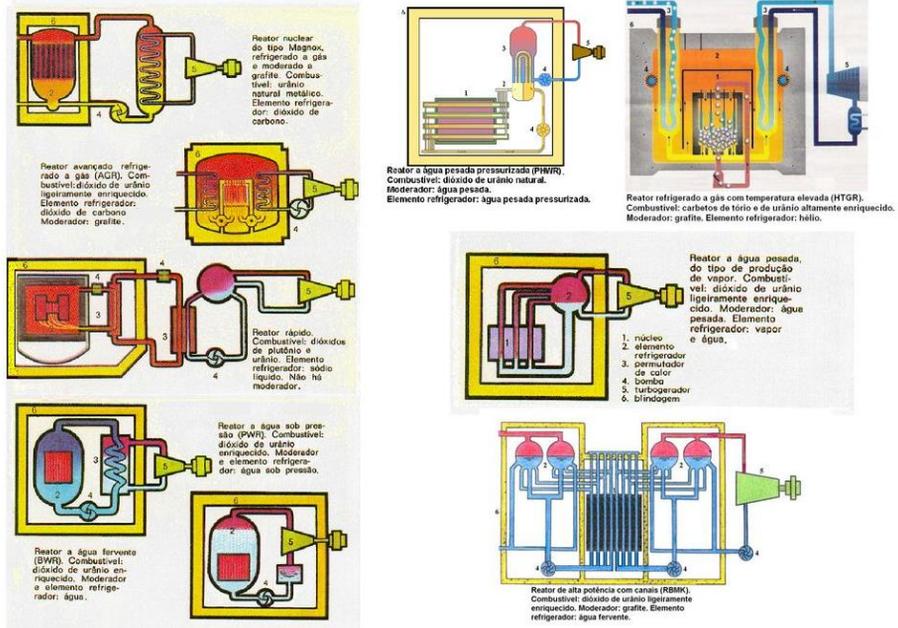


## REATORES NUCLEARES NO BRASIL

<i>Reator</i>	<i>Local</i>	<i>Potência térmica</i>	<i>Utilização</i>
Angra 1	Angra do Reis (Estado do RJ)	1.800 MW 657 MWe	Reator de Potência
Angra 2	Angra do Reis (Estado do RJ)	3.600 MW 1.350 MWe	Reator de Potência
IEA-R1	São Paulo	5 MW	Reator de Pesquisa
Triga IPR-R1	Belo Horizonte	250 kW	Reator de Pesquisa
Argonauta	Rio de Janeiro	200 W	Reator de Pesquisa
IPEN-MB1	São Paulo	100 W	Reator de Pesquisa



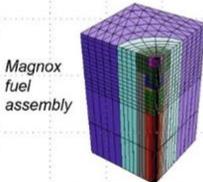
## 4 – Tipos de reatores nucleares de potência



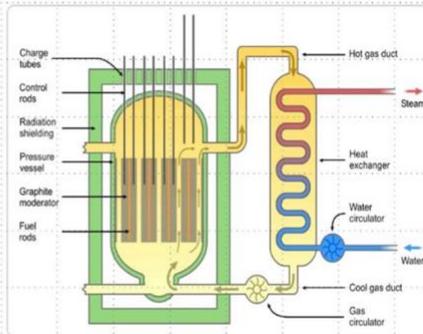
### Generation I: Magnox reactor (UK design)



Wylfa, Anglesey (UK)  
2 x 490 MW<sub>e</sub> units



Magnox fuel assembly

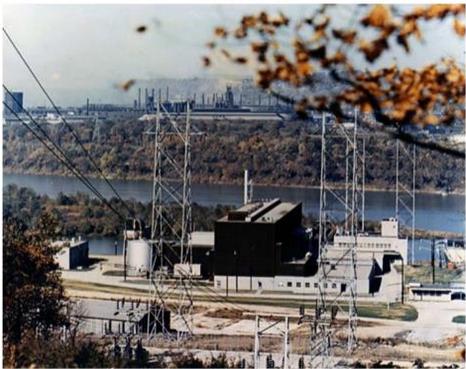


- Natural uranium
- Graphite moderated
- CO<sub>2</sub> cooled
- Relatively inefficient



1956:  
Calder Hall  
United Kingdom

Shippingport

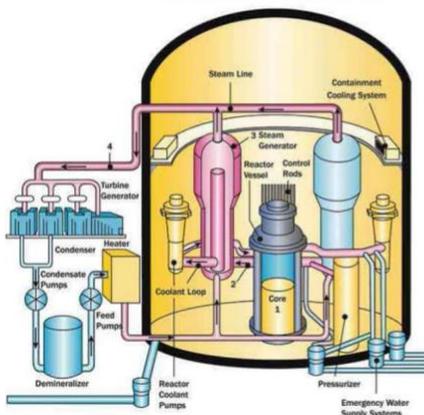


1957 – First commercial power reactor

# Geração II

<http://www.nrc.gov/reactors/pwrs.html>

Typical Pressurized-Water Reactor

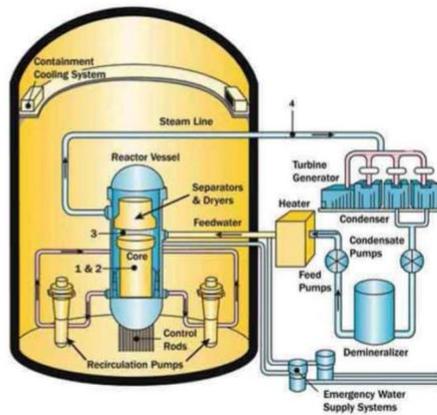


This image is in the public domain.

PWR

<http://www.nrc.gov/reactors/bwrs.html>

Typical Boiling-Water Reactor

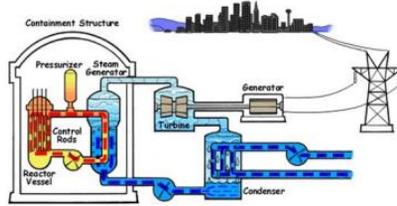


This image is in the public domain.

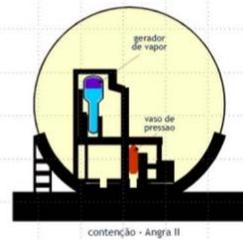
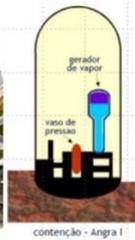
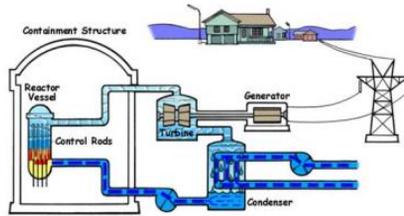
BWR

Most Common  
Reactor Types  
in Use

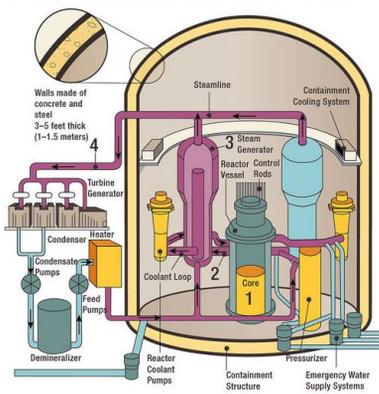
**Pressurized  
Water Reactor  
(PWR)**



**Boiling  
Water  
Reactor  
(BWR)**

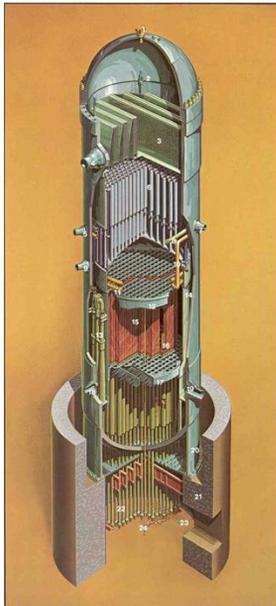
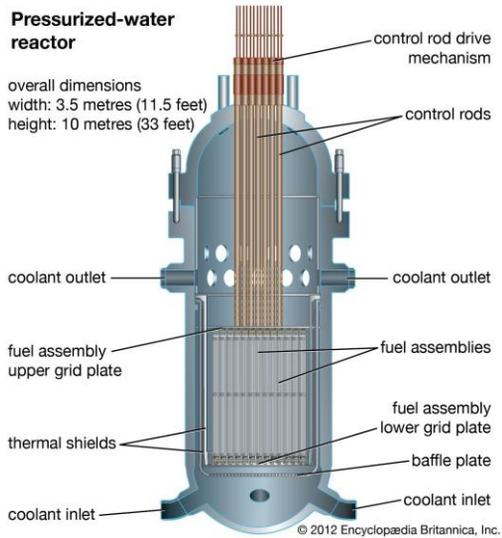


PWR



**Pressurized-water reactor**

overall dimensions  
width: 3.5 metres (11.5 feet)  
height: 10 metres (33 feet)

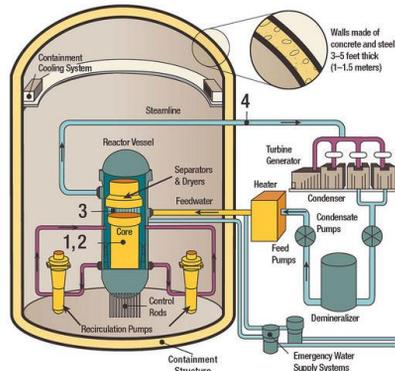


**BWR/6**  
REACTOR ASSEMBLY

1. VENT AND HEAD SPRAY
2. STEAM DRYER LIFTING LUG
3. STEAM DRYER ASSEMBLY
4. STEAM OUTLET
5. CORE SPRAY INLET
6. CORE SPRAY SPARGER
7. FEEDWATER INLET
8. FEEDWATER SPARGER
9. LOW PRESSURE COOLANT INJECTOR INLET
10. CORE SPRAY LINE
11. CORE SPRAY SPARGER
12. TOP GUIDE
13. JET PUMP ASSEMBLY
14. CORE SHROUD
15. FUEL ASSEMBLIES
16. CONTROL BLADE
17. CORE PLATE
18. JET PUMP / RECIRCULATION WATER INLET
19. RECIRCULATION WATER OUTLET
20. VESSEL SUPPORT SKIRT
21. SHIELD WALL
22. CONTROL ROD DRIVES
23. CONTROL ROD DRIVE HYDRAULIC LINES
24. IN-CORE FLUX MONITOR

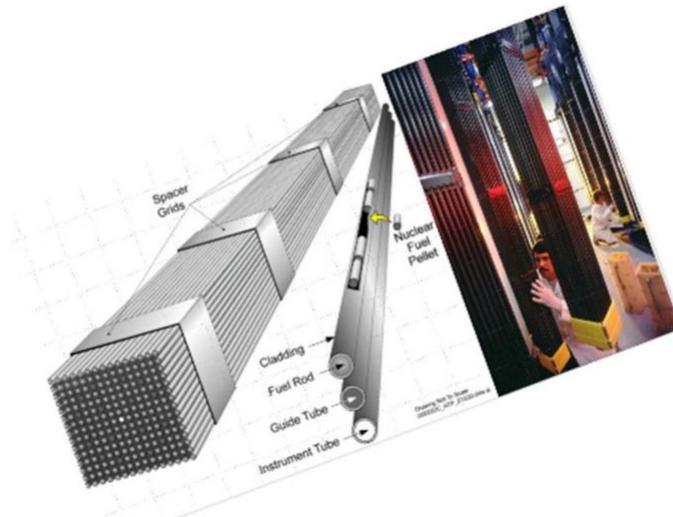
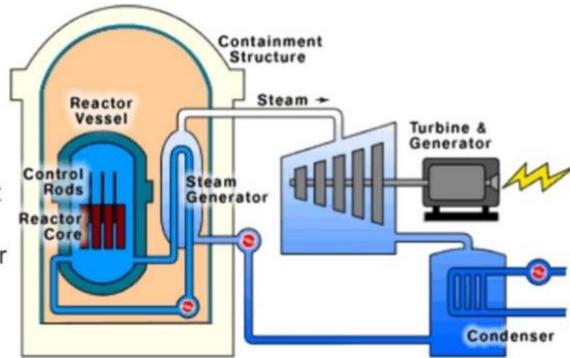
GENERAL ELECTRIC

BWR



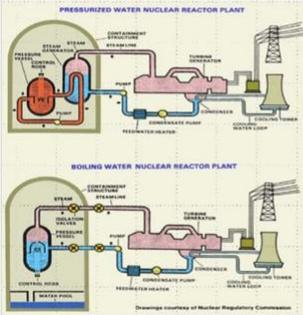
## Pressurized Water Reactor

- Coolant water is pressurized to prevent boiling
- 325°C outlet temperature
- >1000 Mw<sub>e</sub>
- Soluble poison and chemistry adjustment in coolant water
- Most common reactor design



BWR vs PWR

Light Water Reactors are Dominant  
Pressurised Water & Boiling Water Reactors



- PWR**
- Derived from submarine propulsion reactors & widely installed around the world ~ half of world capacity;
  - Low thermal efficiency ~33%;
  - Major problem was Three Mile Island in 1981 where minor fault led to confusing signals & operators damaged reactor;
  - Initial materials problems led to low reliability - since rectified
  - Now preferred in EU, Russia & China, sharing market in US with BWR

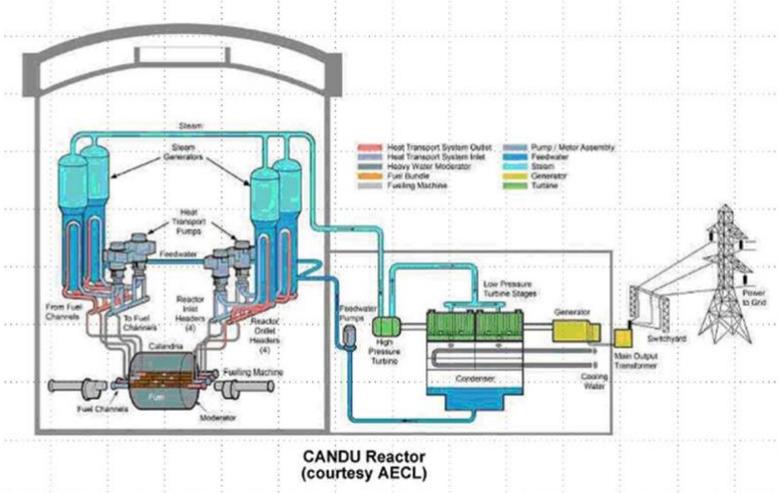
- BWR**
- Simpler plant with integrated core cooling and power cycle, high radiation dose from operation;
  - Core and steam separation integrated in one vessel;
  - Activated nitrogen<sub>2</sub> limits access to turbine during operation;
  - Some doubts about safety containment;
  - More complex coolant chemistry;
  - Popular in US, Sweden and Japan.

Advantages

- Simple configuration, no steam generator heat-exchangers.
- Greater **thermal efficiency** than a PWR operating at the same core temperature.
- Able to "follow" the demand for electricity as it varies from weekday to week-night and on weekends.
- Pressure vessel is subject to little irradiation, and so does not become as brittle with age.

Disadvantages

- Complex design and operational calculations (less of a factor with modern computers).
- Much larger pressure vessel than for a PWR of similar power, with correspondingly higher cost.
- Contamination of the turbine by fission products (less of a factor with modern fuel technology).
- Operates at Lower Temperature than a PWR, which offsets the efficiency advantages of a more direct Nuclear Steam Supply System (NSSS).



CANDU

