National Academy of Sciences of Ukraine
National Science Center
“Kharkiv Institute of Physics and Technology”
V.N. Karazin Kharkiv National University

Lecture #2: Innovative Nuclear Reactors

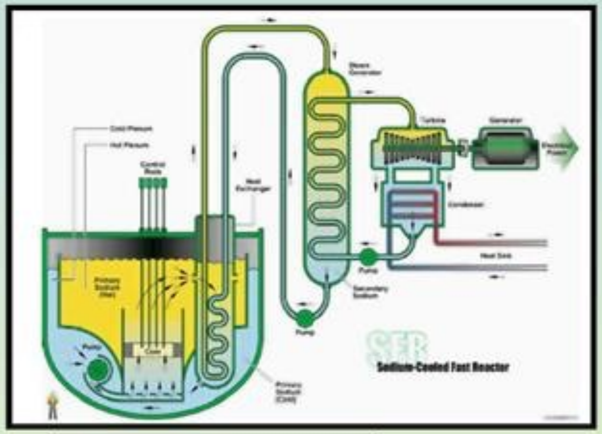
Sergii P. Fomin

Leading researcher, PhD, Akhiezer Institute for Theoretical Physics
National Science Center “Kharkiv Institute of Physics and Technology”

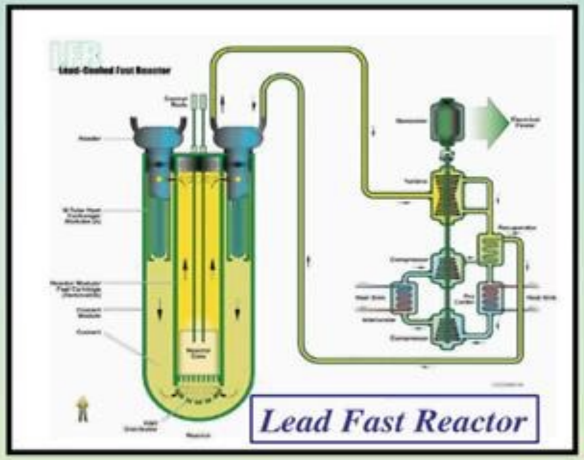
e-mail: spfomin@gmail.com

Kutaisi International University   01-03 November 2024   Kutaisi, Georgia

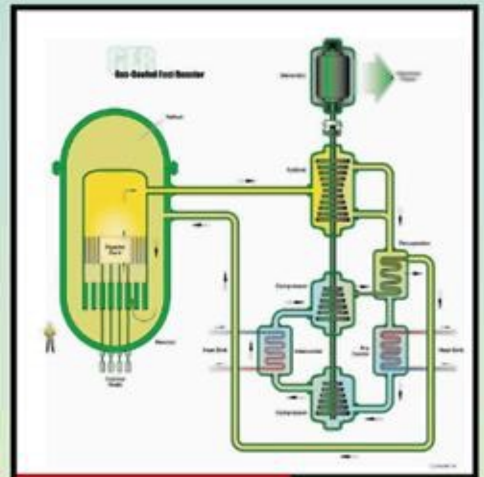
Generation IV Reactors



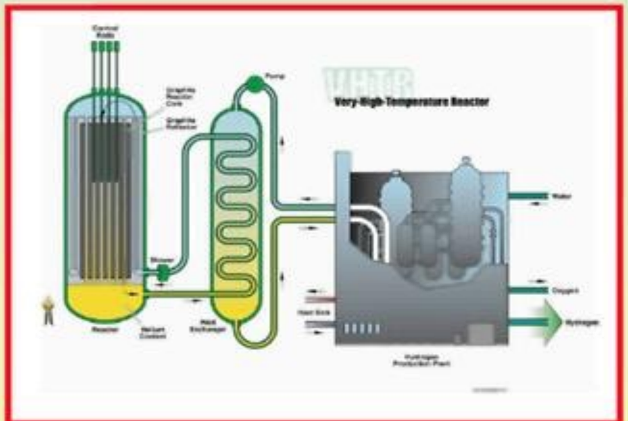
Sodium Fast Reactor



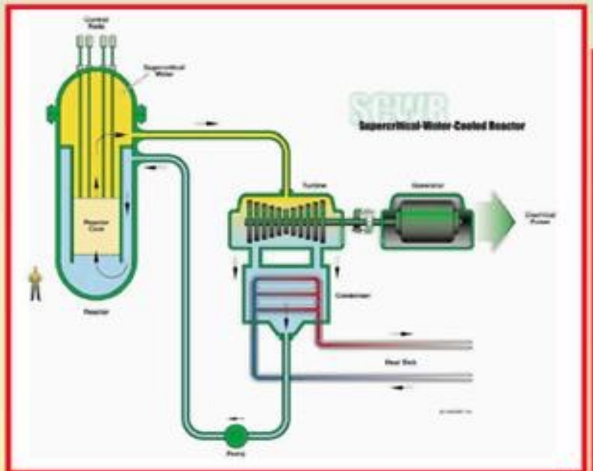
Lead Fast Reactor



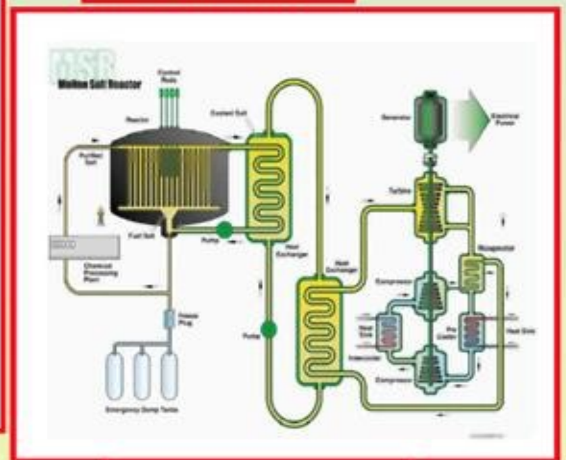
Gas Fast Reactor



Very High Temperature Reactor

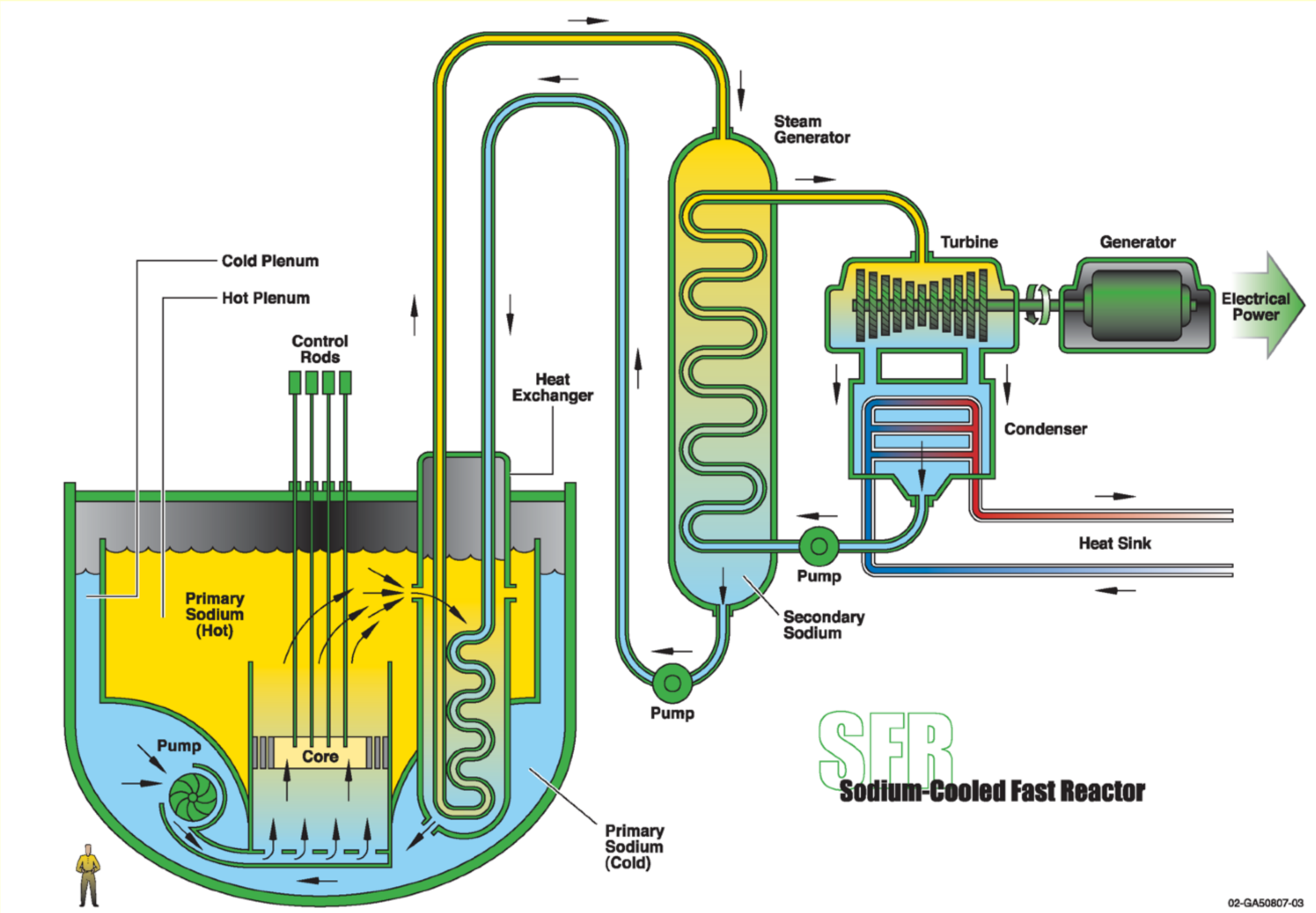


Supercritical Water-cooled Reactor



Molten Salt Reactor

Sodium-Cooled Fast Reactor— SFR



BN-350 (1973-1998) **was the first FR for power production !!!**

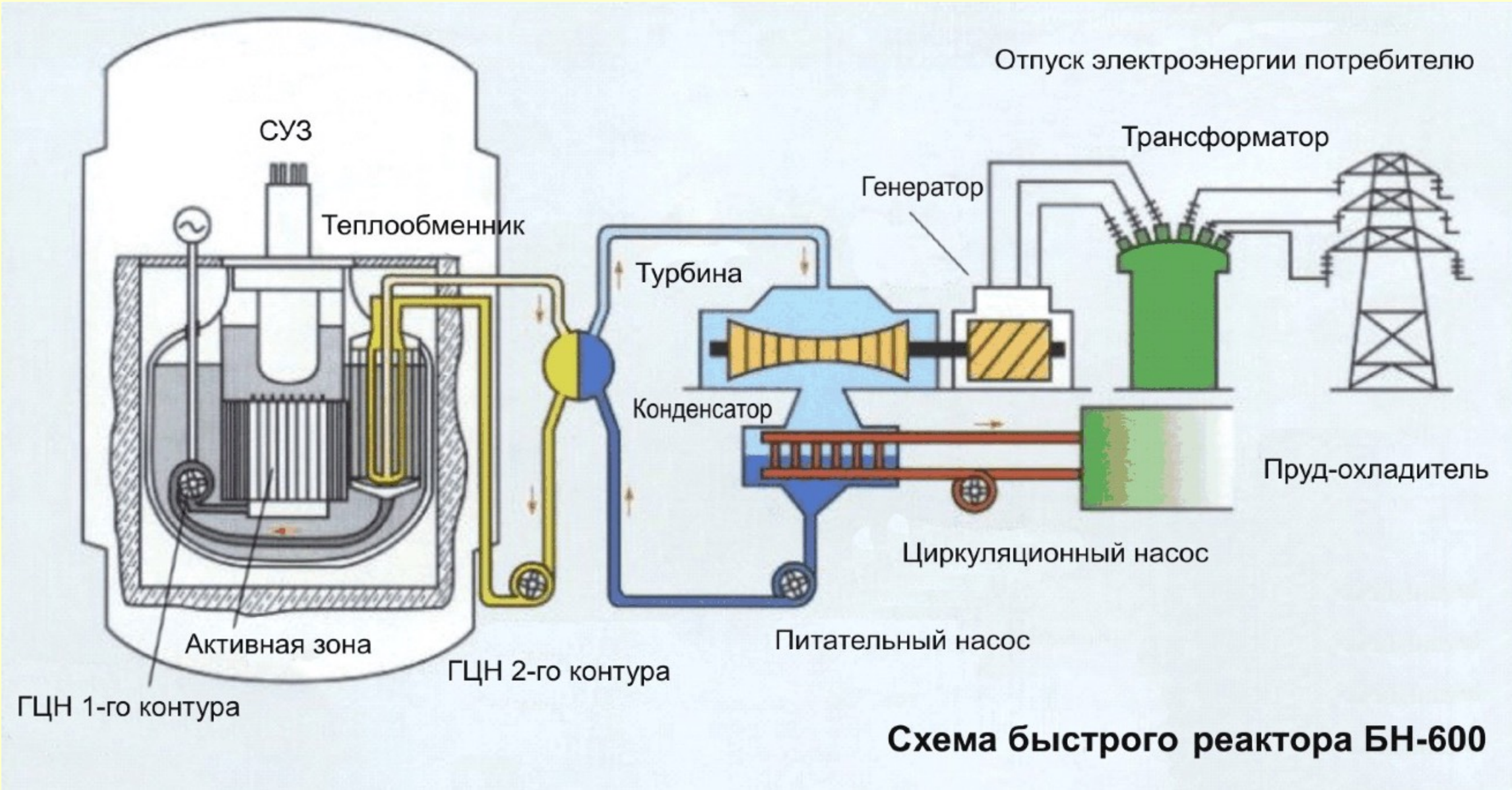
W_{th} = 1000 MW, W_{el} = 350 MW Fuel – UO_2 , Coolant - Na

BN-600 (1980-2010-2020…2040) **was the longest FR campaign !!!**

W_{th} = 1500 MW, W_{el} = 600 MW Fuel – UO_2 , Coolant - Na

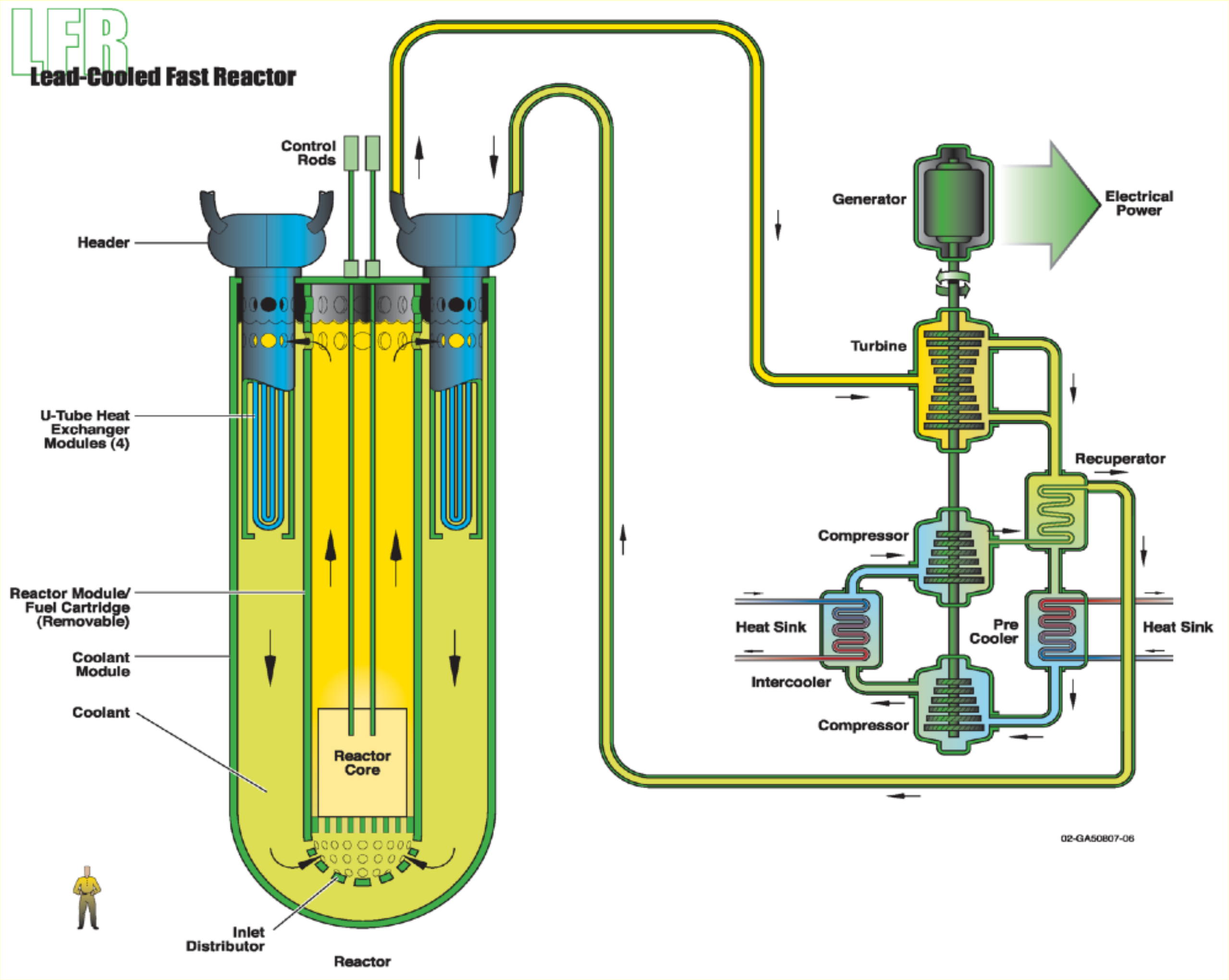
BN-800 (2015- …) **was the longest FR campaign !!!**

W_{th} = 2100 MW, W_{el} = 880 MW **Fuel – PuO_2+UO_2** , Coolant - Na

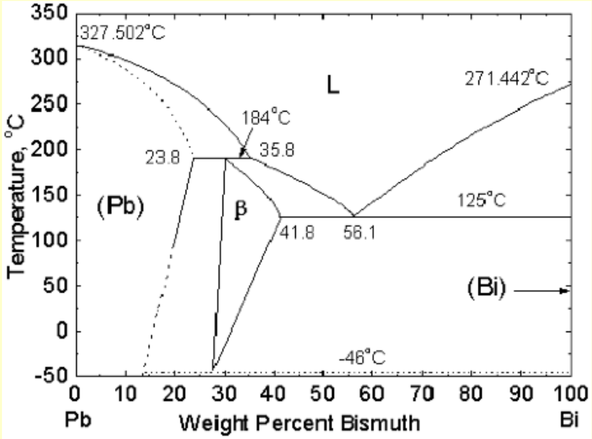


Lead-Cooled (or Heavy Metal-Cooled) Fast Reactor (LFR & HMFR)

Outlet temperature - 550°C, for reactor blocks - 750-800°C



Pb або Pb-Bi Eutectics



Melting Temperature:

Pb - 327°C

Bi - 271°C

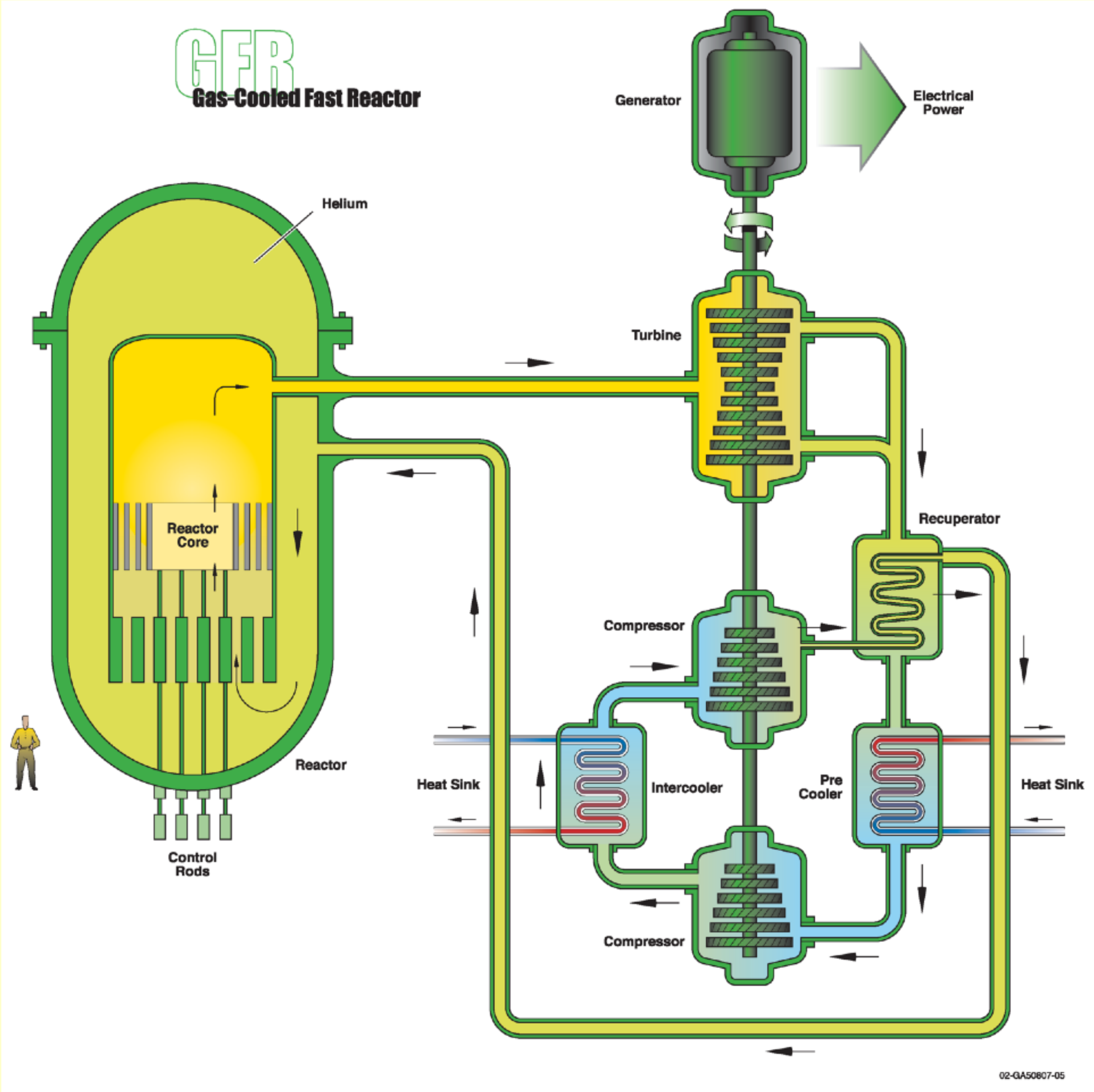
45% Pb & 55% Bi

Eutectics - 125°C

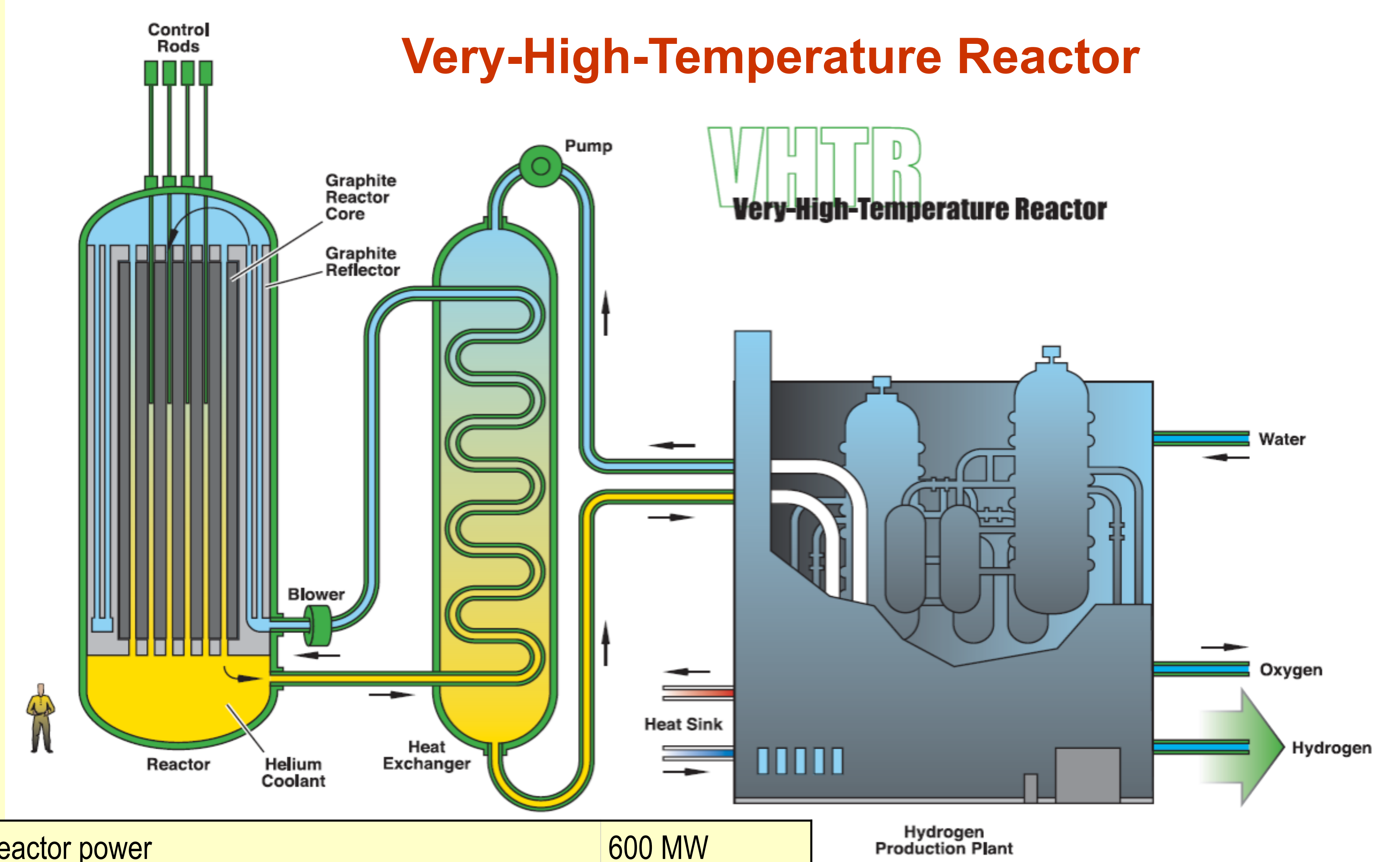
Gas-Cooled Fast Reactor - GFR

High temperature of the coolant input/output: **490 / 850°C** allows you to generate electricity, Produce hydrogen or give off heat with more efficiency up to **48%**.

Power (thermal)	**600 MW**
Efficiency	**48 %**
Coolant temp. inlet / outlet	**490°C/850°C**
Coolant pressure	**90 MPa**
Energy release density	**100 MW/m³**
Fuel UPuC/SiC	**70 / 30% 20% Pu**
Volume fraction Fuel/Coolant/SiC	**50 / 40 / 10%**
Radiation damage	**60 dpa (5%)**



Very-High-Temperature Reactor

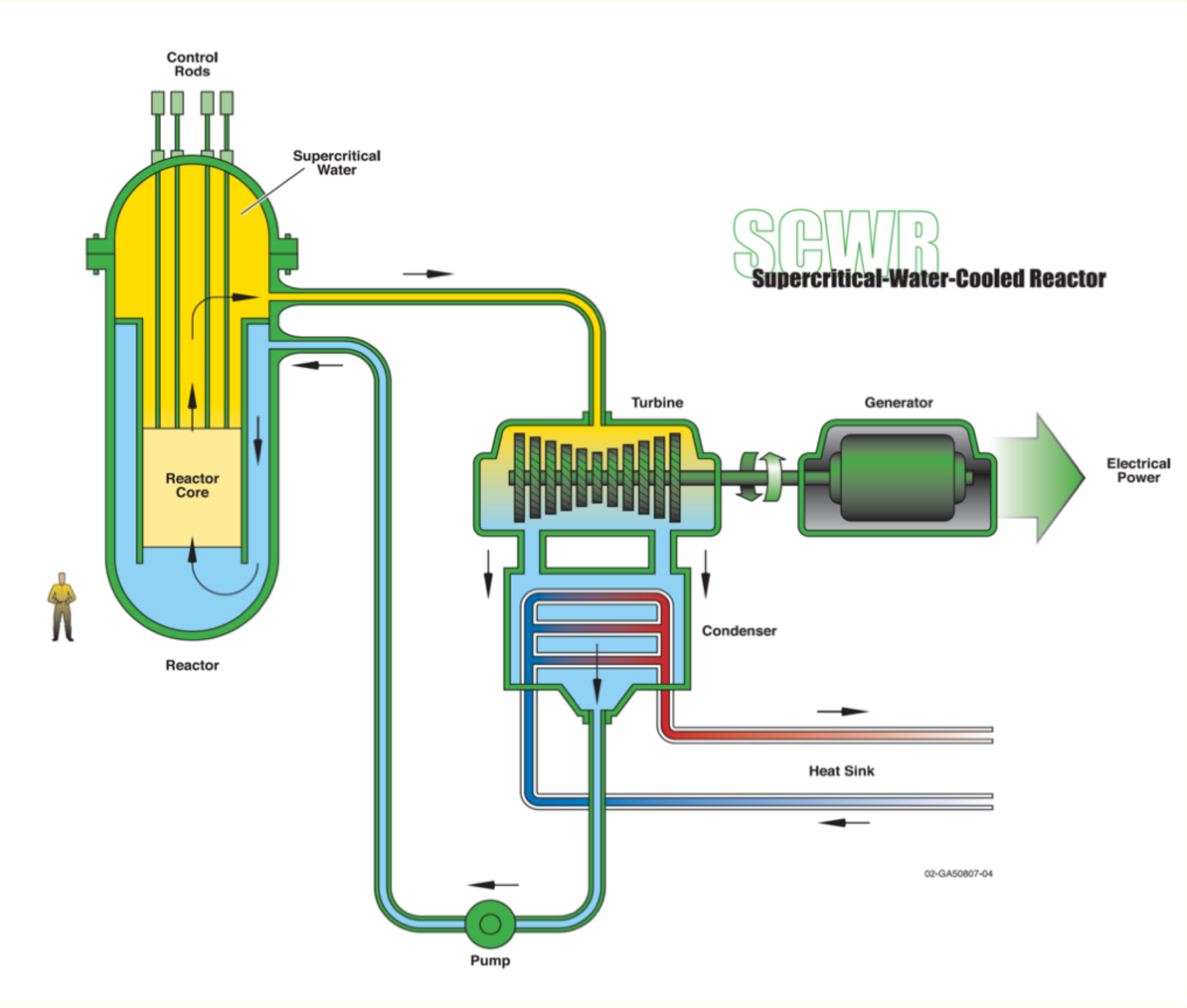


Reactor power	600 MW
Coolant inlet/output temperatures	640/1000°C
Helium mass flow	320 kg/s
Average density of energy release	6–10 MW/$м^3$
Efficiency of the station	>50%

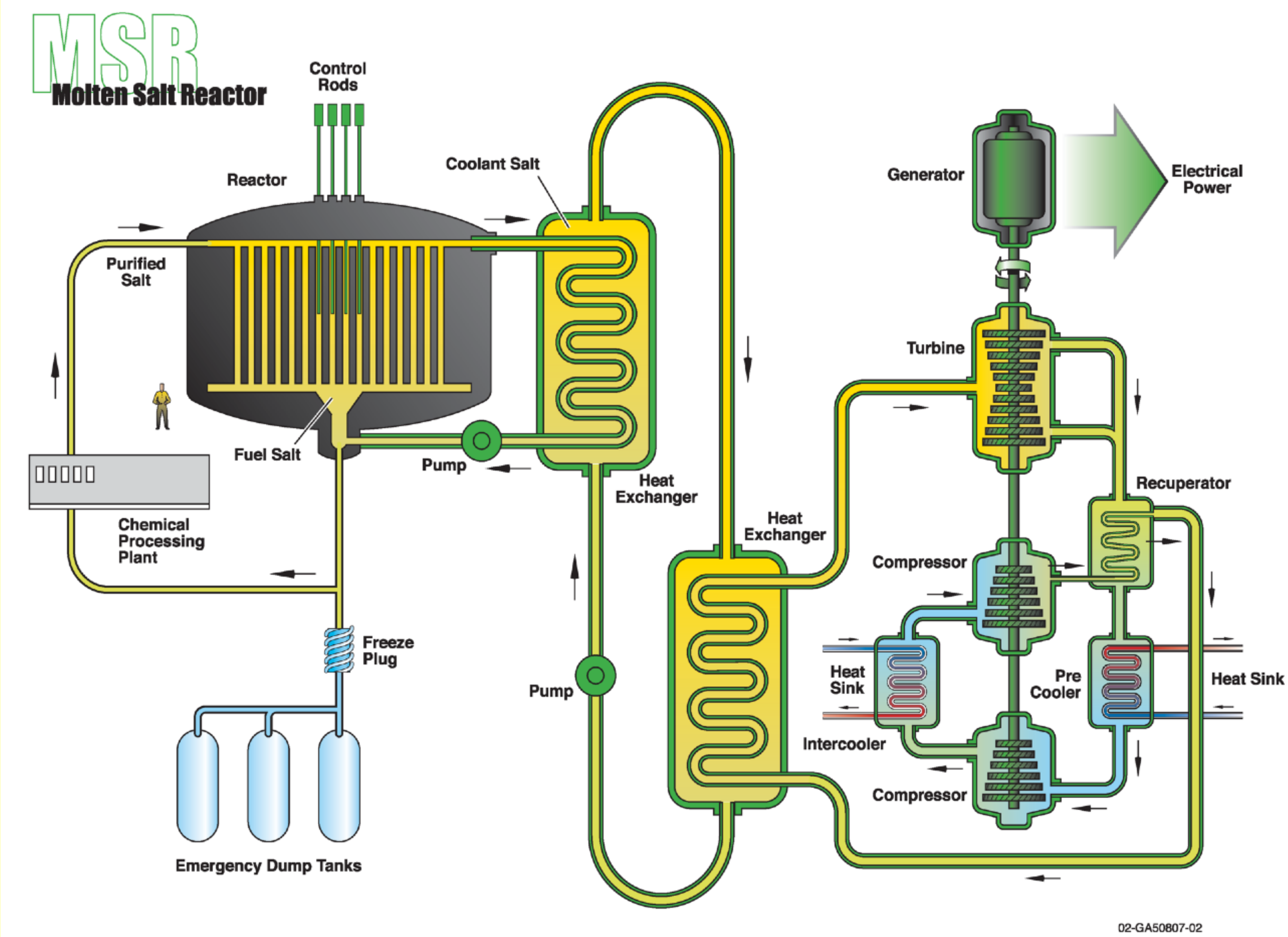
The main problem is new materials with high anti-corrosion properties at high temperatures!

SuperCritical-Water-cooled Reactor— SCWR)

Power (thermal)	1700 MW
Efficiency	44 %
Coolant temp. inlet / outlet	280°C/510°C
Coolant pressure	25 МПа
Energy release density	100 MW/m³
Fuel	UO_2
Average burnout	~ 45 GW d/t
Radiation damage	10 – 30 dpa



Molten Salt Reactor



Molten Salt Reactor - fluoride of Li, Be, Zr, U

Advantages:

- Low pressure in the reactor body (0.1 atm) - very cheap housing
- High temperatures of the 1st circuit - 540 °C, high efficiency (up to 44%)
- It is possible to organize continuous withdrawal of fission products from the 1st circuit and its recharge with fresh fuel
- High fuel efficiency
- Ability to build a multiplier reactor or converter
- Possibility of using thorium fuel cycles
- Metal fluorides, unlike liquid sodium, practically do not interact with water and do not burn.
- Possibility of output of xenon (to avoid poisoning of the reactor) by simple blowing of the coolant with helium in the HCN => the ability to work in modes with constant power change.

Disadvantages:

The need to organize fuel processing at nuclear power plants.

Low reproduction coefficient K_R ~ 1.06 for compared to liquid metal reactors with sodium

Significantly higher (2-3 times) tritium emissions compared to water-water reactors,

Lack of construction materials.

Accelerator Driven (subcritical) System - ADS

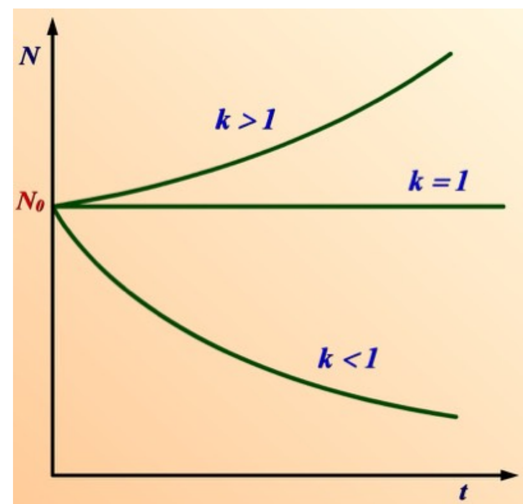
Carlo Rubbia – Italian physicist, Director-General of CERN in 1989-1993
The Nobel Prize in Physics in 1984 with Simon van der Meer for work leading to the discovery of the W and Z particles at CERN.
Dirac Medal for the Advancement of Theoretical Physics in 1990

In 1993 Carlo Rubbia proposed the concept of an **Energy amplifier**, a novel and safe way of producing nuclear energy exploiting present-day accelerator technologies, which is actively being studied worldwide in order to incinerate high activity waste from nuclear reactors, and produce energy from natural thorium and depleted uranium.

SCIENCE, 26 Nov 1993, Vol 262, Issue 5138, p.1368

$$\rho = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}}$$

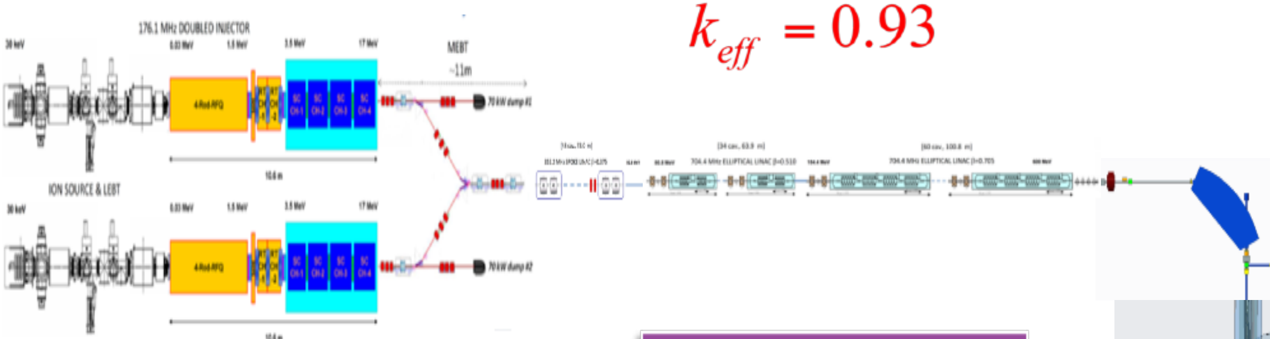
$$k_{eff} < 1$$



Belgian Nuclear Research Centre SCK- CEN

- **MYRRHA** – An Accelerator Driven System
  - Demonstrate the ADS concept at pre-industrial scale
- Can operate in critical and sub-critical modes
  - Demonstrate transmutation
  - Fast neutron source → multipurpose and flexible irradiation facility

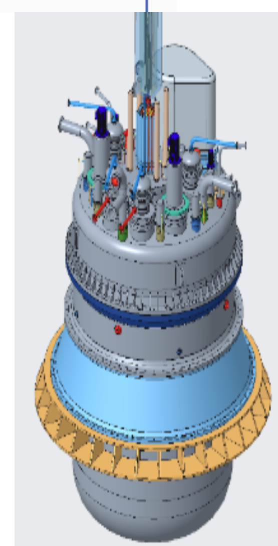
$$k_{eff} = 0.93$$



Target	
main reaction	spallation
output	$2{\cdot}10^{17}$ n/s
material	LBE (coolant)

Accelerator	
particles	protons
beam energy	600 MeV
beam current	2.4 to 4 mA

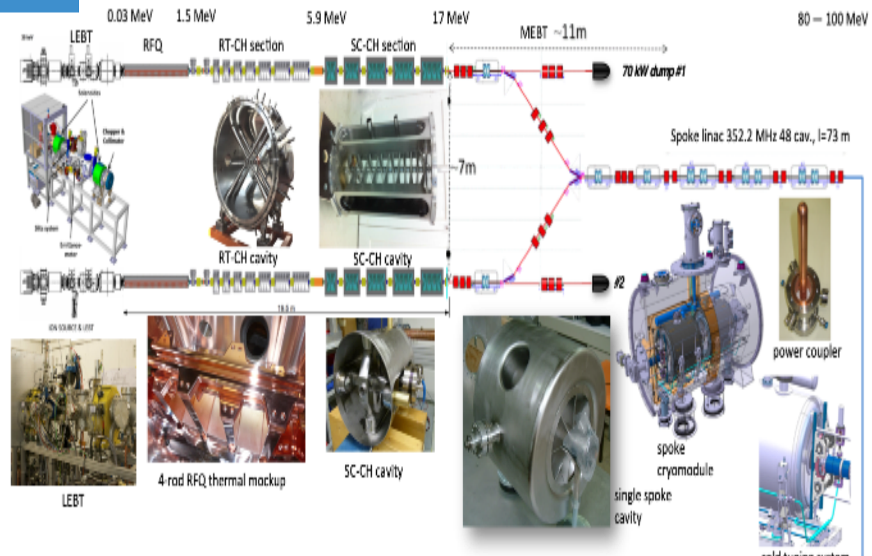
Reactor	
power	70 MW_{th}
k_{eff}	0,93
spectrum	fast
coolant	LBE



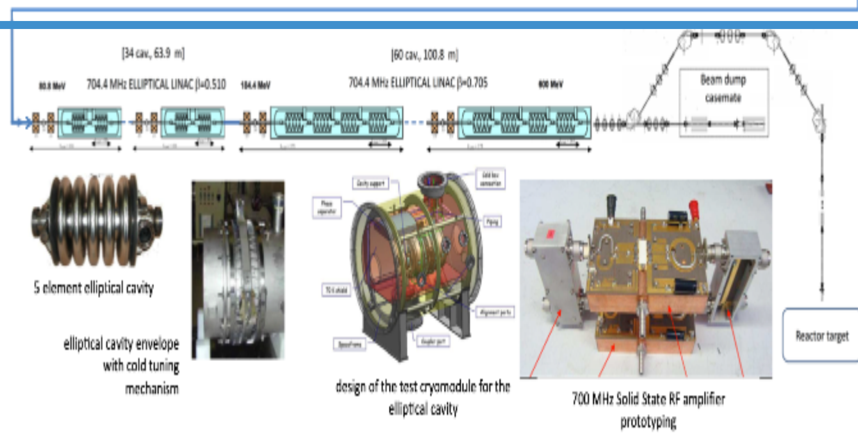
MYRRHA’s phased implementation strategy

Phase 1 – 100 MeV

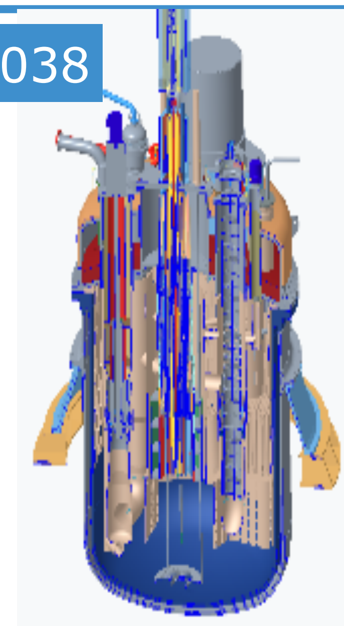
2026



Phase 2 – 600 MeV



2038



Phase 3 – Reactor

NSC KIPT Neutron Source Facility

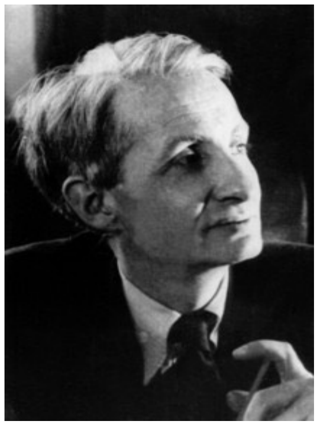
in collaboration with Argonne National Laboratory

“High-Voltage Brigade” of UPhTI

“PRAVDA” October 22, 1932 : Nucleus of lithium atom is destroyed.

Great achivement of soviet scientists

A. Leypunskii



K. Sinel’nikov

A. Valter

G. Latyshev

Цена номера 8 коп.

Всесоюзная Коммунистическая Партия (больш.).

ПРАВДА

Орган Центр. Ком. и Моск. Ком. ВКП(б)

ОКТЯБРЬ 22 1932 г. СУББОТА № 293 (5458).

Разрушено ядро атома лития.

Крупнейшее достижение советских ученых.

МОСКВА, ТТ. СТАЛИНУ, МОЛОТОВУ, ОРДЖОНИКИДЗЕ, «ПРАВДЕ».

Украинский физико-технический институт в Харькове в результате ударной работы к XV годовщине Октября добился первых успехов в разрушении ядра атома.

10 октября высоковольтная бригада разрушила ядро лития; работы продолжаются.

Директор УФТИ *Обреимов*. Секретарь парткома *Шепелев*. Местком — *Федоритенко*.

* * *

Исследование атомного ядра является центральной задачей современной физики. Десятки передовых лабораторий всего мира ведут ожесточенную атаку на атомное ядро, соревнуясь в изыскании наиболее мощных действительных методов его исследования.

В апреле этого года в печати появилось сообщение о том, что в лаборатории Резерфорда (Кэмбридж), являющейся в течение тридцати лет ведущей лабораторией в изучении строения атомного ядра, двум английским ученым, Кокрофту и Вольтону, удалось разрушить ядра нескольких элементов, подвергая их интенсивной бомбардировке водородными ионами, ускоренными в специальной разрядной трубке.

Украинский физико-технический институт (Харьков) работу по разрушению атомного ядра начал лишь в прошлом году. Однако коллективный метод работы и небывало ударные темпы исследований позволили в течение этого короткого срока добиться решающего успеха.

10 октября научным сотрудникам УФТИ тт. К. Д. СИНЕЛЬНИКОВУ, А. И. ЛЕЙПУНСКОМУ, А. К. ВАЛЬТЕРУ и Г. Д. ЛАТЫШЕВУ первым в СССР и вторым в мире удалось осуществить разрушение ядра лития путем бомбардировки ядрами водорода, ускоренными в разрядной трубке.

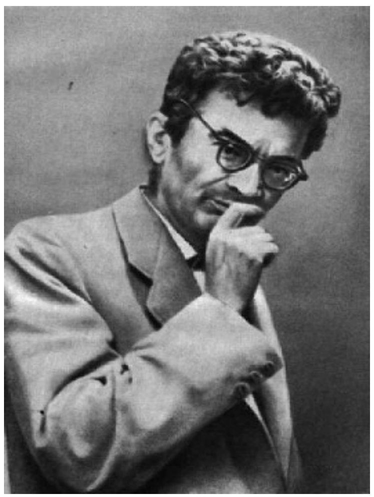
Достижение института открывает громадные возможности в исследовании строения атомных ядер. УФТИ ведет дальнейшие количественные опыты по исследованию ядра лития и строит более мощную установку для разрушения ядер других элементов.

Директор УФТИ И. ОБРЕИМОВ.


У ПАМ'ЯТЬ
ВИДАТНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ-
РОЗЩЕПЛЕННЯ АТОМНОГО ЯДРА,
ЗДІЙСНЕНОГО 10 ЖОВТНЯ
1932 РОКУ ВЧЕНИМИ
УКРАЇНСЬКОГО ФІЗИКО-
ТЕХНІЧНОГО ІНСТИТУТУ
АНТОНОМ ВАЛЬТЕРОМ
ГЕОРГІЄМ ЛАТИШЕВИМ
ОЛЕКСАНДРОМ ЛЕЙПУНСЬКИМ
КИРИЛОМ СИНЕЛЬНИКОВИМ
John Cockcroft
Ernest Walton
Nobel Prize 1951
George Gamow

1946 UPhTI (Kharkov) - Lab #1 at the Soveit Nuclear Project

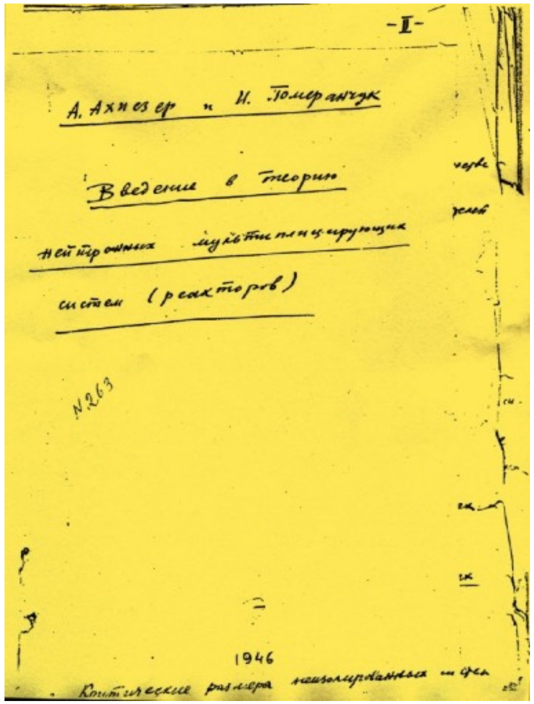
A.I. Akhiezer

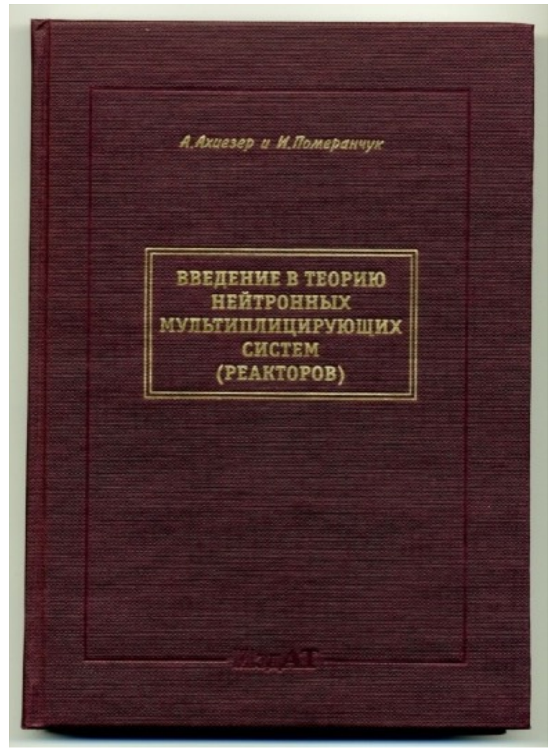


I.Ya. Pomeranchuk

A.I. Akhiezer and I.Ya. Pomeranchuk "Introduction to the Theory of Neutron Multiplication Systems (Reactors)", 1946

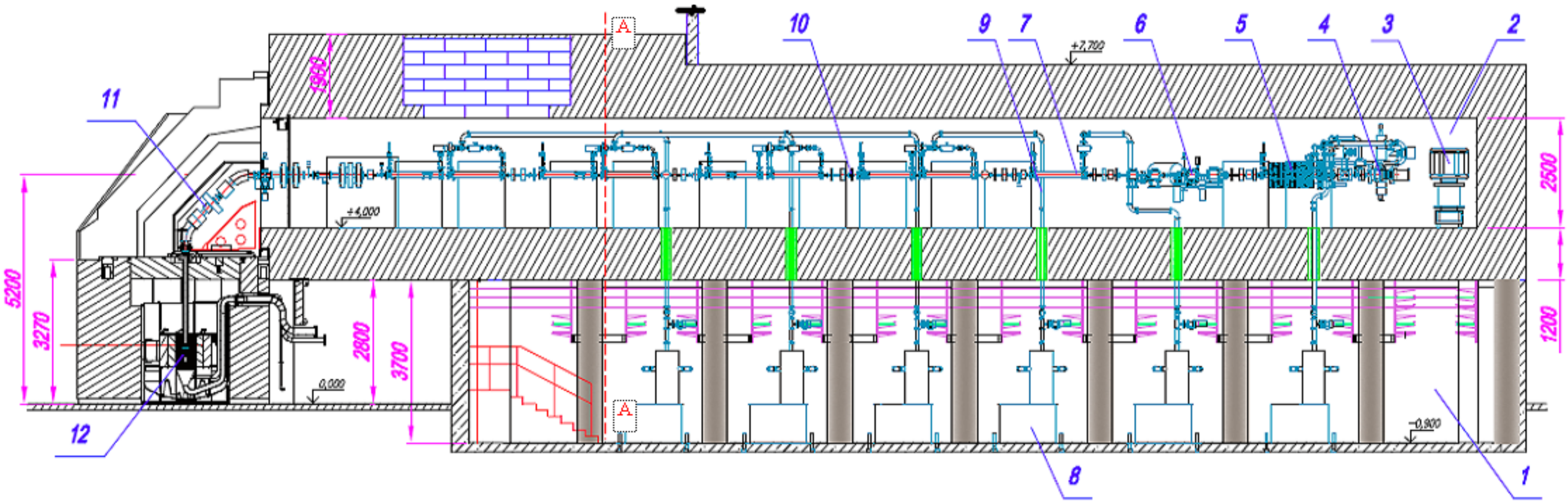
It was the fist monograph on reactor theory in the world !





2001 - ITEP Moscow

LINEAR ELECTRON ACCELERATOR



1 - klystron gallery, 2 - LINAC tunnel, 3 - electron gun power,
4 - electron gun, 5 - first accelerating section, 6 - energy filter,
7 - accelerating section, 8 - klystron amplifier, 9 - waveguide tract,
10 - quadrupole triplet, 11 - transportation channel, 12 - SCA tank

NSC KIPT NEUTRON SOURCE FACILITY

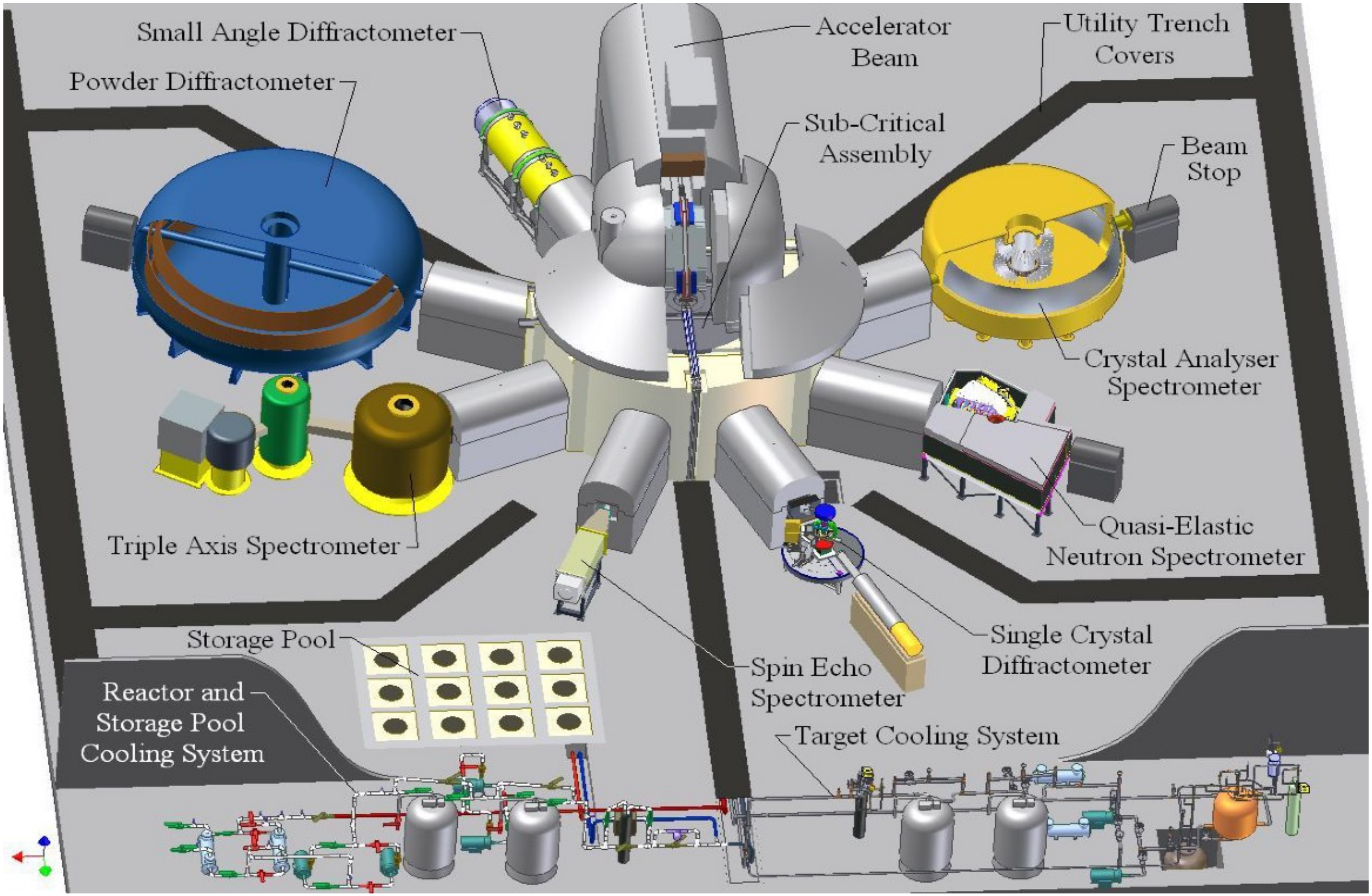
ХФТИ

MAIN PARAMETERS :

Parameter	Value
Electron beam power, kW	~ 100
Electron beam energy, MeV	~ 100
Neutron yield from the target (U/W), $n \cdot sec^{-1}$	$3.28 \cdot 10^{14}/1.91 \cdot 10^{14}$
Target material	U / W
Fuel U^{235} enrichment, w/o	19.7
Total neutron flux density in the fuel region, $n \cdot cm^{-2} sec^{-1}$	~ $2.4 \cdot 10^{13}$
Total neutron flux density in the reflector region, $n \cdot cm^{-2} sec^{-1}$	~ $2 \cdot 10^{13}$
Maximum fast neutron flux density in the fuel region with E > 0.1 MeV, $n \cdot cm^{-2} sec^{-1}$	~$1.3 \cdot 10^{13}$
Moderator	H_2O
Reflector material	Graphite + beryllium
Total power deposition in the fuel element region, kW	~ 230

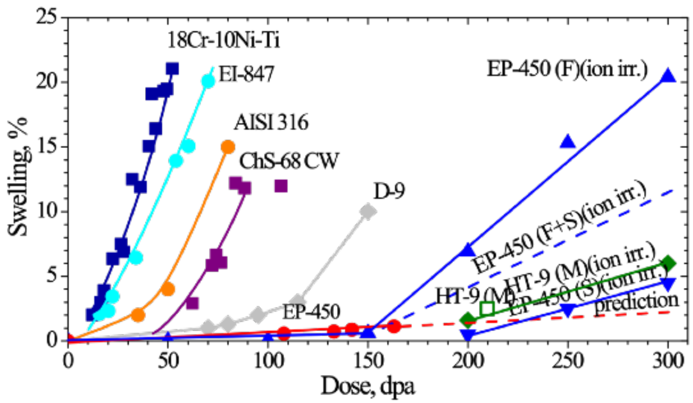
NSC KIPT NEUTRON SOURCE FACILITY

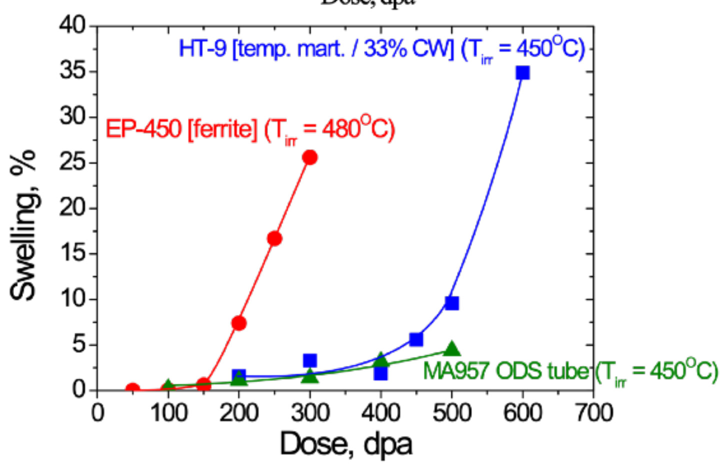
Main Hall with Basic and Optional Equipment

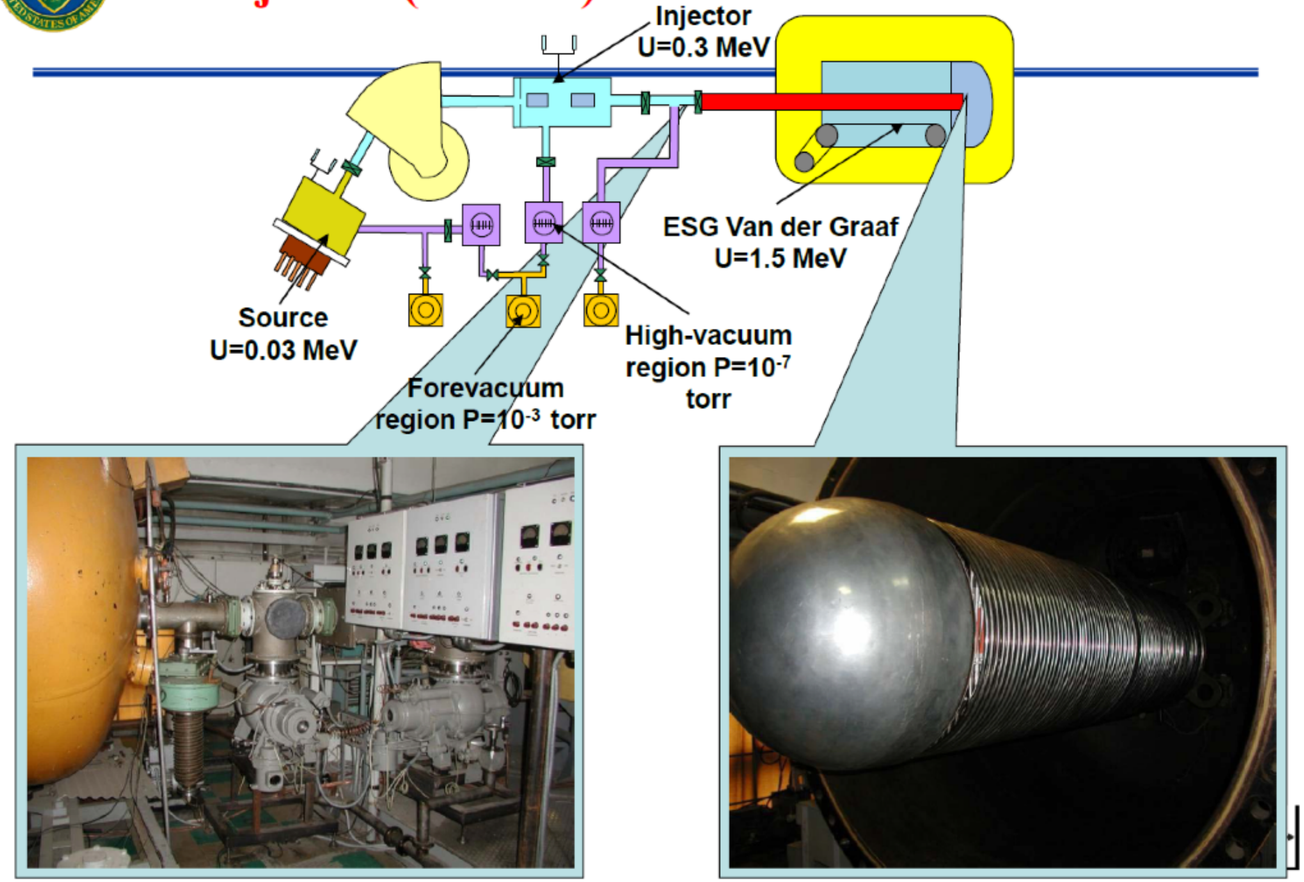


NSC KIPT Neutron Source Facility in collaboration with Argonne National Laboratory

Electrostatic Accelerator with External Injector (ESUVI) at KIPT







V.N. Karazin Kharkiv National University - School of Physics and Technology

Participants of French-Ukraine Winter School on HEP (March 2016)

Thank you for attention !