

***ПРИМЕНЕНИЕ  
УСКОРИТЕЛЕЙ  
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ***



## ***Области применения ускорителей:***

- I. Научные исследования***
- II. Промышленность***
- III. Медицина***
- IV. Энергетика***
- V. «Бытовые» технологии***
- VI. Безопасность и другие технологии двойного назначения***

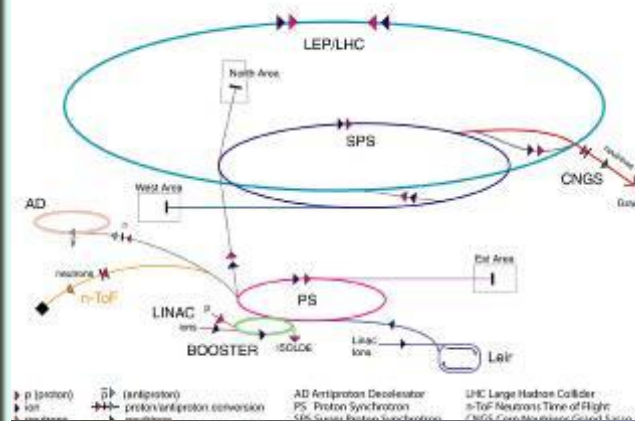


# *Научные исследования*



# Физика высоких энергий и физика элементарных частиц, коллайдеры

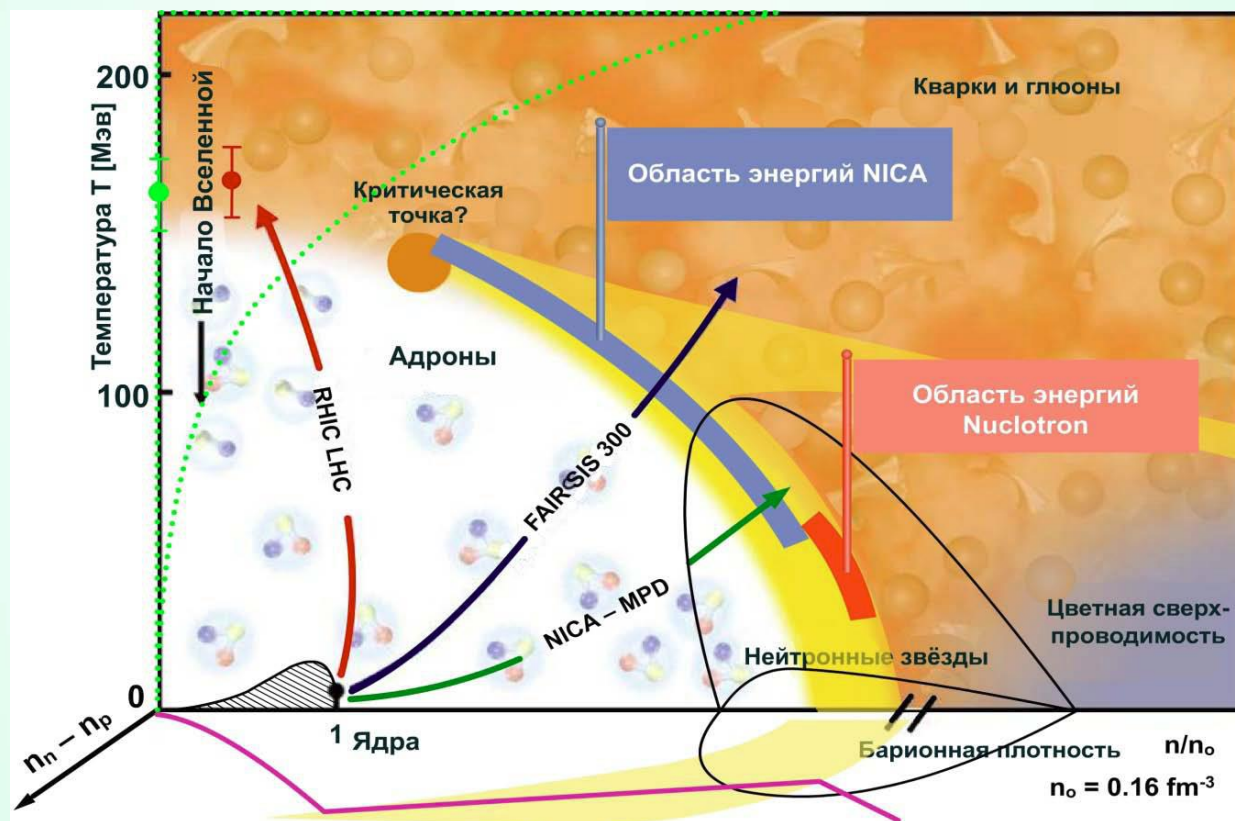
**Accelerator chain of CERN (operating or approved projects)**



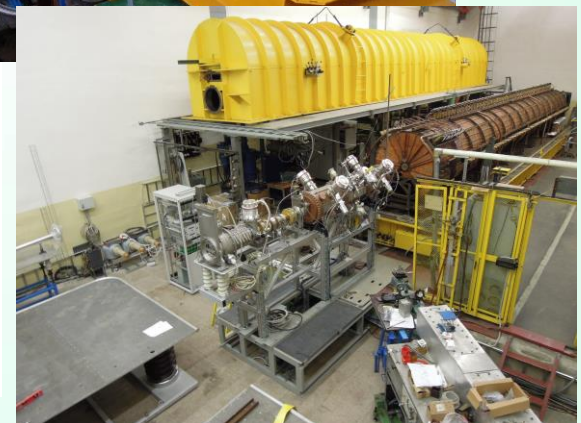
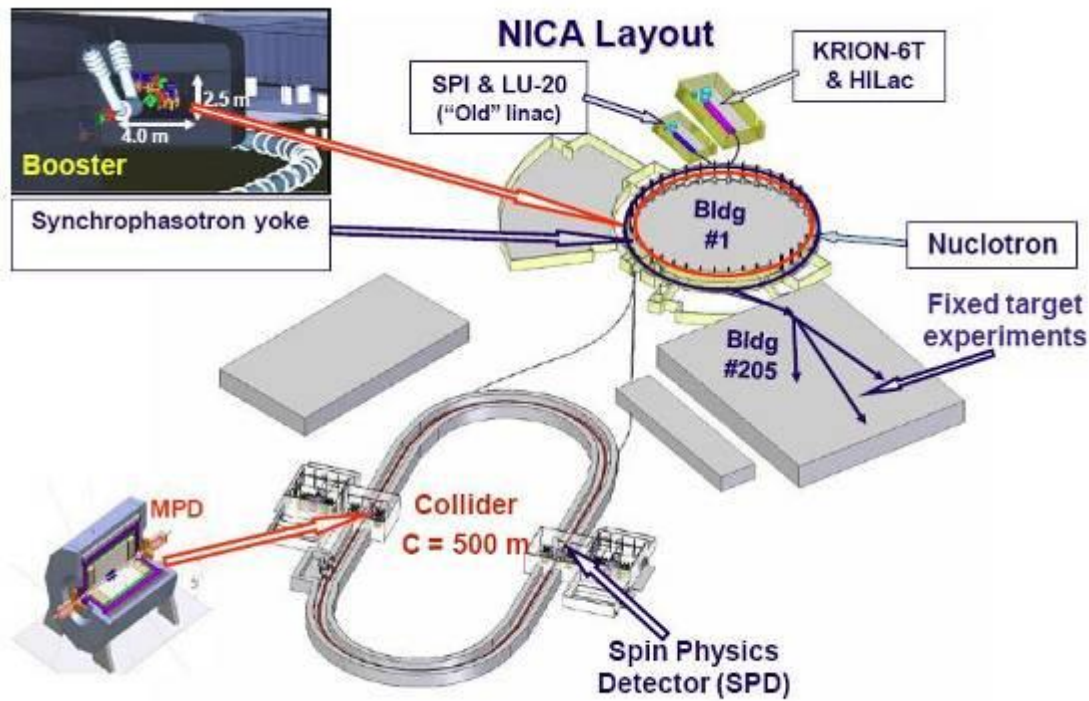


# Физика высоких давлений, коллайдеры тяжелых ионов FAIR и NICA

По современным теоретическим представлениям материя может находиться в нескольких состояниях: адронное вещество, кварк-глюонная плазма и переходный процесс «смешанная фаза»

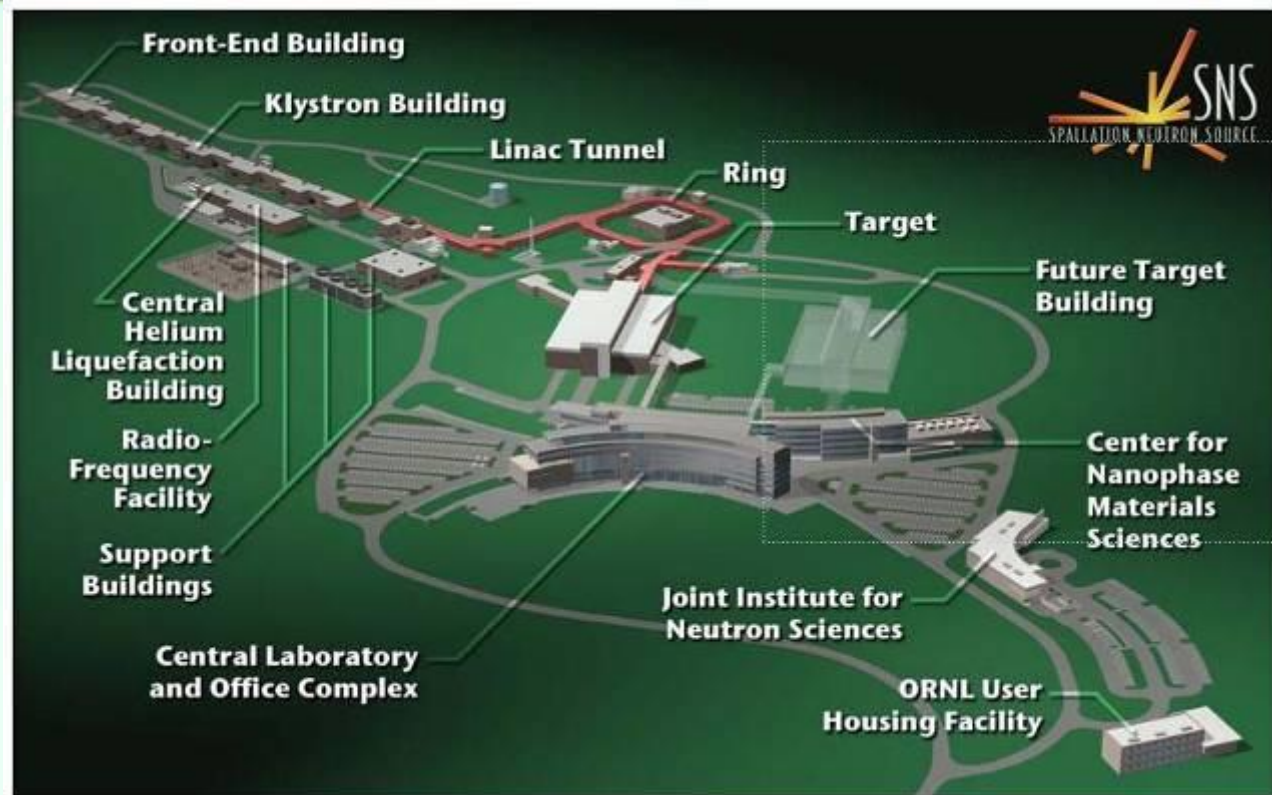






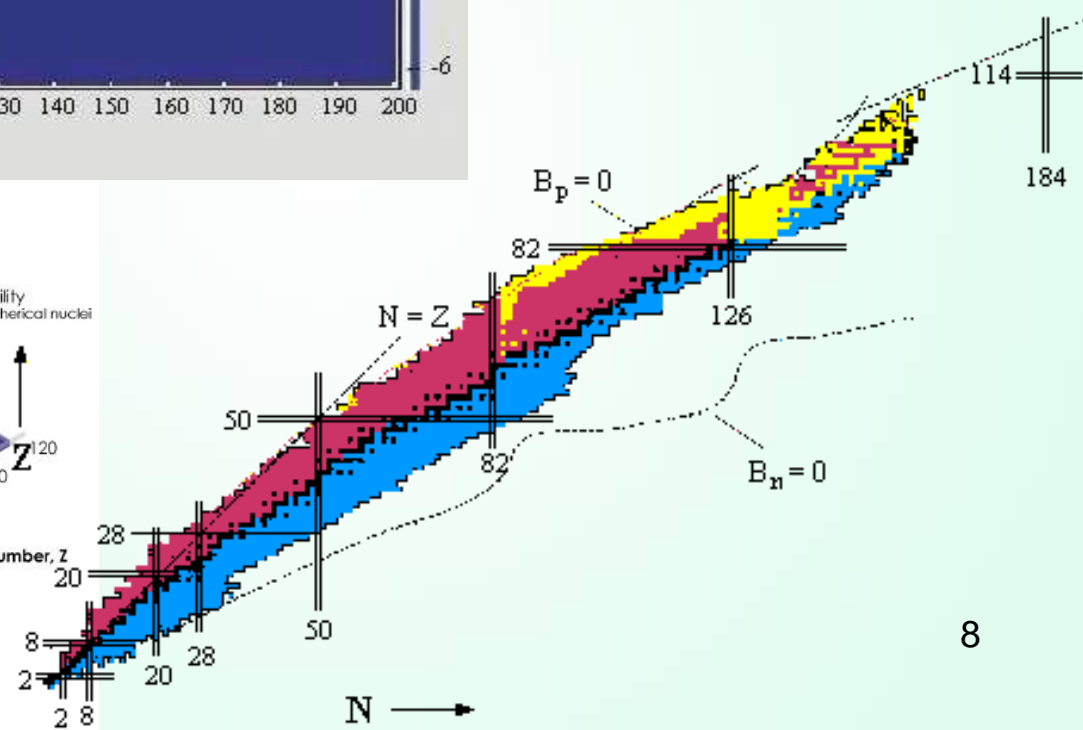
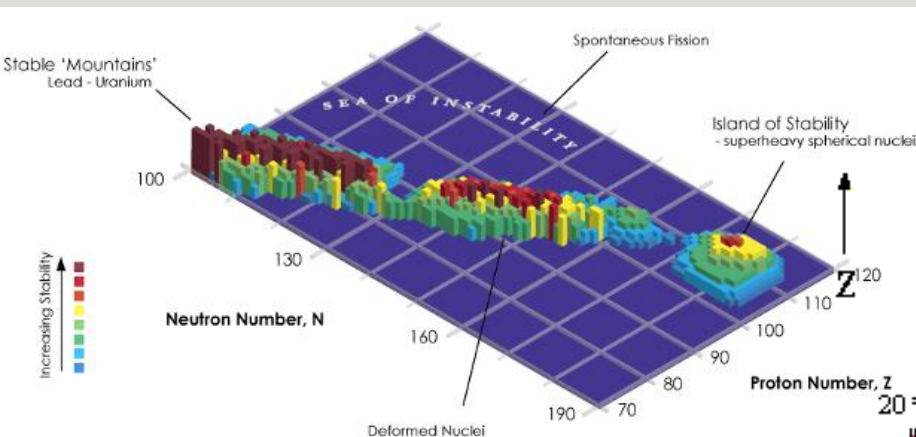
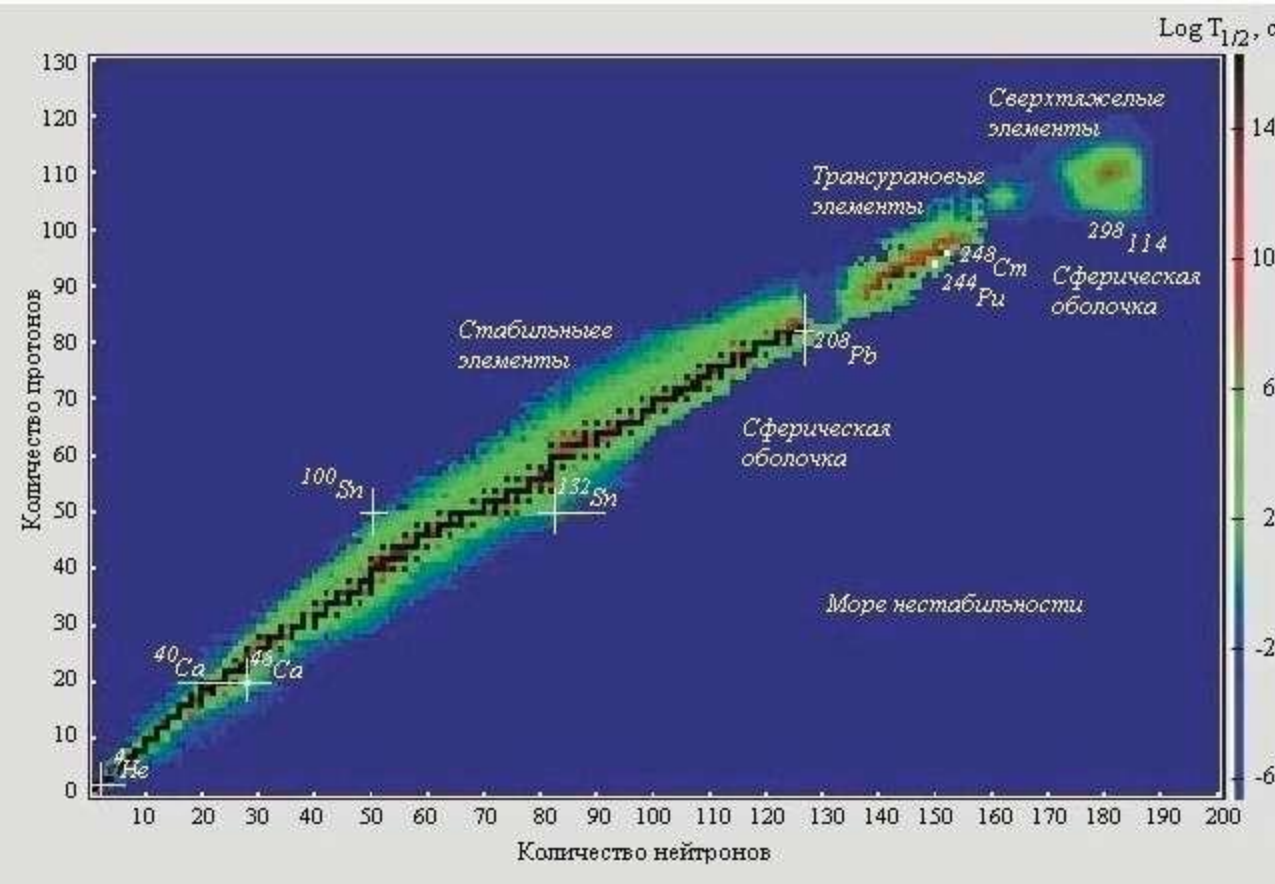


# Нейтронная физика: SNS, проекты ESS и др.





# Транс-урановые элементы





# IUPAC Periodic Table of the Elements

1 <b>H</b> hydrogen [1.007, 1.009]	2				
3 <b>Li</b> lithium [6.938, 6.997]	4 <b>Be</b> beryllium 9.012				
11 <b>Na</b> sodium 22.99	12 <b>Mg</b> magnesium [24.30, 24.31]	3	4	5	6
19 <b>K</b> potassium 39.10	20 <b>Ca</b> calcium 40.08	21 <b>Sc</b> scandium 44.96	22 <b>Ti</b> titanium 47.87	23 <b>V</b> vanadium 50.94	24 <b>Cr</b> chromium 52.00
37 <b>Rb</b> rubidium 85.47	38 <b>Sr</b> strontium 87.62	39 <b>Y</b> yttrium 88.91	40 <b>Zr</b> zirconium 91.22	41 <b>Nb</b> niobium 92.91	42 <b>Mo</b> molybdenum 95.95
55 <b>Cs</b> caesium 132.9	56 <b>Ba</b> barium 137.3	57-71 lanthanoids	72 <b>Hf</b> hafnium 178.5	73 <b>Ta</b> tantalum 180.9	74 <b>W</b> tungsten 183.8
87 <b>Fr</b> francium	88 <b>Ra</b> radium	89-103 actinoids	104 <b>Rf</b> rutherfordium	105 <b>Db</b> dubnium	106 <b>Sg</b> seaborgium

Key:  
atomic number  
**Symbol**  
name  
standard atomic weight

13 <b>B</b> boron [10.80, 10.83]	14 <b>C</b> carbon [12.00, 12.02]	15 <b>N</b> nitrogen [14.00, 14.01]	16 <b>O</b> oxygen [15.99, 16.00]	17 <b>F</b> fluorine 19.00	18 <b>He</b> helium 4.003
5 <b>Al</b>	6 <b>Si</b>	7 <b>P</b>	8 <b>S</b>	9 <b>Cl</b>	10 <b>Ne</b> neon 20.18

81 <b>Tl</b> thallium [204.3, 204.4]	82 <b>Pb</b> lead 207.2	83 <b>Bi</b> bismuth 209.0	84 <b>Po</b> polonium	85 <b>At</b> astatine	86 <b>Rn</b> radon
113 <b>Nh</b> nihonium	114 <b>Fl</b> flerovium	115 <b>Mc</b> moscovium	116 <b>Lv</b> livermorium	117 <b>Ts</b> tennessine	118 <b>Og</b> oganeson

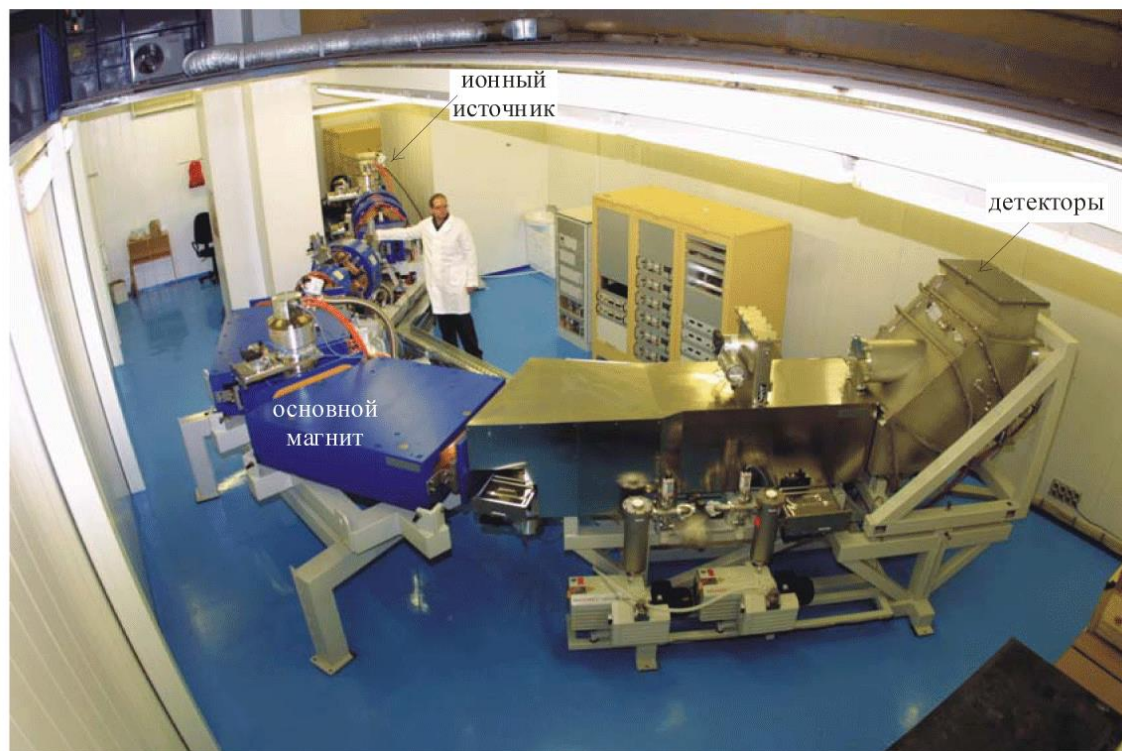
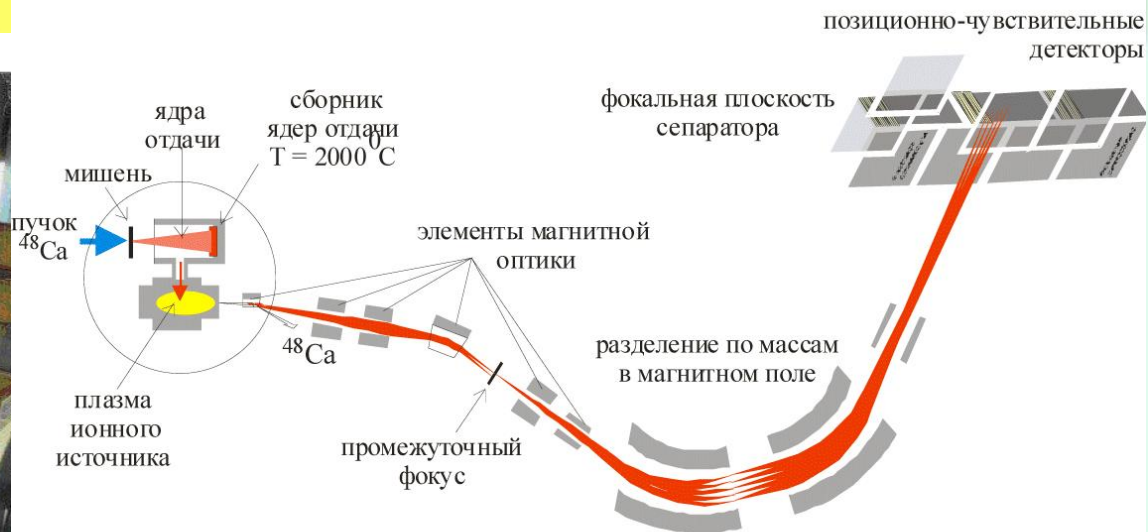
57 <b>La</b> lanthanum 138.9	58 <b>Ce</b> cerium 140.1	59 <b>Pr</b> praseodymium 140.9
89 <b>Ac</b> actinium	90 <b>Th</b> thorium 232.0	91 <b>Pa</b> protactinium 231.0

66 <b>Dy</b> dysprosium 162.5	67 <b>Ho</b> holmium 164.9	68 <b>Er</b> erbium 167.3	69 <b>Tm</b> thulium 168.9	70 <b>Yb</b> ytterbium 173.0	71 <b>Lu</b> lutetium 175.0
98 <b>Cf</b> californium	99 <b>Es</b> einsteinium	100 <b>Fm</b> fermium	101 <b>Md</b> mendelevium	102 <b>No</b> nobelium	103 <b>Lr</b> lawrencium



INTERNATIONAL UNION OF  
PURE AND APPLIED CHEMISTRY

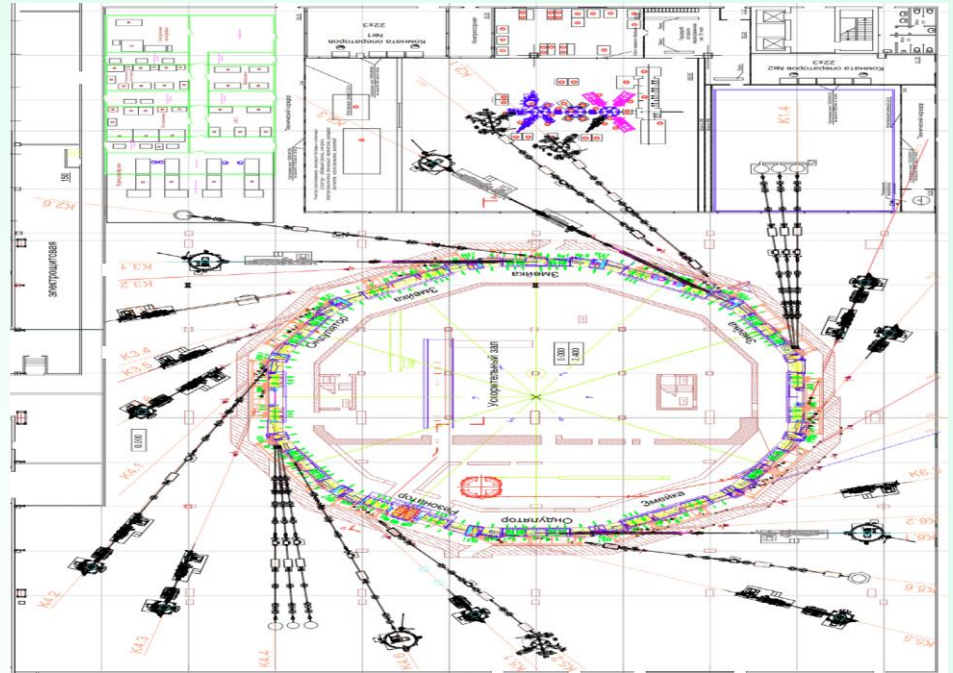




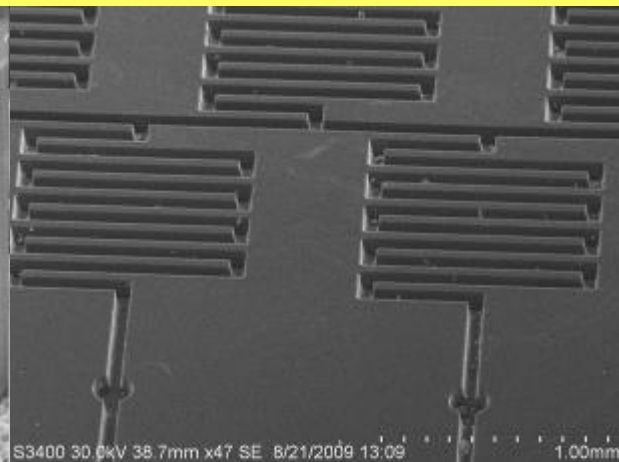
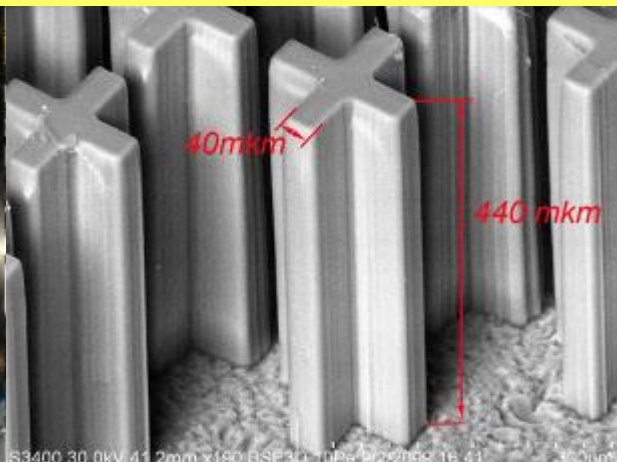
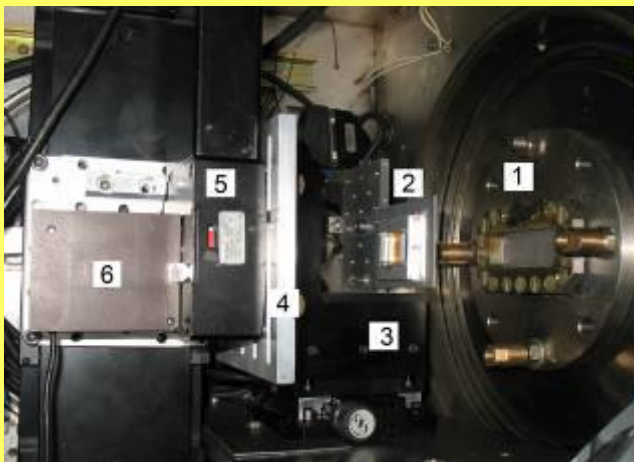


# Использование синхротронного излучения:

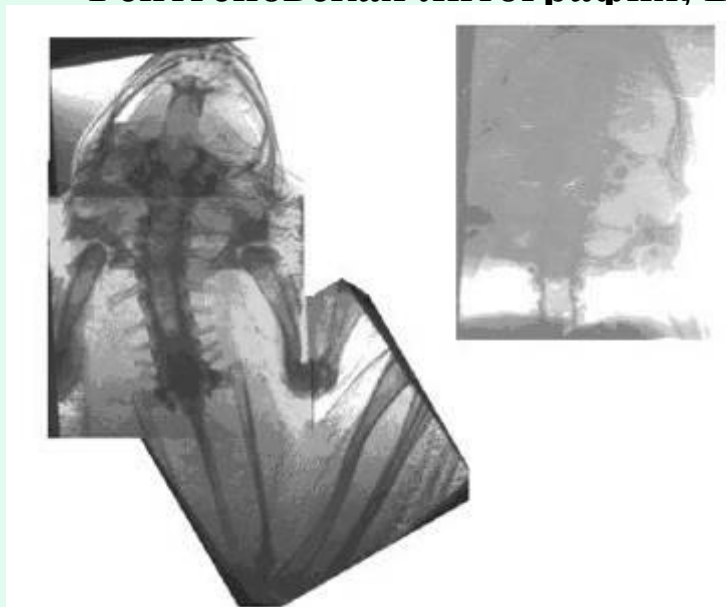
- биология и биохимия
- материаловедение
- спектроскопия
- томография
- литография
- быстропротекающие процессы
- ...



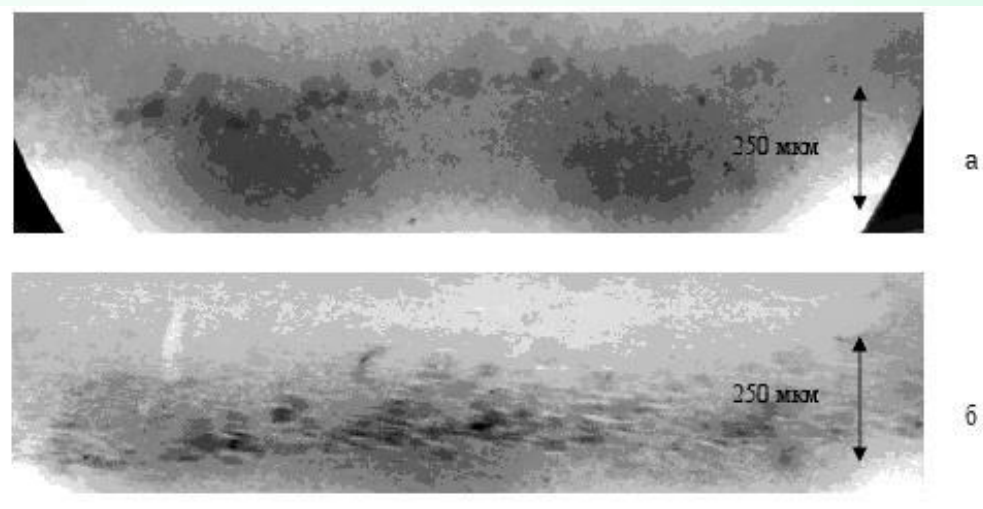




## Рентгеновская литография, ВЭПП-3,4, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН

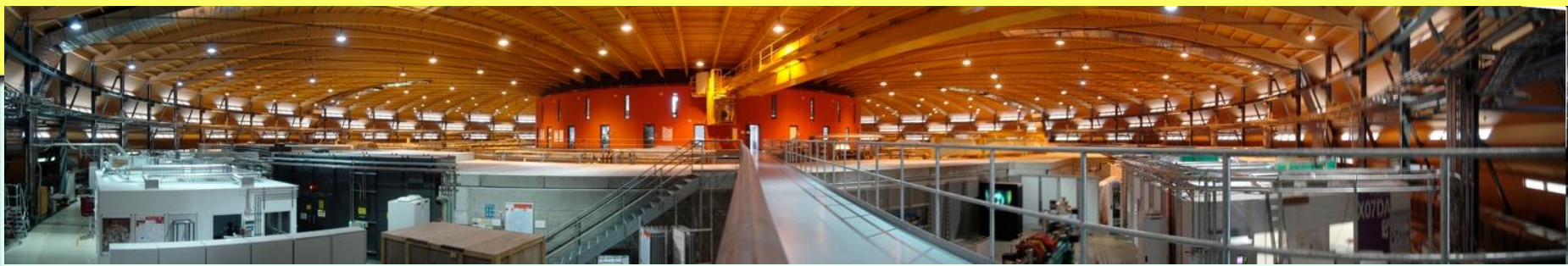


Изображение лягушки, снятое с рефракционным (слева) и абсорбционным (справа) контрастом (станция СИ «Медиана», НИЦ КИ)



Абсорбционное (а) и фазоконтрастное (б) изображение сварного шва в титановом сплаве. (станция СИ «Медиана», НИЦ КИ)

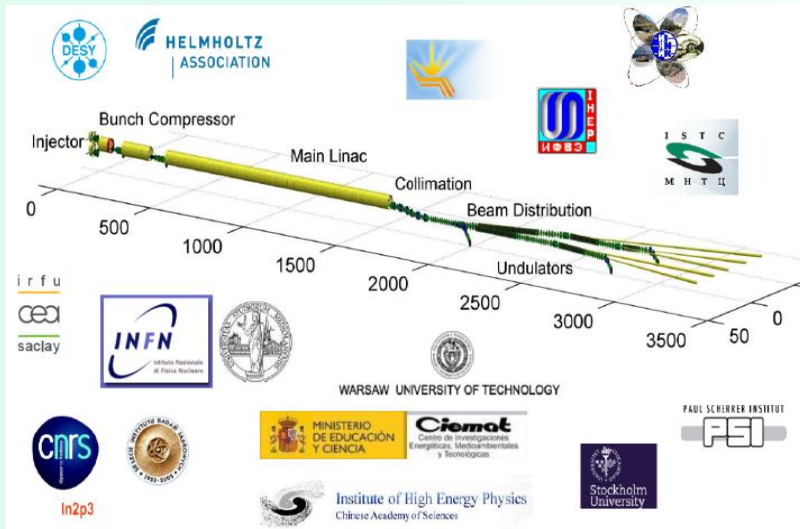




**Swiss Light Source**



**ASP, Australian Synchrotron Project**



**European XFEL**



**European Synchrotron Radiation Facility (ESRF)**



**SPring-8 (Super Photon ring 8 GeV)**



# Протонная (и нейтронная) микроскопия

**GSI, Darmstadt**



**ИТЭП, Москва**

**HIFS-VNL, Berkeley**





## *Протонный микроскоп ИТЭФ*

$W = 800 \text{ MeV}$

Magnification  $X = 7.82$

Field of view  $< 10 \text{ mm}$

Spatial resolution  $= 50 \mu\text{m}$

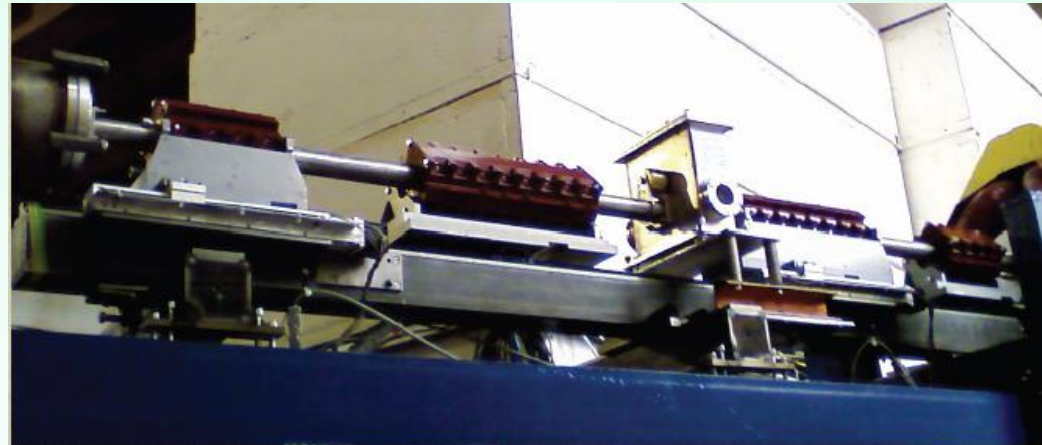
Magnification  $X = 3.92$

Field of view  $< 22 \text{ mm}$

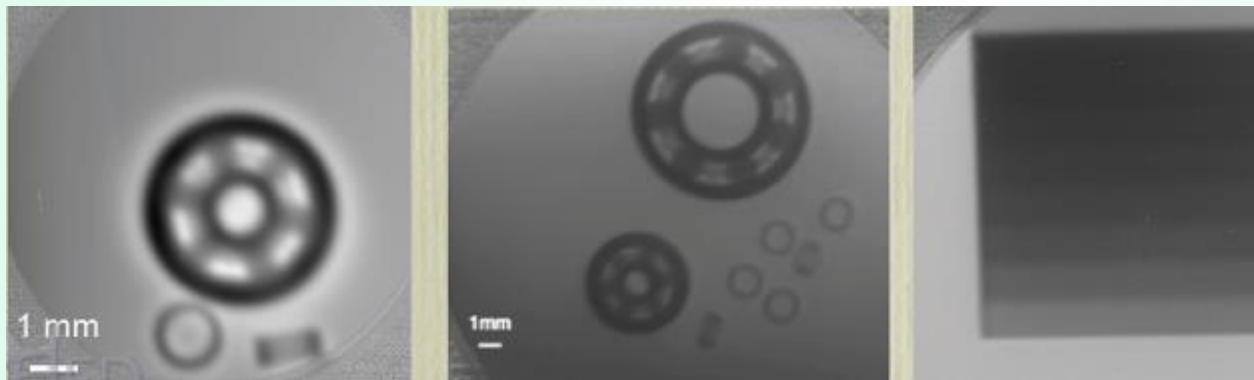
Spatial resolution  $= 60 \mu\text{m}$

Density resolution  $\sim 6\%$

Beam structure – 4 bunches  
(FWHM=70ns) in 1  $\mu\text{s}$



### Static test-object images



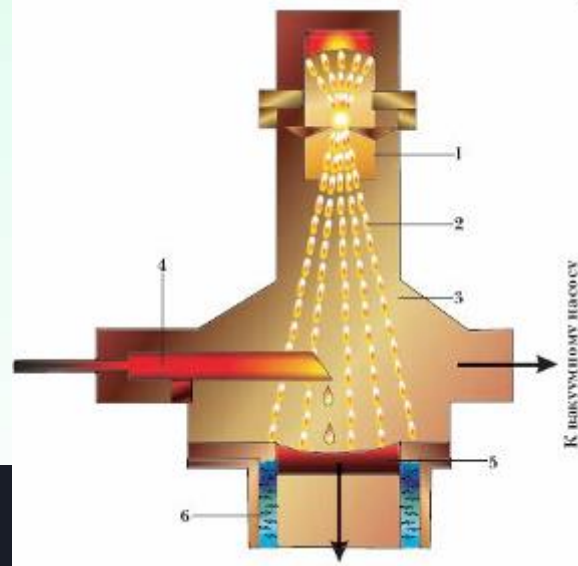
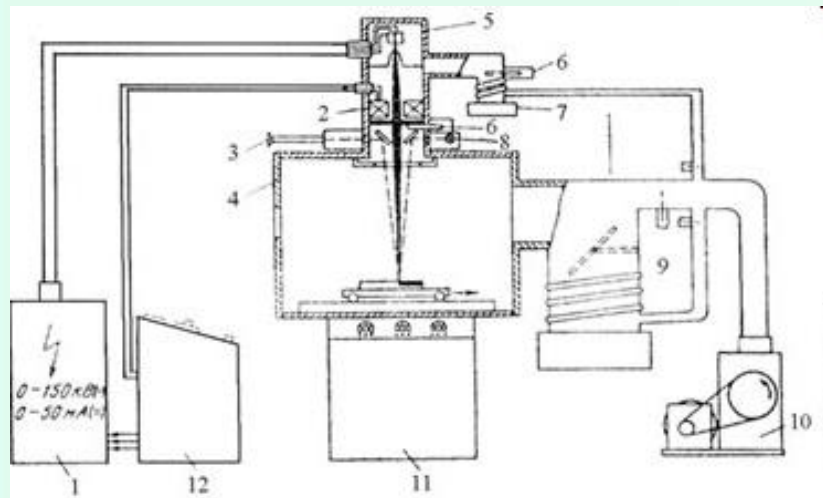
Ball bearing and ferrite ring ( $X = 7.82$  and  $X = 3.92$ ) Brass stair 1 mm step  $\Delta\rho = 400 \mu\text{m}$



# ***Промышленность***

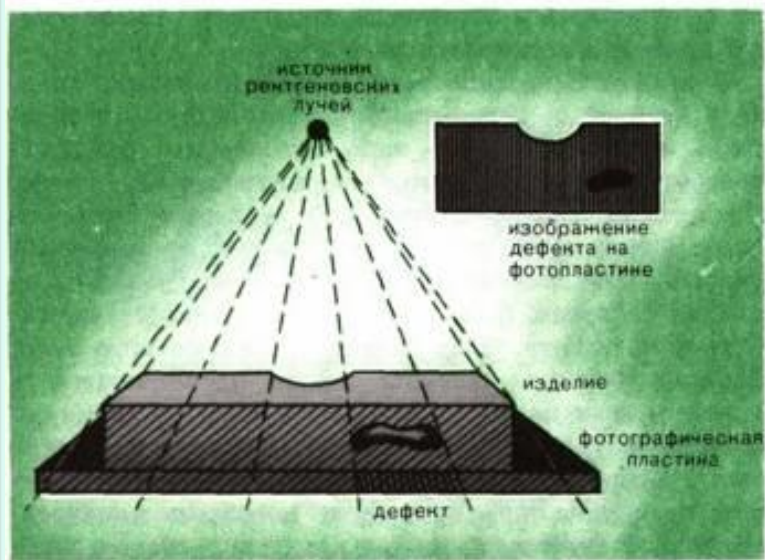


# Электронно-лучевая сварка и электронно-лучевая плавка





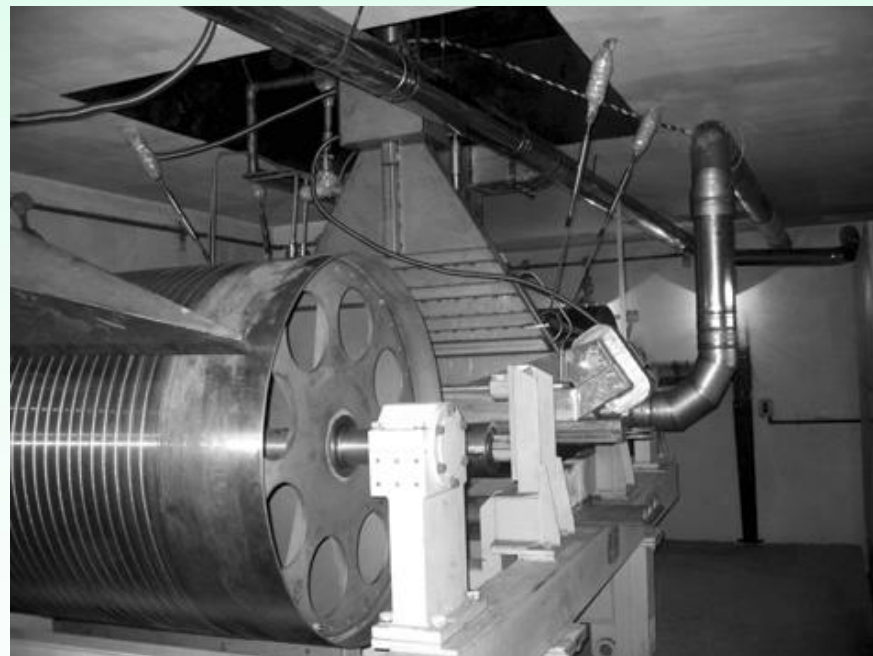
# Рентгеновская и нейтронная дефектоскопия





## Модификация материалов

- Модификация полимерной изоляции кабелей и проводов.
- Производство термоусаживаемых труб, пленок и лент.
- Производство теплостойких полиэтиленовых труб.
- Производство искусственной кожи.
- Производство самоадгезивных и резино-технических изделий.
- Производство композиционного материала для мягкой кровли.
- Радиационная вулканизация лент.
- Радиационная отделка тканей.

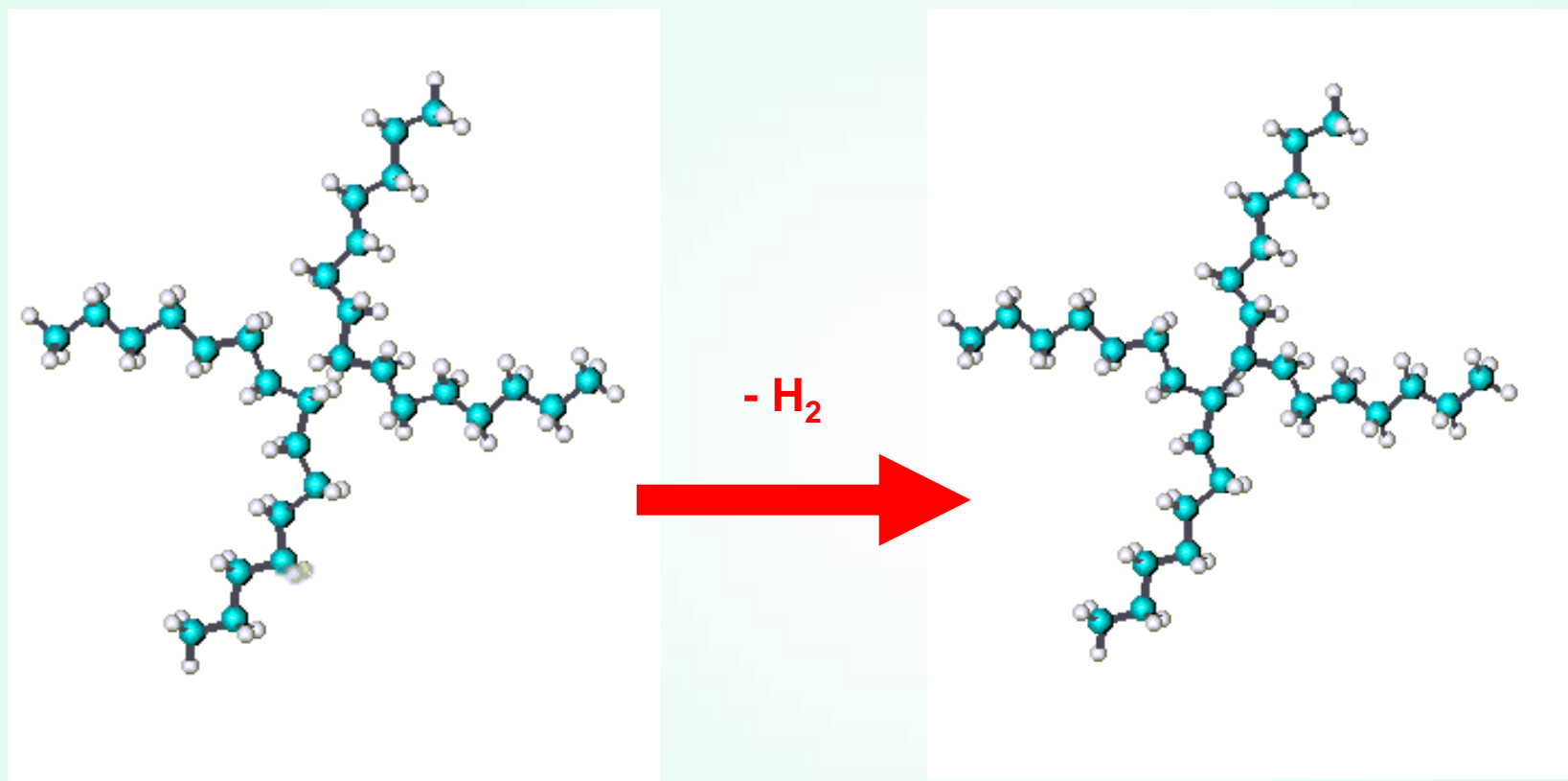


**Обработка изоляции кабелей на ускорителе серии ЭЛВ (ИЯФ СО РАН)**





## *Радиационная сшивка полимеров*



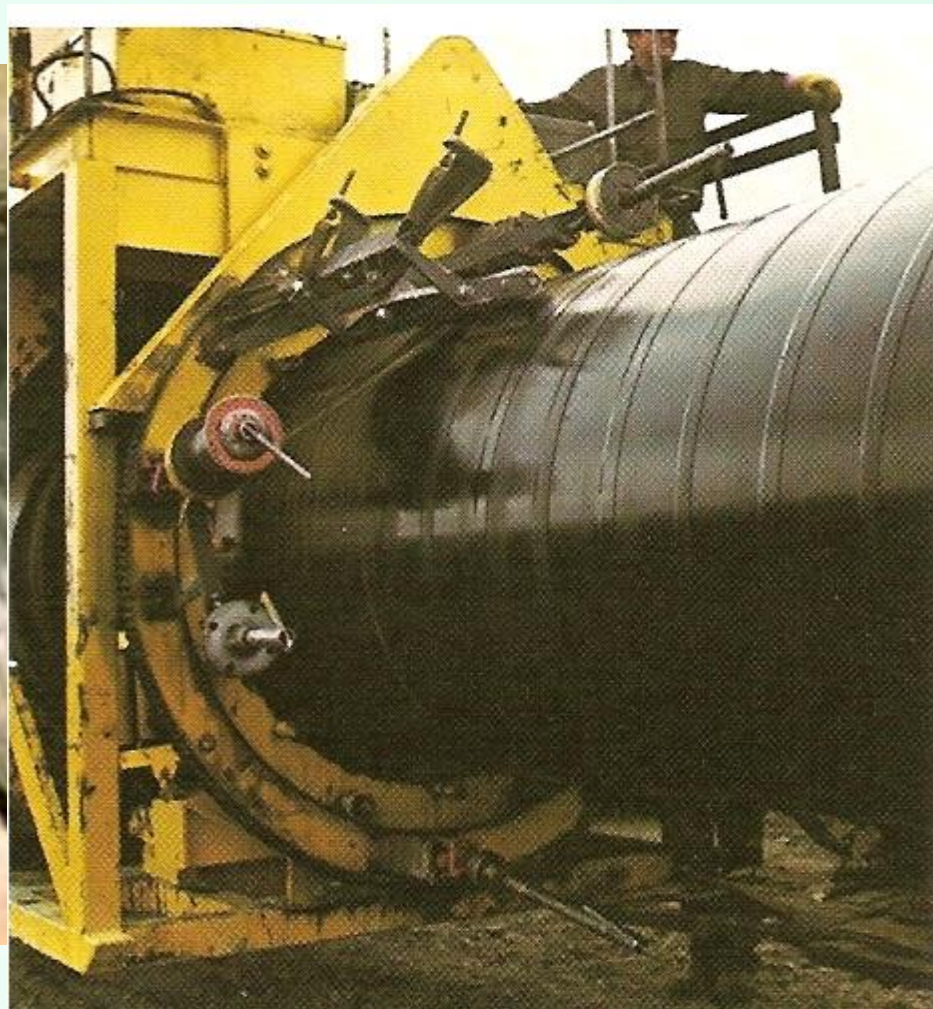


# Cryovac Electron Beam Facility – 10 Units in a row





## *Термоусадочные трубки и ленты*





# ***Value addition to even valuable materials!!***

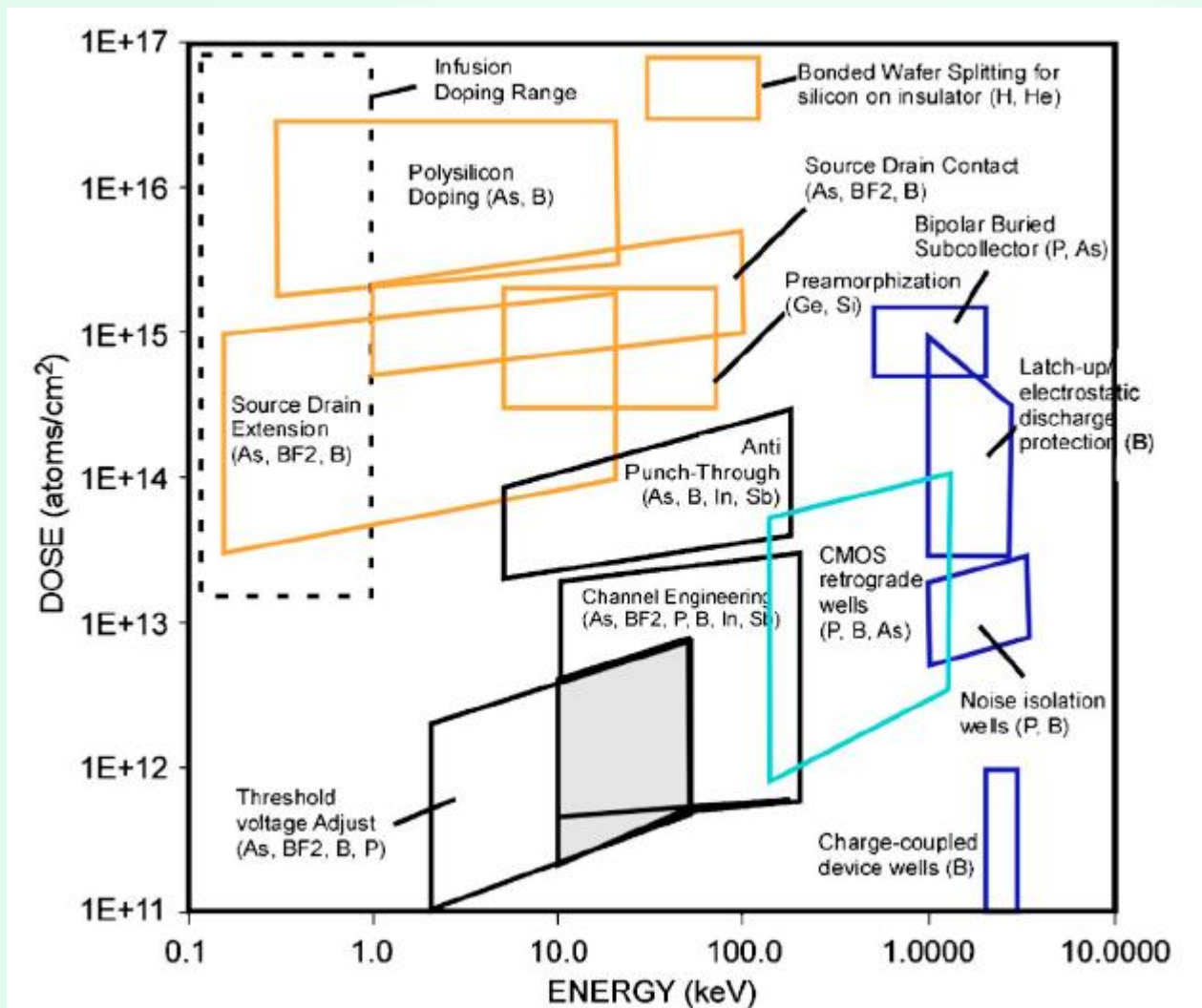
**Over 100,000 Carats of diamonds  
processed last year**





# Ионная имплантация

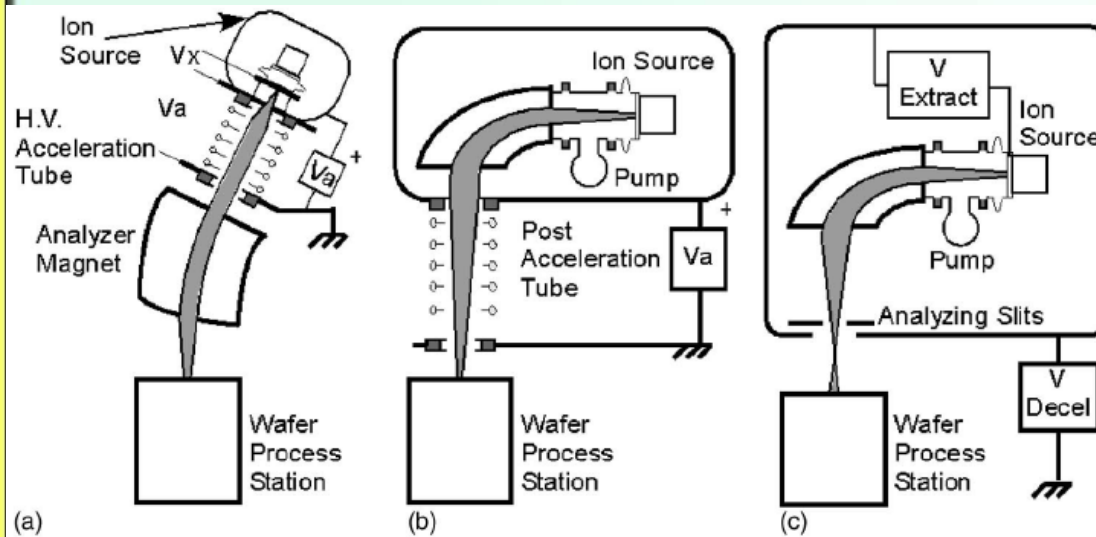
## *Требования к интенсивности и энергии ионного пучка для полупроводниковой ионной имплантации*





## Концепция ионно-имплантационной установки.

1. Ионный источник
2. Канал транспортировки и сепарации
3. Система формирования однородного облучения подложки
4. Охлаждение подложки



Три базовые концепции для ранних ионно-имплантационных установок.

- а. с сепарацией пучка после ускорения
- б. сепарация пучка с последующим ускорением
- в. торможение отсепарированного пучка



Вариант современной установки для ионной имплантации. Вариян.



## Гамма и нейтронный каротаж:

поиск и определение элементного состава нефтяных, газовых, рудных месторождений



**Нейтронные трубки и  
оборудование для нейтронного  
каротажа скважин (ВНИИА  
им. Н.Л.Духова)**

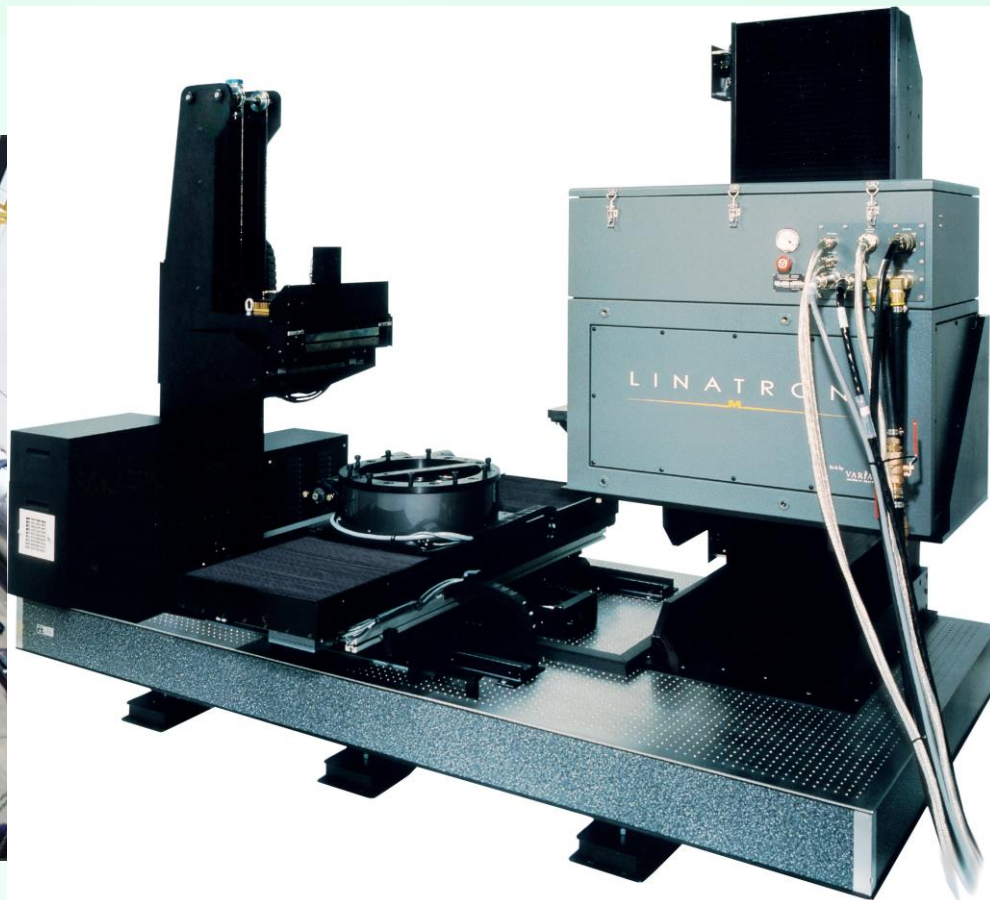




# *Неразрушающий контроль*



**Установка для контроля ракетных двигателей**



**Промышленный дефектоскоп  
Varian**



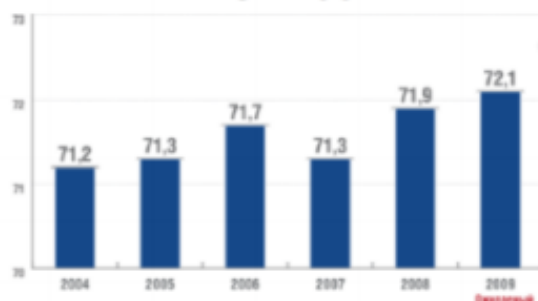


НИИТФА

# Радиационная переработка тяжелого углеводородного сырья и остатков нефтепереработки

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

Глубина переработки

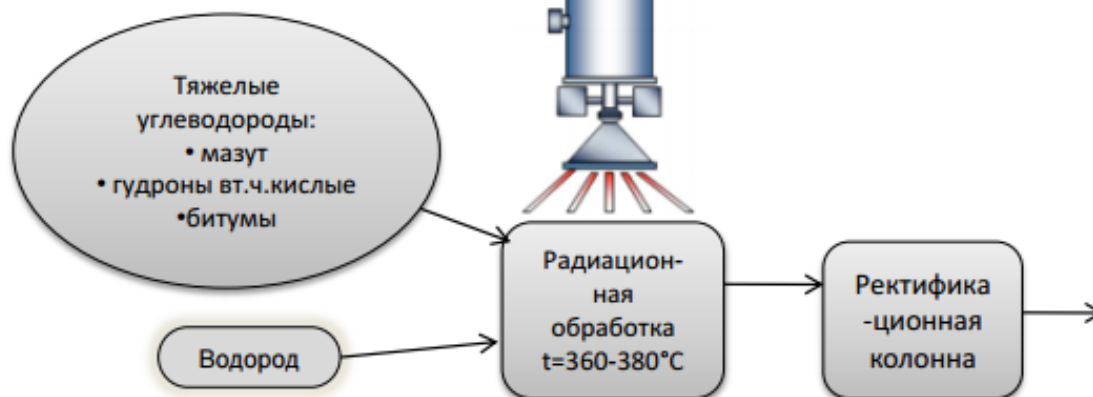


Суммарная мощность по переработке 273,0 млн. т

в том числе:

28 НПЗ	254,4 млн. т
4 ГПЗ	7,8 млн. т
80 мини-НПЗ	10,8 млн. т

Приоритетное направления энергетической стратегии России на период до 2030 г.



## Участники проекта

- ОАО «Научно-исследовательский институт технической физики и автоматизации»;
- ЗАО «Наука и инновации»;
- Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина (РАН);
- ЗАО «МИПФВТ»

Условия прохождения процесса и полученный продукт	Полученные результаты	
	Электронно-лучевой крекинг	Термическое разложение (замедленное коксование)
Температура процесса, °C	360...380	500
Давление, бар	1,0	15
Выход легких фракций, % включая:	50,0	36,0
- Бензиновая фракция, %	18,5	17,0
- Дизельная фракция, %	31,5	19,0
Мазутная фракция (350°C+), %	30	27,0
Газы, %	10,0	7,0
Кокс, %	10,0	30,0



- Радиационная химия**
- Активационный анализ**
- Легирование поверхности материалов**
- Радиационный крекинг**
- Применение «промышленных изотопов»**
- ...**



# *Медицина*



## Стерилизация медицинских материалов и отходов



Accelerator Installation UEL-10 with solenoid and electron beam sweep unit. The sweep is realized by the external alternative magnetic field.





# Рентгеновская диагностика



**Рентгенодиагностический  
комплекс РДК "Сириус" 50/5  
(МЕДРЕНТЕХ)**

**Ангиографическая система  
PHILIPS Allura Xper FD20/10**



**40 срезовый КТ Siemens Somatom**

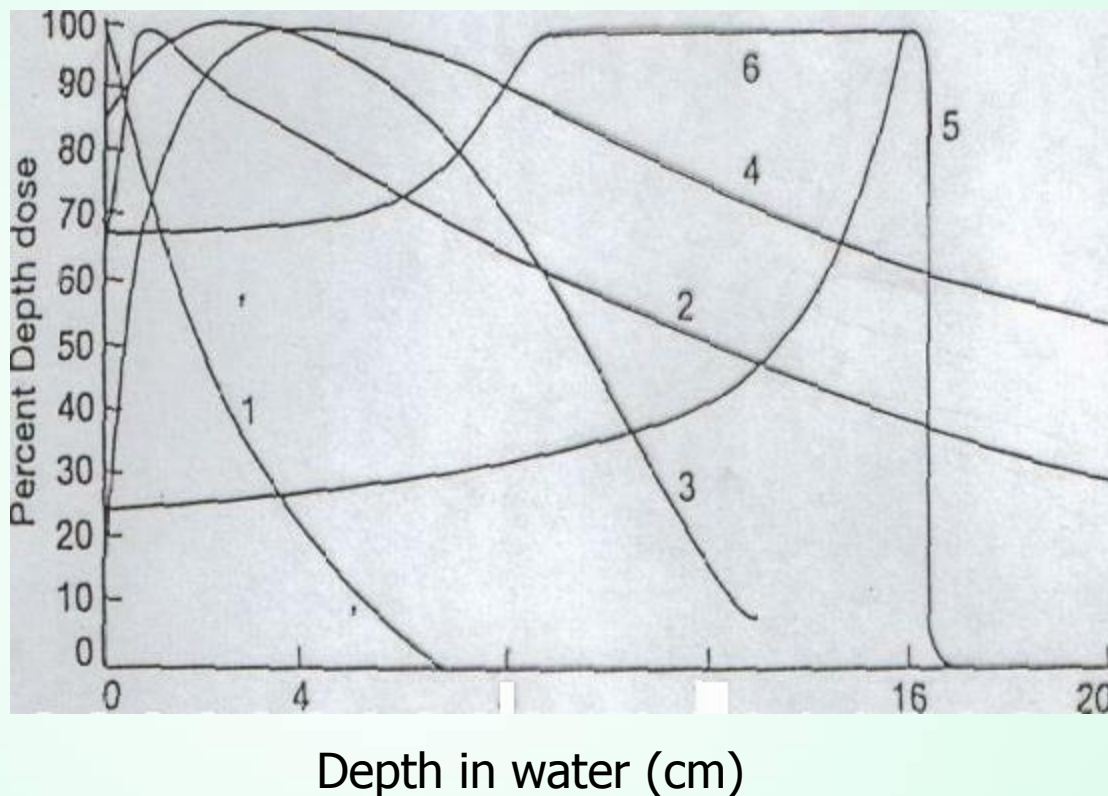




# Лучевая Терапия

## Глубинное дозное распределение пучков гамма квантов, электронов и протонов

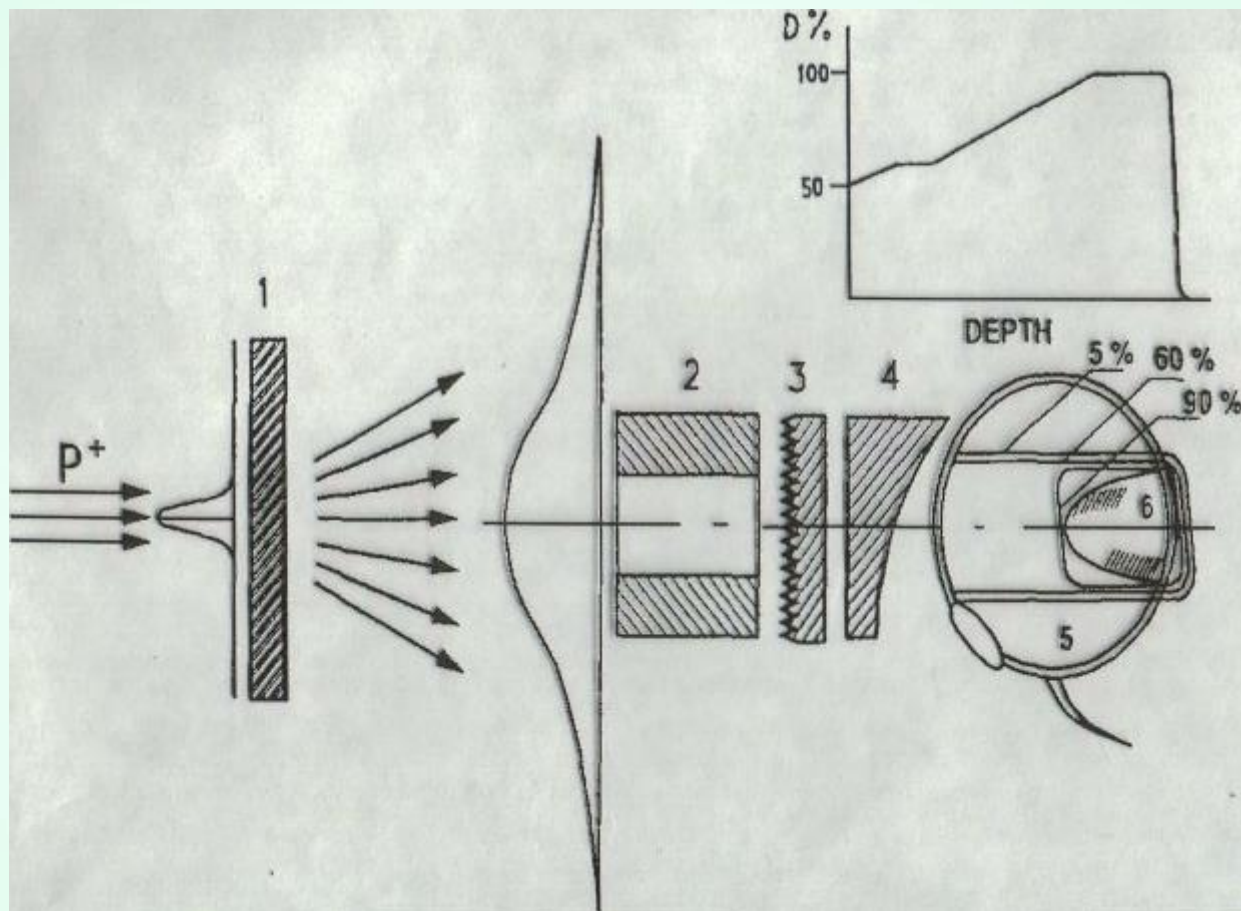
- 1: гамма кванты 140кВ;
- 2: гамма излучение кобальт 60 - 1,17 МэВ;
- 3: пучок электронов 3,25МэВ;
- 4: тормозное излучение 4,25 МэВ;
- 5: протоны 160 МэВ (пик Брэгга);
- 6: модифицированный пик Брэгга (энергетический спектр оптимизируется для облучения мишеней, простирающихся от 9см до 16см по глубине)





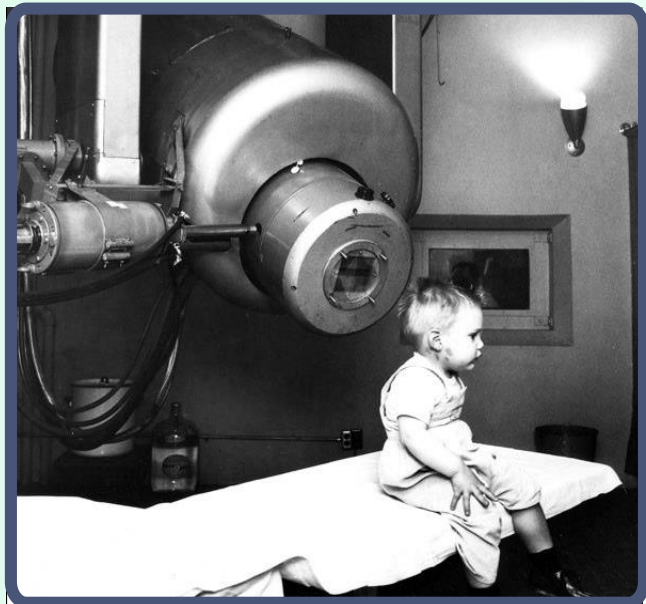
## Принцип формирования дозного поля – пассивный метод Passive Dose Delivery System - PDDS

1. Рассеиватель
2. Коллиматор
3. Гребенчатый фильтр
4. Болюс
5. Глаз
6. Опухоль





## *Ускорители заряженных частиц для медицины: с чего все начиналось*



**Первый линейный ускоритель для  
лучевой терапии и первый пациент.  
Стенфордский университет (США),  
1950е гг. (слева) и первый серийный  
медицинский ускоритель для  
электронно-лучевой терапии -  
бетатрон фирмы Siemens.**







**Линейные ускорители электронов для ЭЛТ Siemens Artiste и Siemens Primus**

-2D

-3D

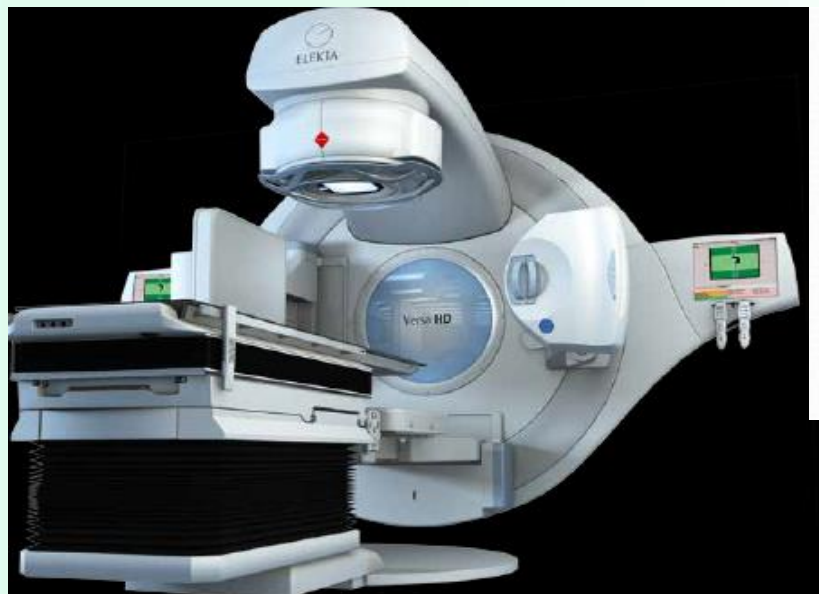
-Конформная

-Стереотаксис





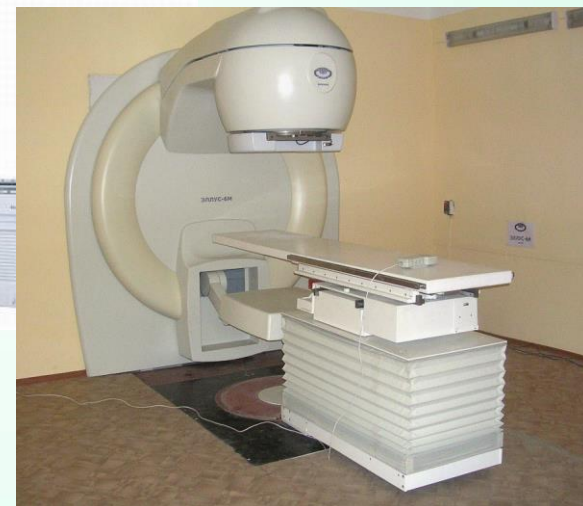
**Varian Clinac и система топометрии  
Varian Edge**



**Electa Versa HD**



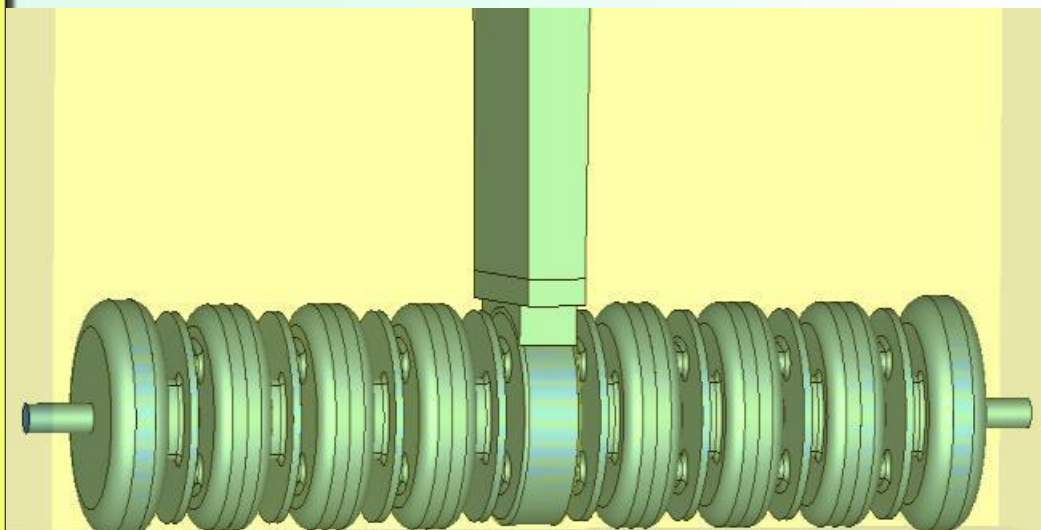
**SHINVA (КНР)**



**ЭЛЛУС  
(НИИЭФА)**

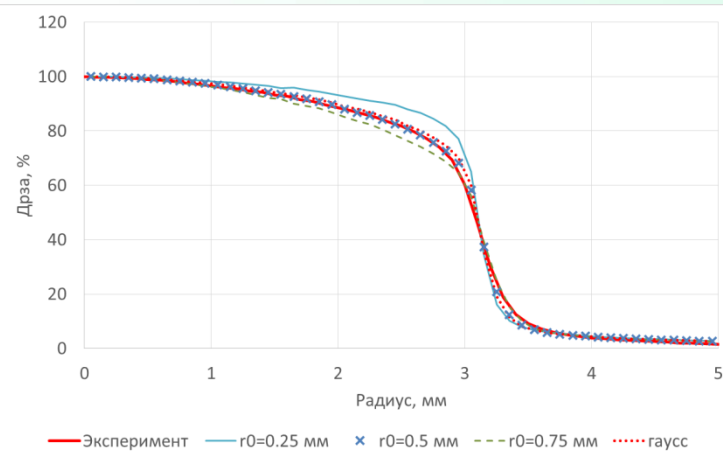
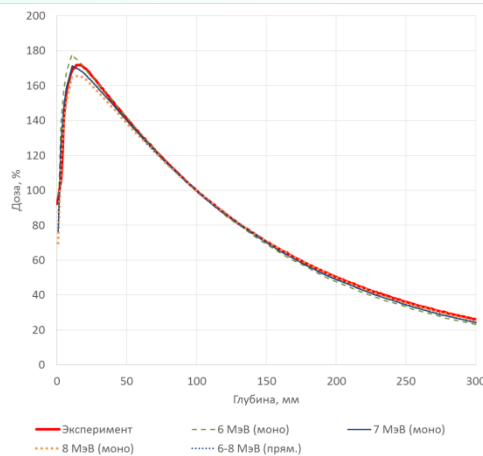
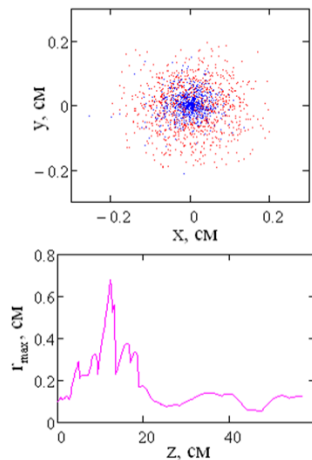
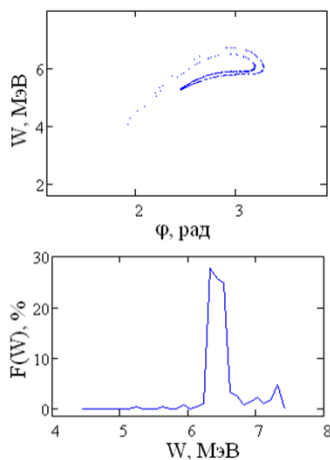
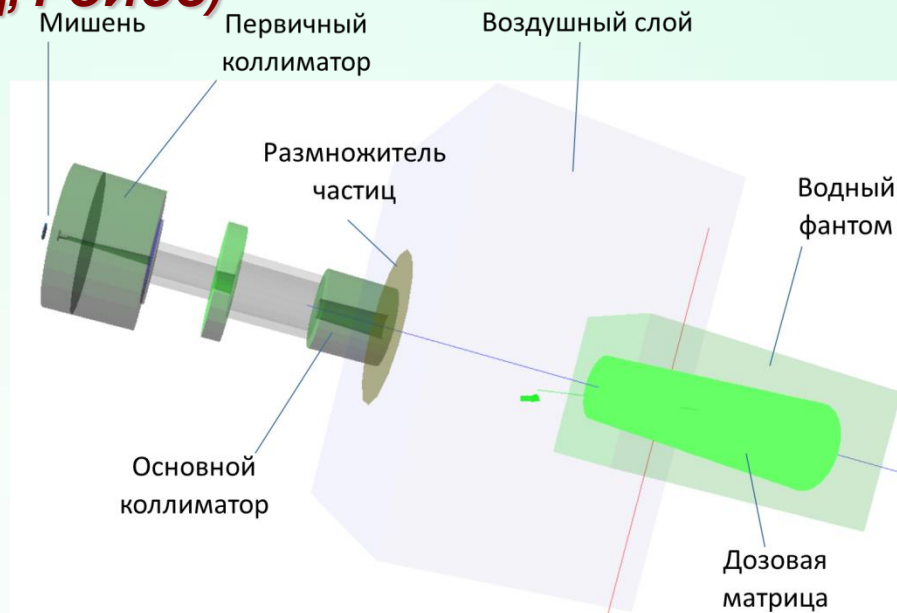
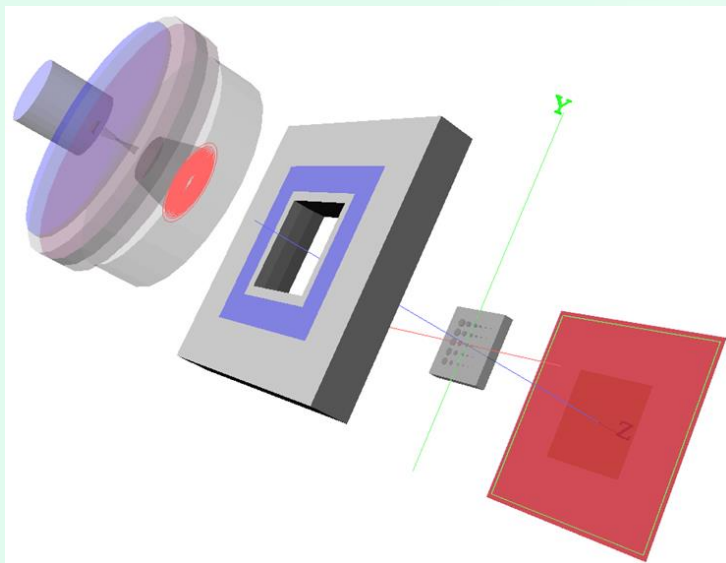


**КОМПАКТИЗАЦИЯ УСКОРЯЮЩИХ  
СТРУКТУР ДЛЯ УСТАНОВОК ТИПА  
КИБЕР-НОЖ И  
ИНТРАОПЕРАЦИОННЫХ  
УСКОРИТЕЛЕЙ  
(МИФИ и ИПФ РАН)**





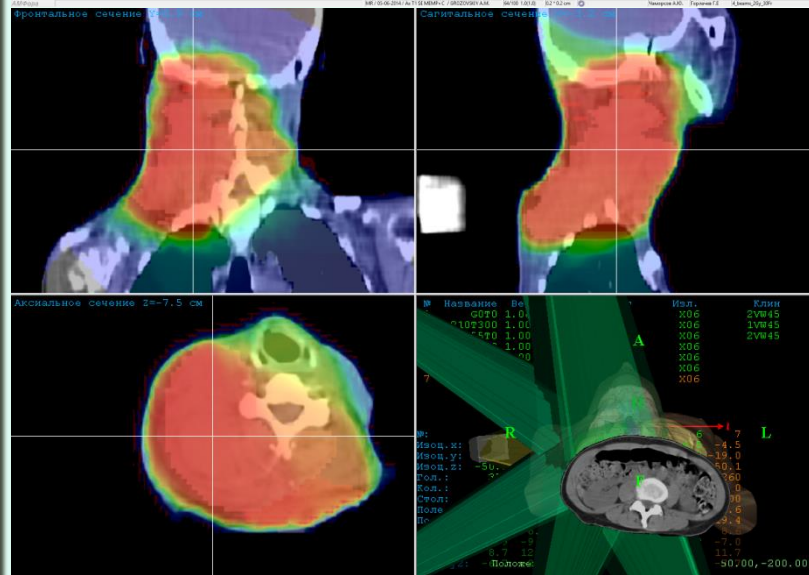
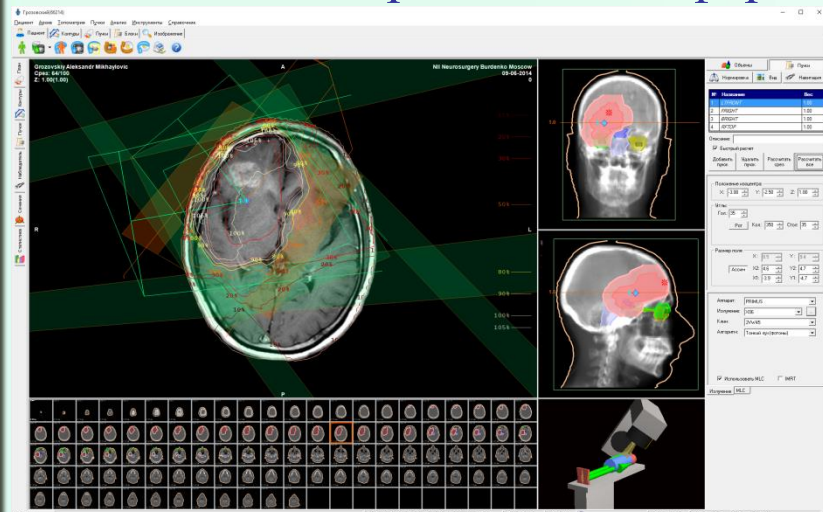
# ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЕЙ ОБЛУЧЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА (МФЦ, РОИСС)



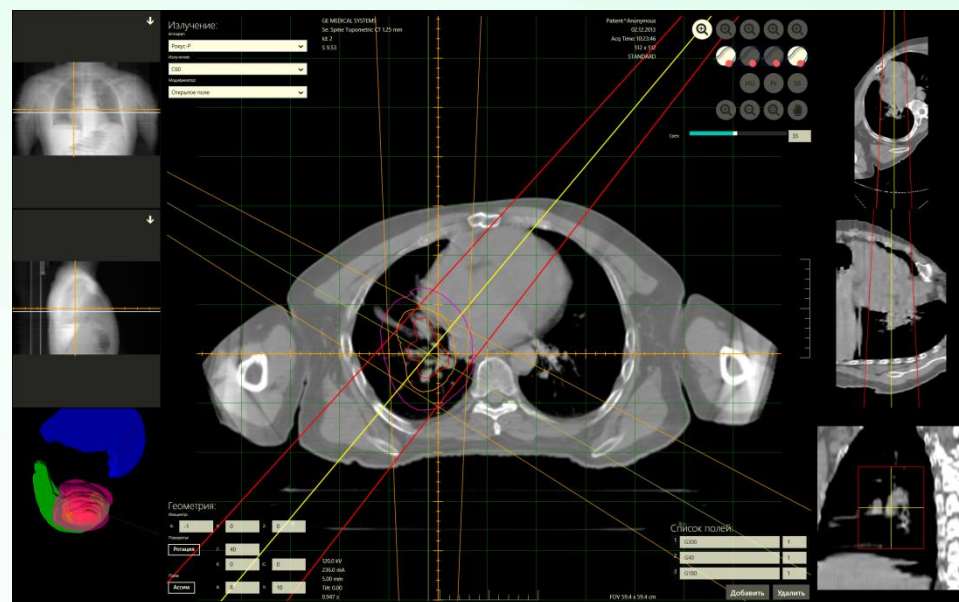


# ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ (МФЦ, РОИСС)

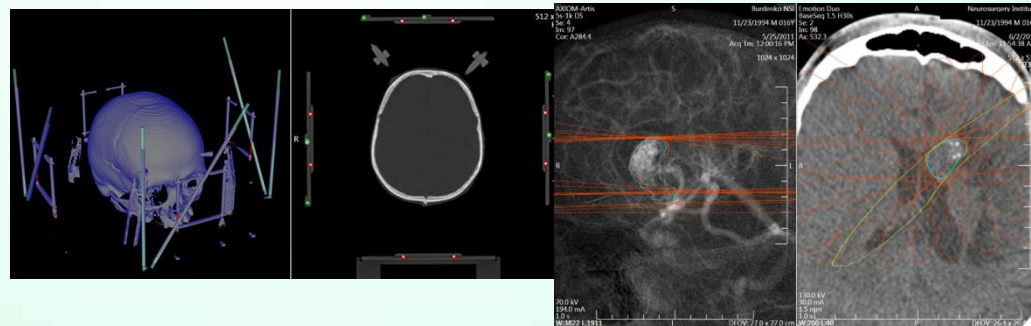
## Система планирования «Амфора»



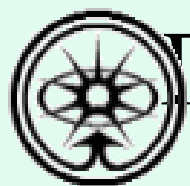
## РОКвадро



## XNav - система для стереотаксической навигации сосудистых патологий

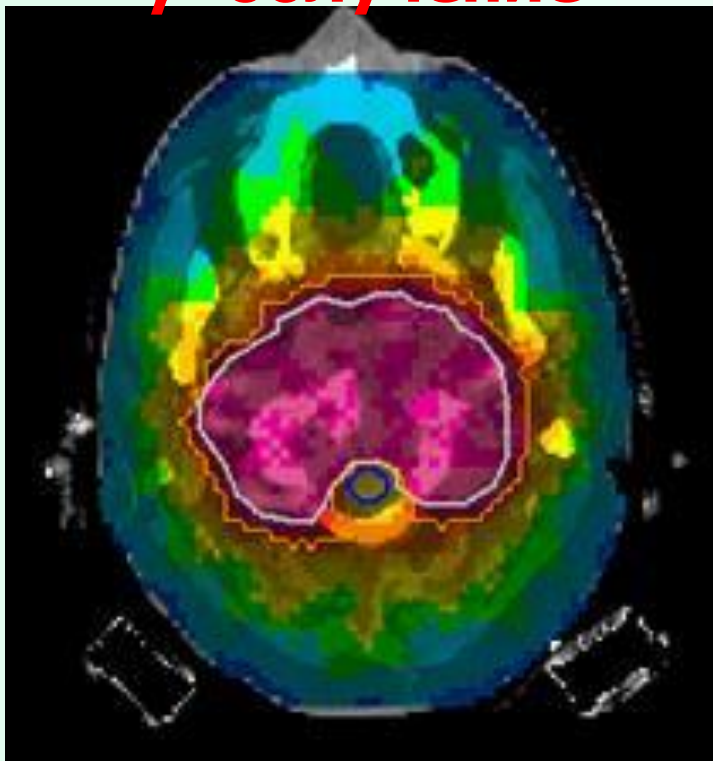




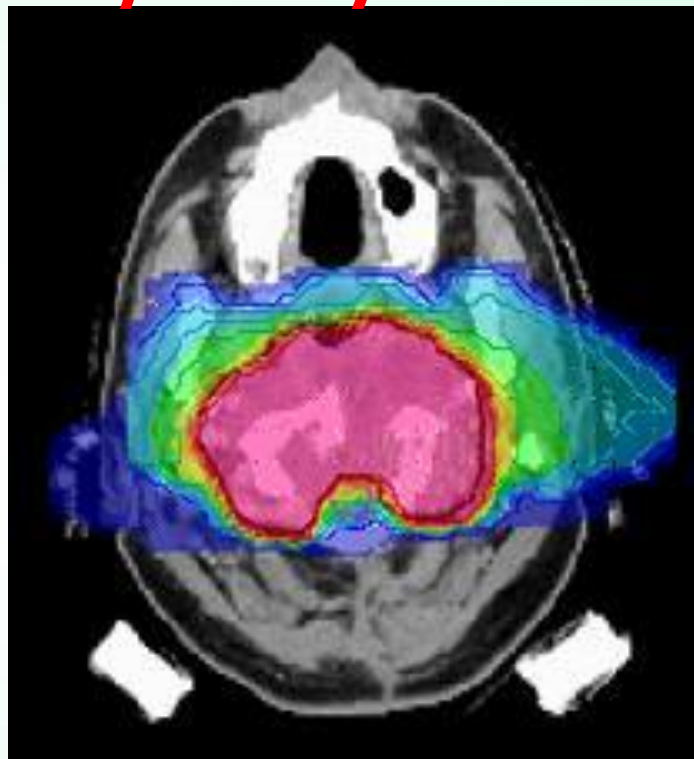


# План при $\gamma$ и протонном облучении

$\gamma$ -облучение



$p^+$ -облучение



**Протонное облучение обеспечивает лучшую конформность дозного поля с мишенью по сравнению с гамма-облучением ( $k=2$ )**



## Лучевая установка для облучения мишеней в области таза (ИТЭФ)





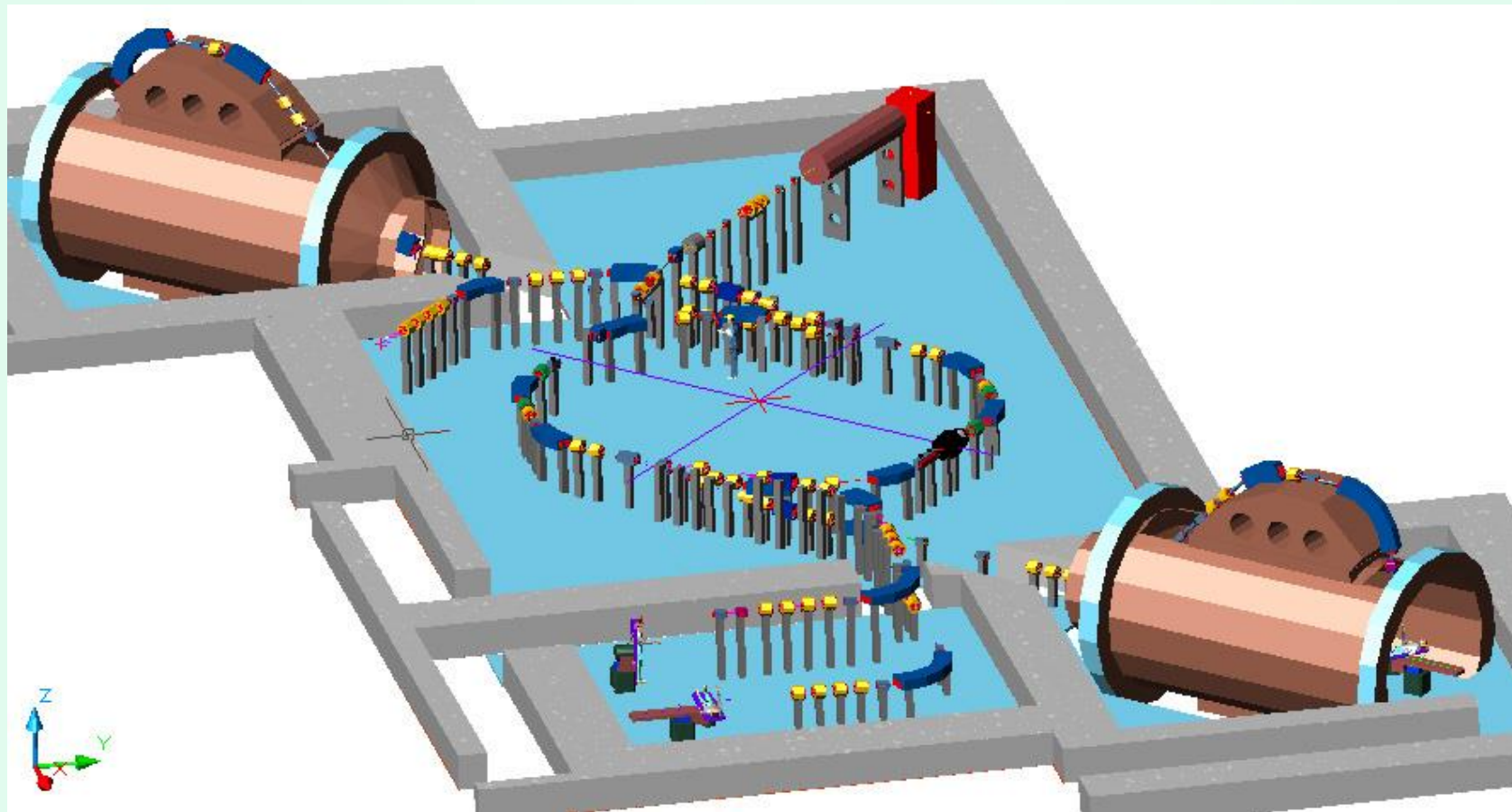
## Гантри, вид со стороны медицинского кабинета

«Носик» Гантри  
Позиционер  
и фиксирующее  
устройство  
Больной  
Мед. сестра

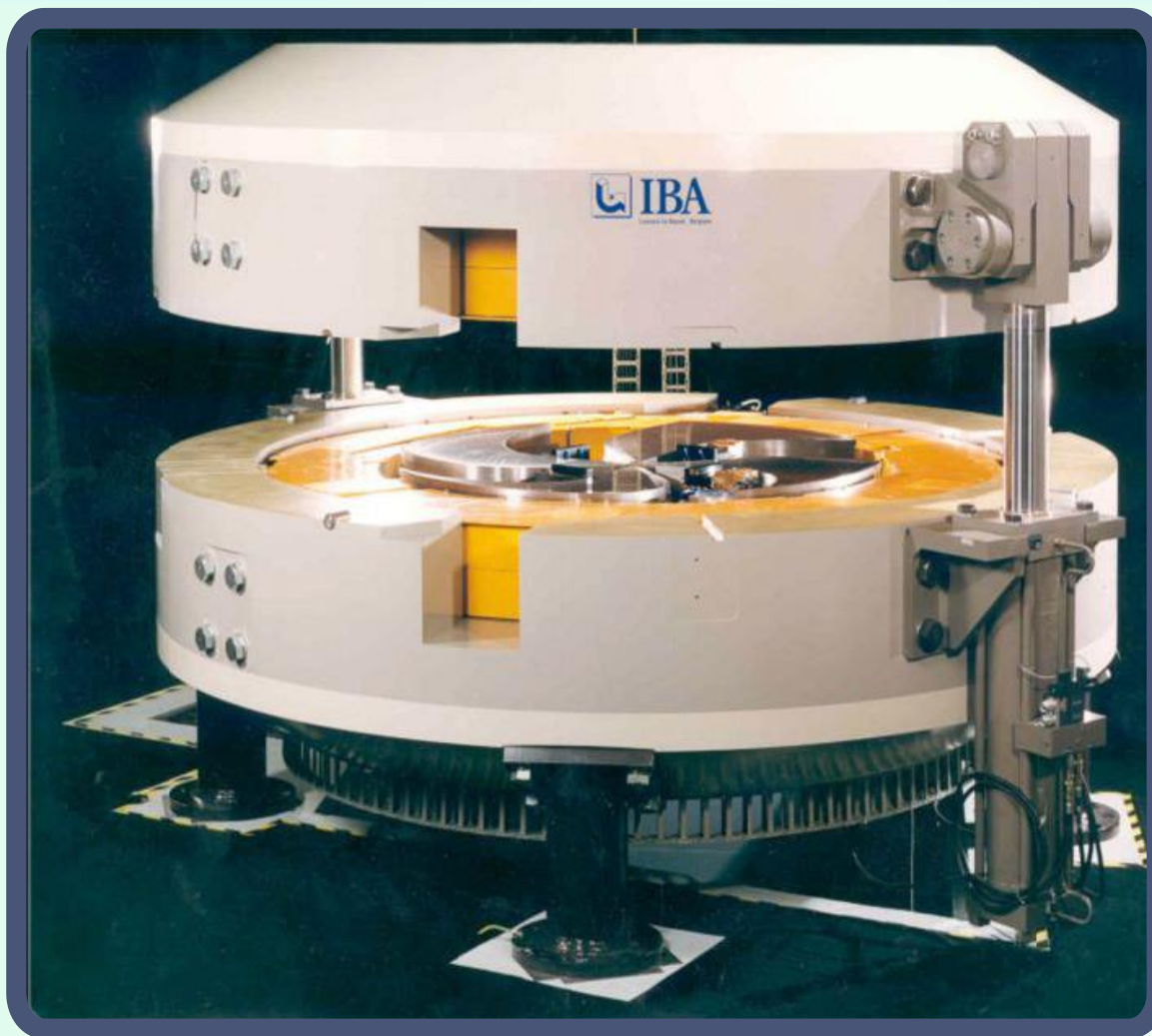




# Московский центр ПЛТ при ГКБ им. Боткина (ускоритель, гантри, ГФП)







**Циклотрон IBA Proteus 235, установка которого планируется в центре высокотехнологичной медицины в г. Димитровград (Ульяновская обл.) в 2013 г.**



→ **Федеральный высокотехнологичный центр медицинской радиологии в г. Димитровграде**

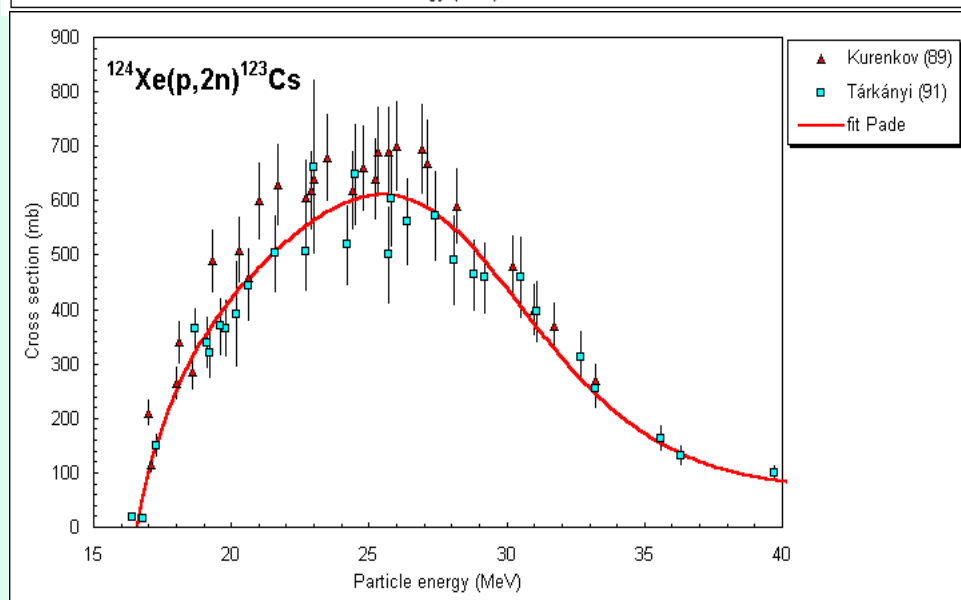
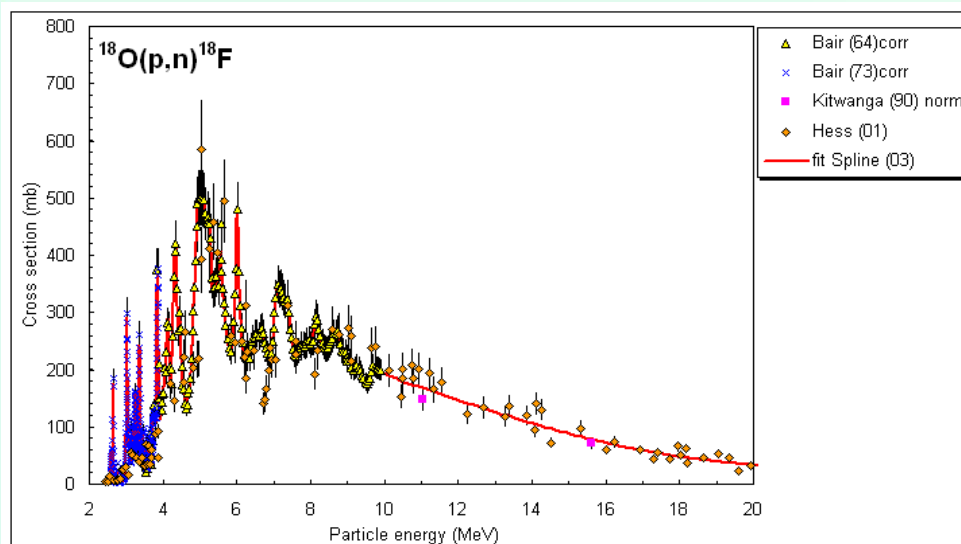


MyShared





# Наработка изотопов: выбор Циклотрона



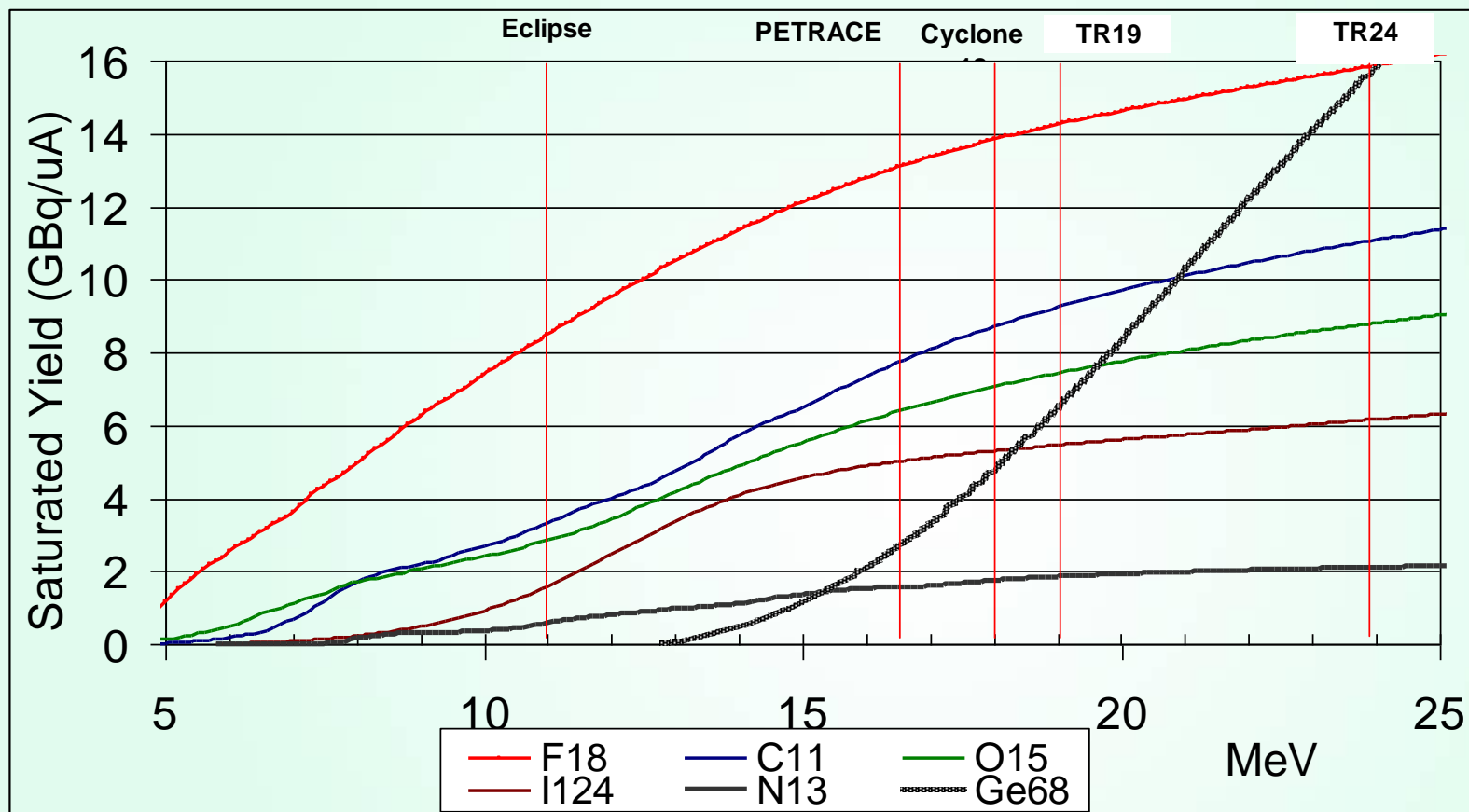
## Выбор Энергии

ПЭТ изотопы получают в реакциях (p,n) and (p, $\alpha$ ) в диапазоне от 4 до 20 МэВ

ОФЭКТ изотопы получают в реакциях (p,2n) or (p,3n) в диапазоне энергий от 15 до 40 МэВ

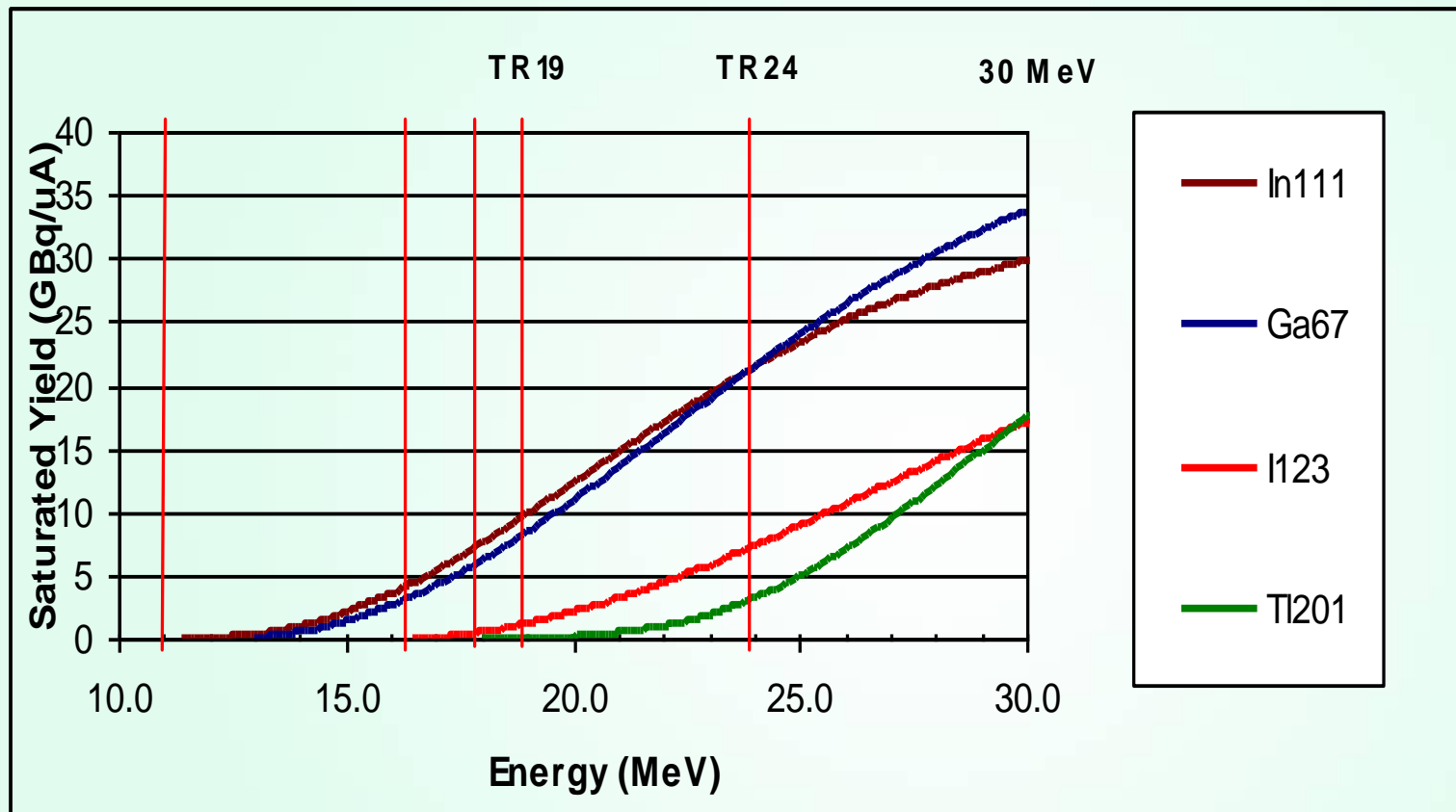


## Выход ПЭТ радионуклидов в зависимости от энергии

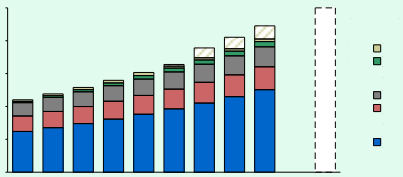




## Выход ОФЭКТ радионуклидов в зависимости от энергии







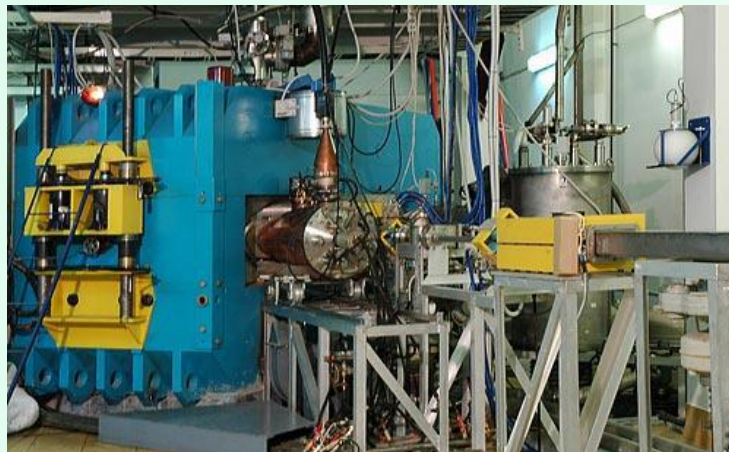




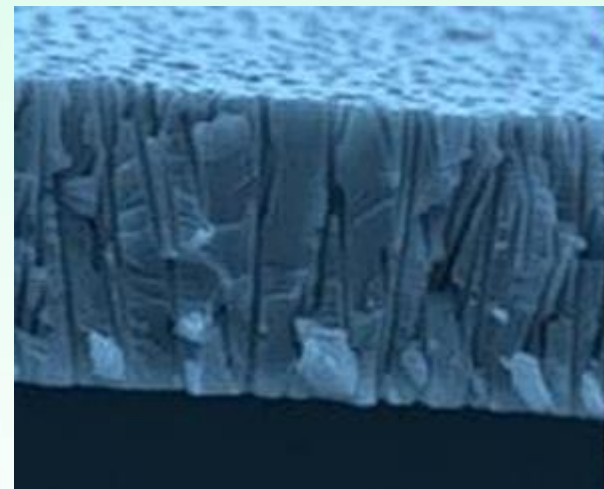
**Циклотроны TR 30 (слева) фирмы Advanced Cyclotrons Systems Inc. (Канада) и Cyclone 18/9 фирмы IBA (Бельгия), являющихся основными поставщиками оборудования для российских центров позитронно - эмиссионной томографии**



## ПРОИЗВОДСТВО ЯДЕРНО-ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН (ОИЯИ)



[http://dubna-cluster.ru/areas/track\\_membranes/](http://dubna-cluster.ru/areas/track_membranes/)



Плазмафильтр «РОСА»







# *Энергетика*



# ***Применение ускорителей в различных областях энергетики***

## **Ускорители большой мощности для ядерной энергетики:**

- подкритический реактор;
- трансмутация ядерных отходов;
- использование вторичных актинидов;
- ториевый цикл.

## **Исследовательские ускорители большой мощности:**

- мощные генераторы нейтронов, нейтрино, пучков радиоактивных и редких изотопов;
- изучение вопросов трансмутации ядерных отходов.

## **Ускорители для термоядерной энергетики:**

- системы нейтральной инжекции;
- инерциальный термоядерный синтез.

## **Ускорители для решения задач (реакторного) материаловедения.**



## **Ускорители большой мощности для ядерной энергетики (Accelerator driven system)**

- расширение использования атомной энергетики и изменение отношения к ней в обществе;**
- «топливный менеджмент» - возможность более эффективного использования топлива;**
- решение проблемы с наработкой актинидов, в частности америция;**
- Accelerator driven system (ADS);**
- ториевый реактор.**



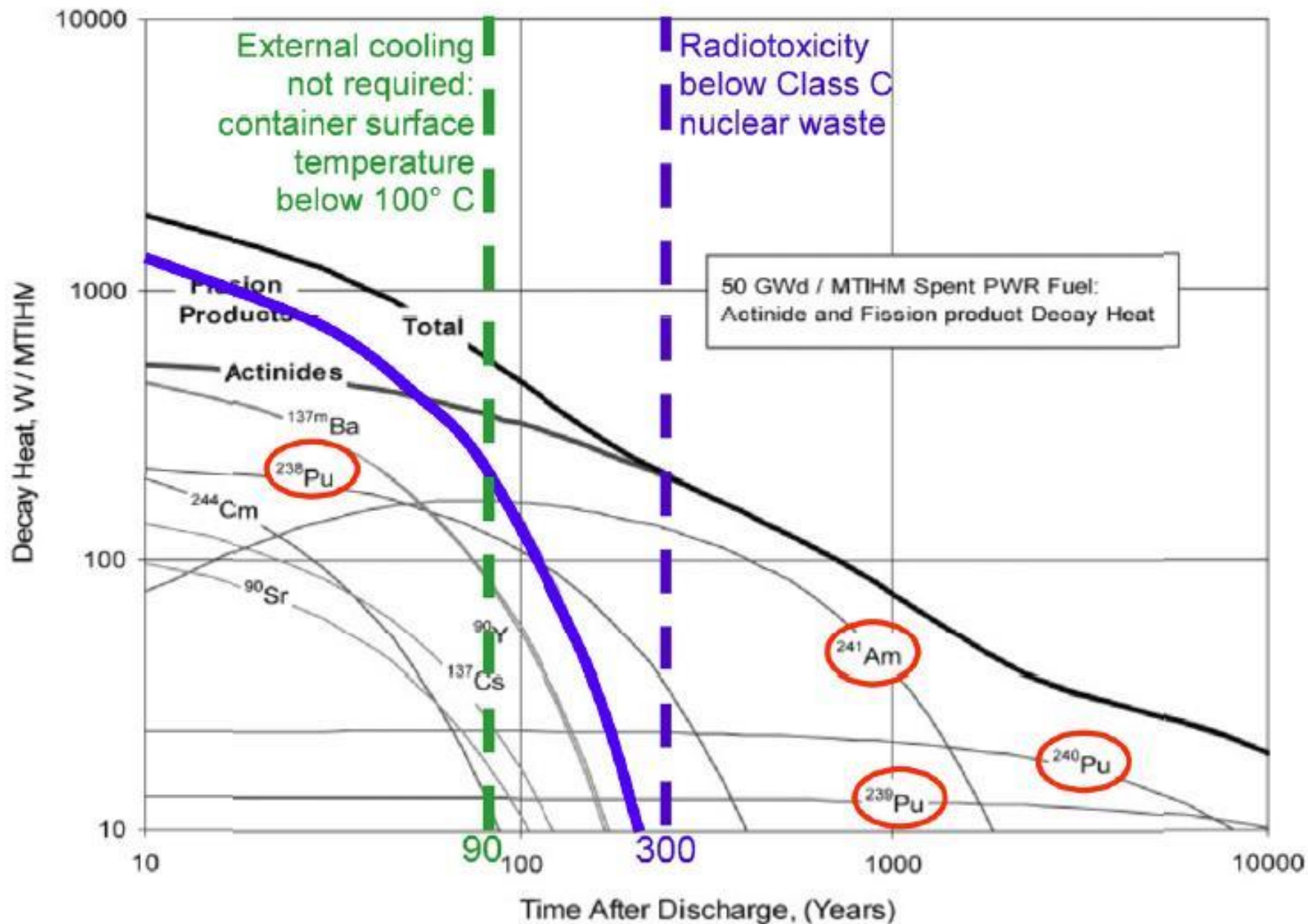
**Для работы энергоблока АЭС мощностью 1 ГВт необходимо примерно 20 тонн U-238 (~2м<sup>3</sup>)**

**Для сравнения:**

**Для получения 1 ГВт необходимо сжечь 3.400.000 тонн угля. При этом будет выделено:**

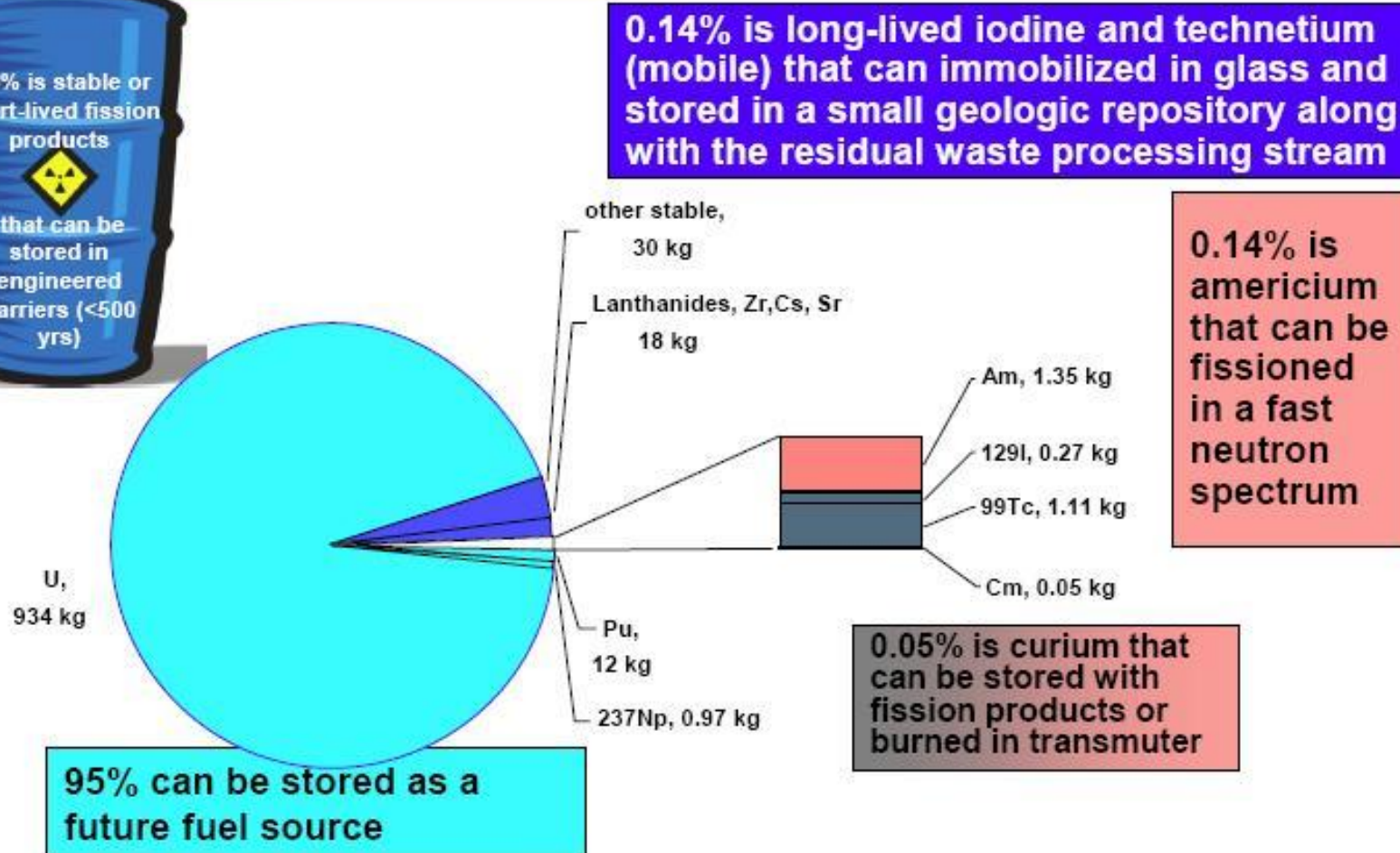
- CO<sub>2</sub> (7.400.000 тонн)**
- SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> (20.000 тонн каждый)**
- Hg в виде пара (примерно 2.50 кг)**
- Радон**
- 340.000 твердых отходов, в том числе:**
- 27 тонн радиоактивных материалов, в основном U-238 и Th-232**
- Токсичные соединения мышьяка, меди, бария, кадмия, хрома, свинца, ртути, никеля и талия**







## 92% of Used Nuclear Fuel is U238 That Carries The Same Health Concerns Of Any Heavy Metal





## ***Параметры ускорителя:***

<b>Энергия</b>	<b>0.8-1.5 ГэВ;</b>
<b>Ток ускоренного пучка</b>	<b>50-150 мА;</b>
<b>Мощность пучка</b>	<b>10-30 МВт;</b>
<b>Тип ускорителя</b>	<b>линейный (???)</b>



# Decay Heat Significantly Impacted the Yucca Mountain Repository Design

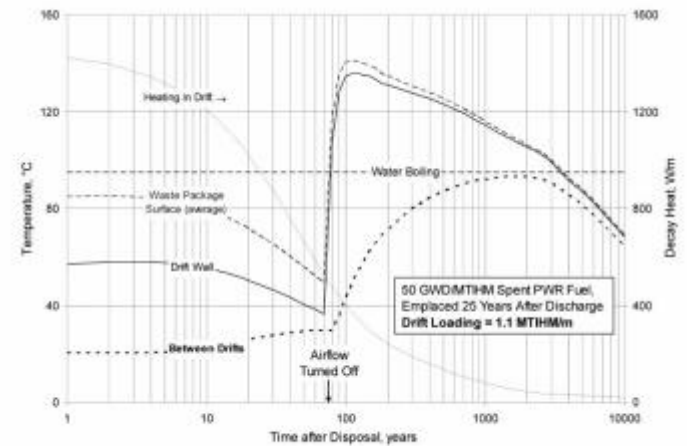
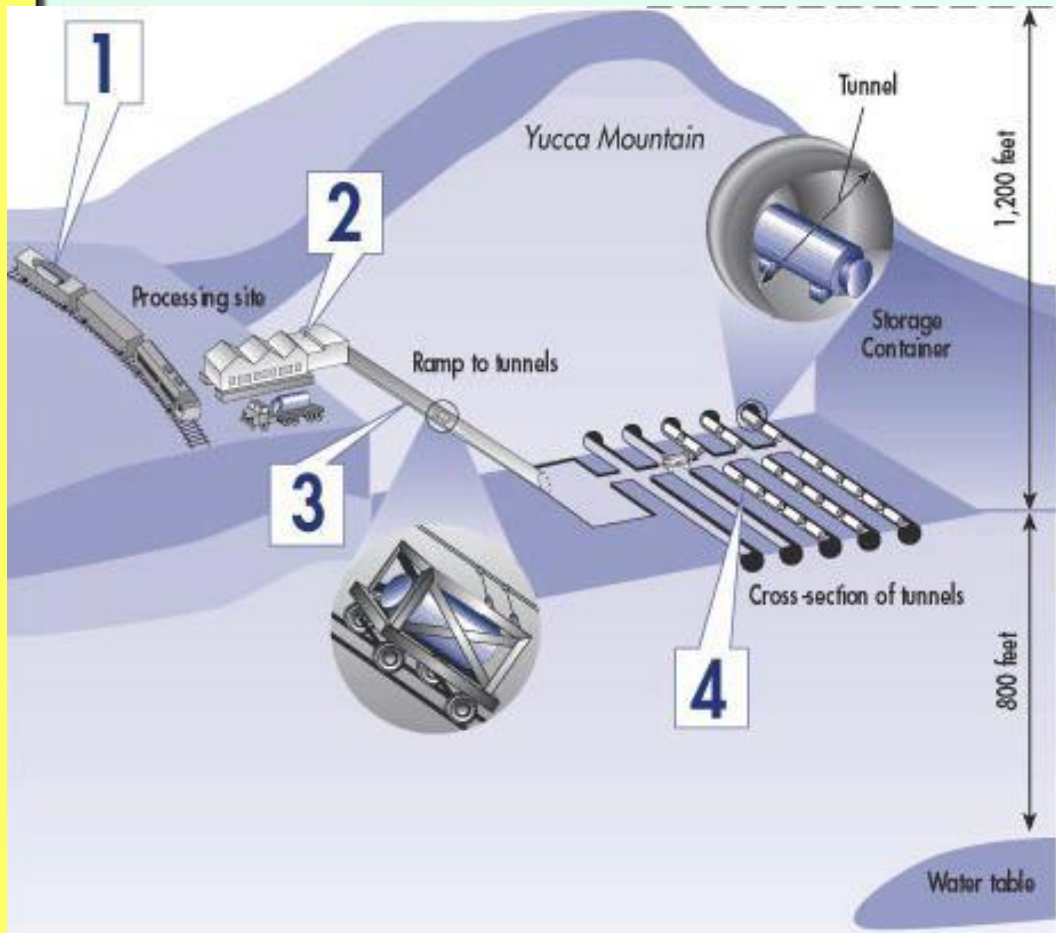
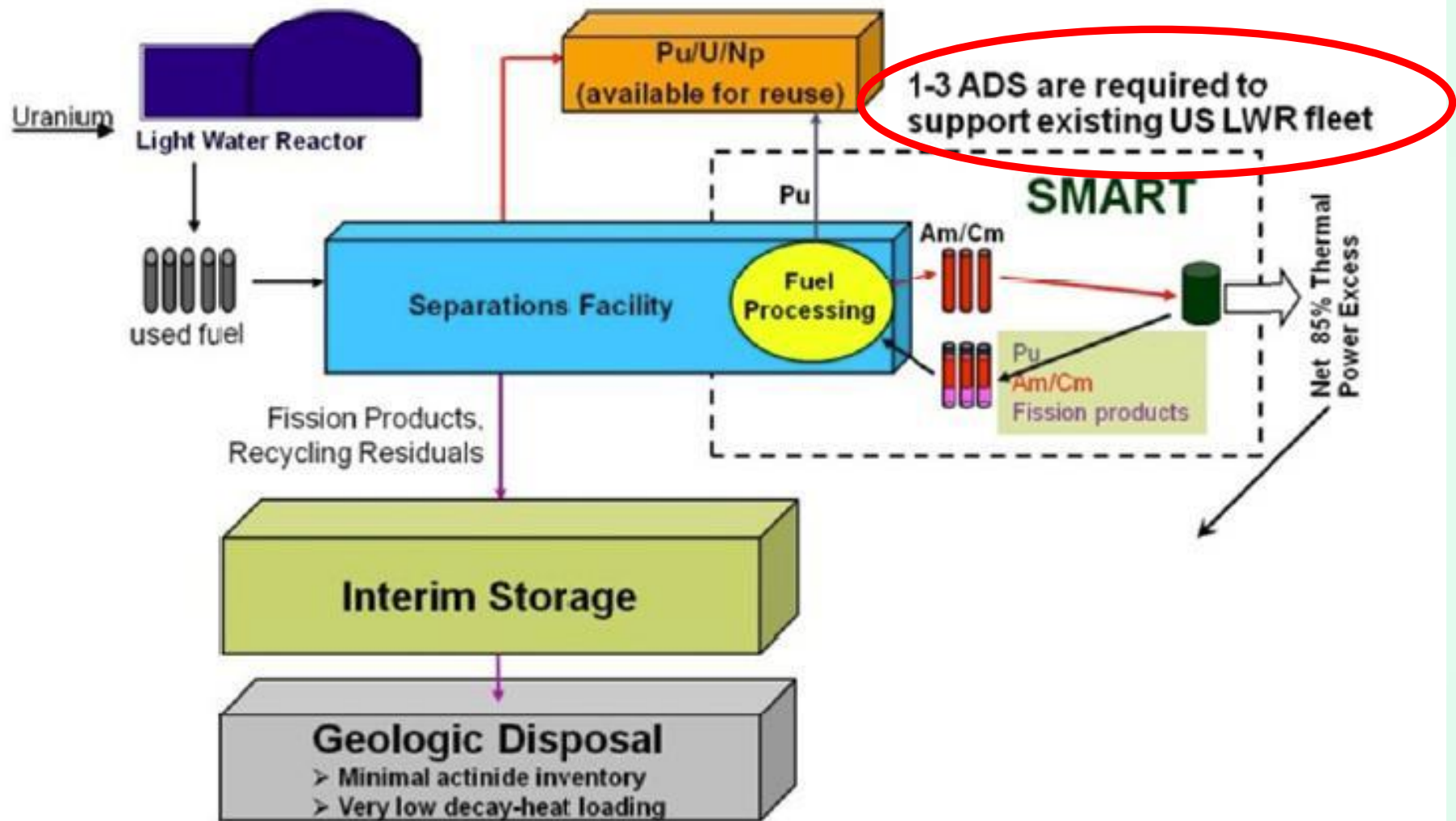


Fig. 3. Transient thermal response of a repository at Yucca Mountain for reference loading conditions of spent PWR fuel and 75 yr of forced ventilation.





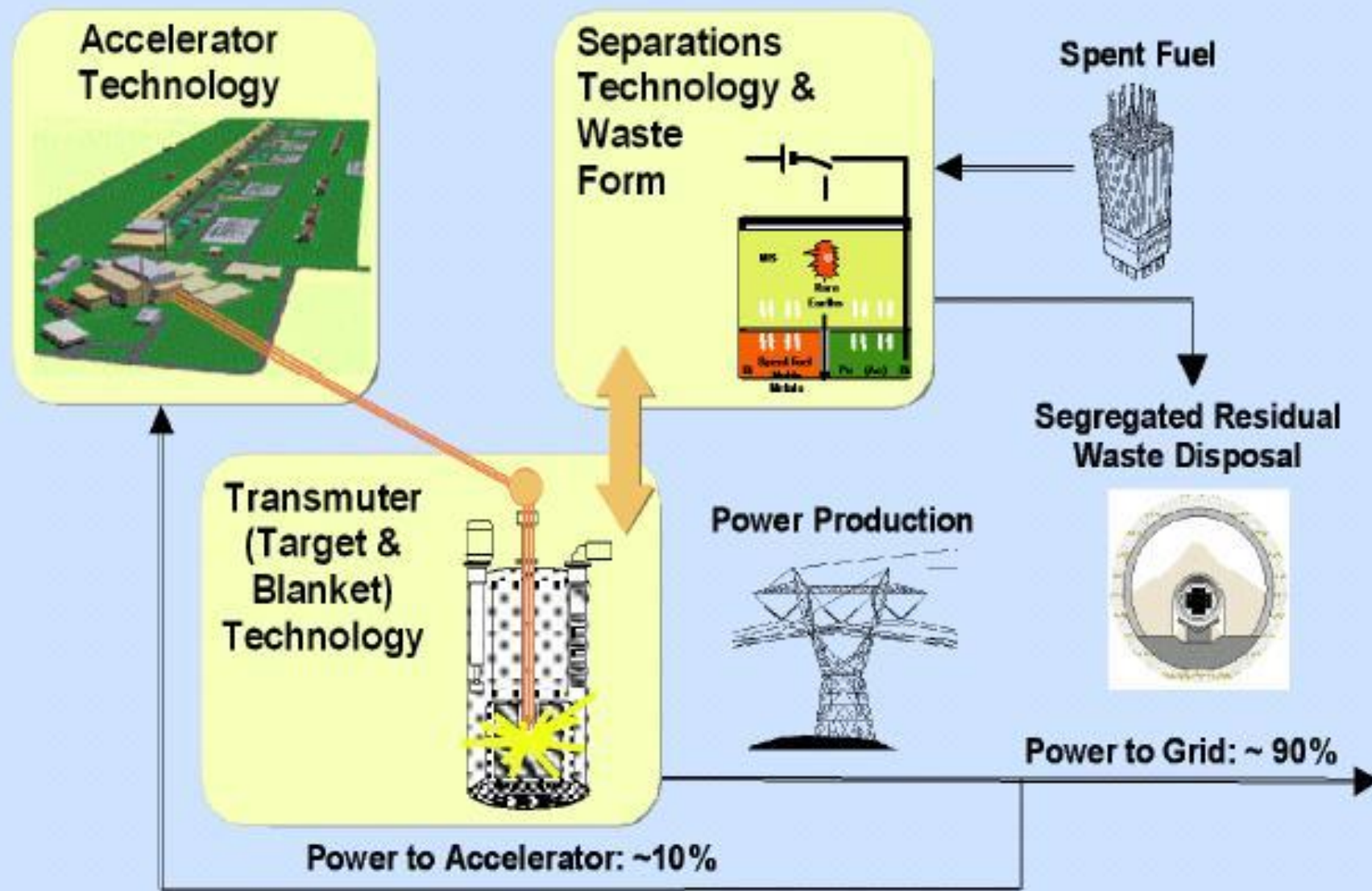
## SMART: “Subcritical Minor Actinide Reduction Through Transmutation”





# Технология трансмутации с использованием ускорителя должна включать как минимум 4 элемента:

ускоритель; систему трансмутации, систему сепарации, хранилища топлива и отходов





## *Текущие проекты:*

### **JAEA: проект JAERI/Tokai**

реактор мощностью 800 МВт, протонный пучок с импульсной мощностью 30 МВт

### **Европейский проект MYRRHA**

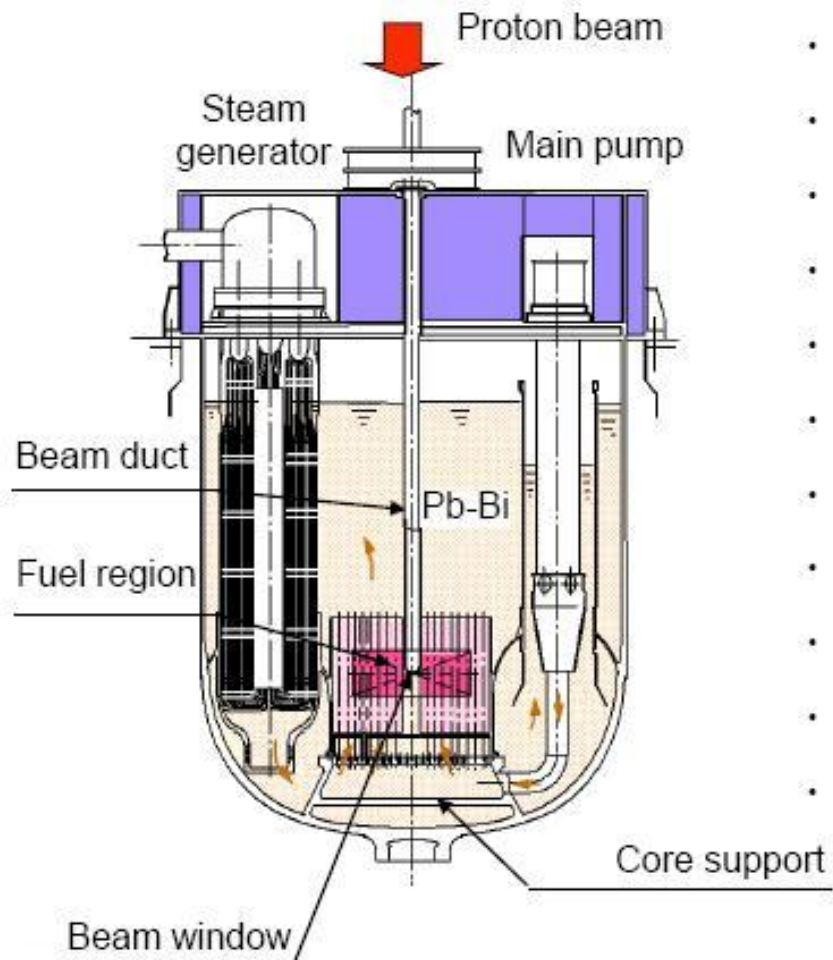
реактор мощностью до 800 МВт, протонный пучок со средней мощностью 2.4 МВт

**Проект США** стартовал в 2001 г., параметры установки до сих пор не утверждены

*Где мы?*



# Пример 1: предварительный дизайн подкритического реактора JAERI/Tokai (Япония)



- Proton beam : 1.5GeV 22 – 30 MW
- Spallation target : Pb-Bi
- Coolant : Pb-Bi
- Subcriticality :  $k_{\text{eff}} = 0.95$
- Thermal output : 800 MWt
- Core height : 1000 mm
- Core diameter : 2440 mm
- MA initial inventory : 2.5 tonnes
- Fuel composition : (40%Pu + 60%MA) Mono-nitride
- Transmutation rate : 10%MA / Year (10 units of LWR)
- Burn-up reactivity swing : +1.8%  $\Delta k/k$



## Пример 2: MYRRHA (ES)

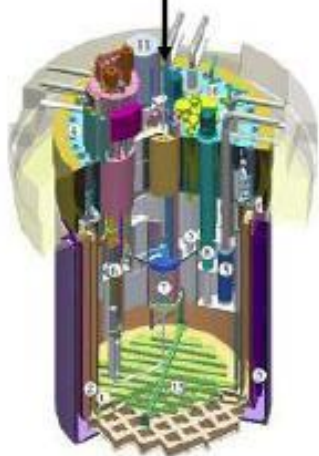
SCK • CEN

STUDIECENTRUM VOOR KERNENERGIE  
CENTRE D'ÉTUDE DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

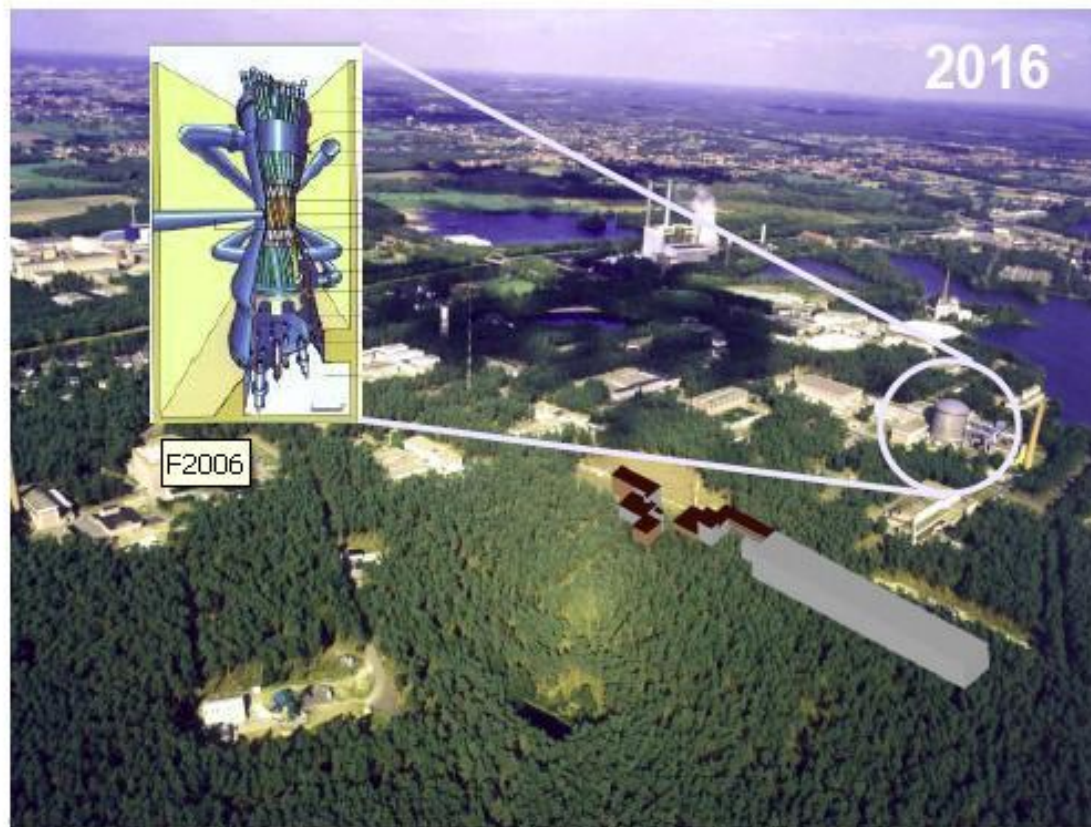


Protons  
accelerator

multidisciplinary

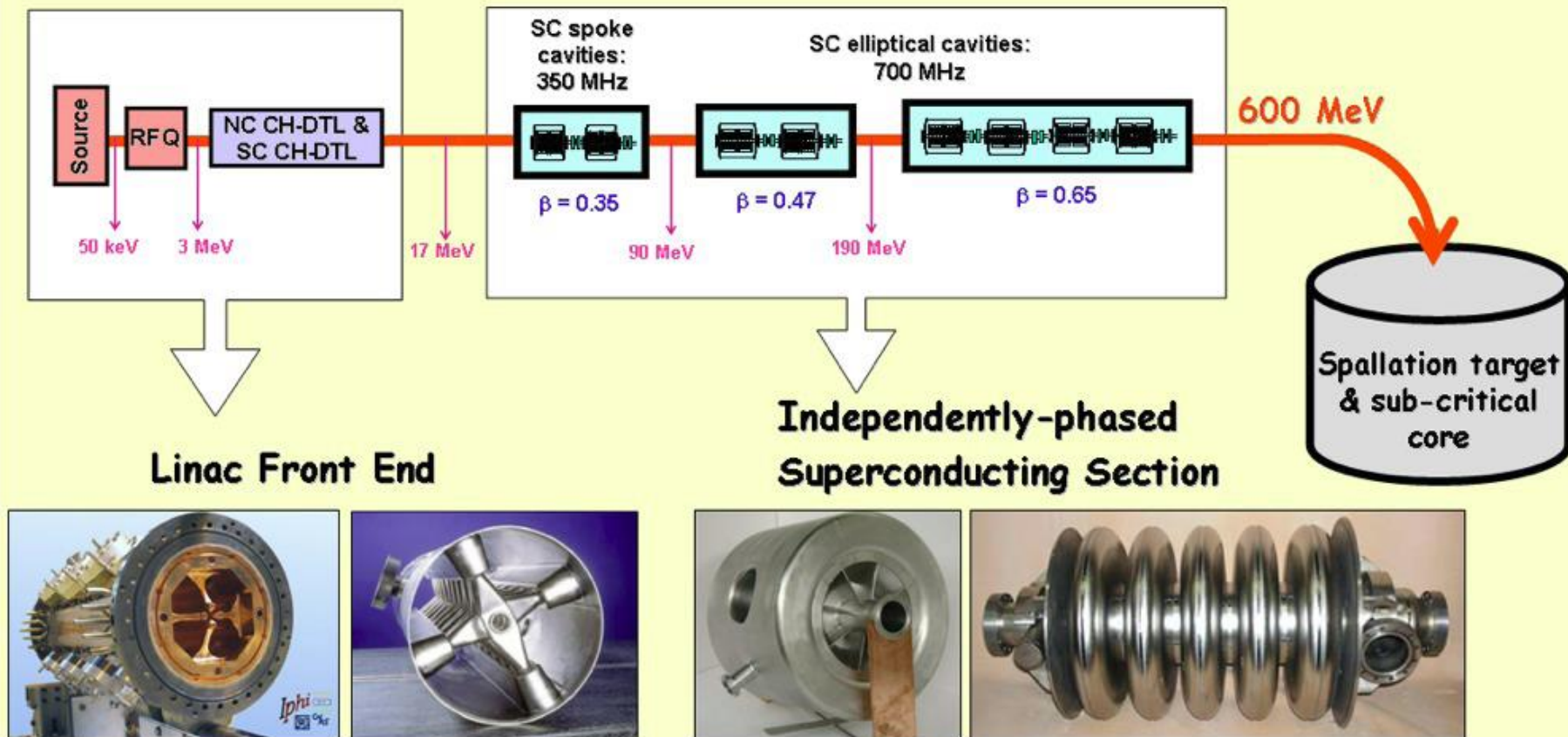


Research tool





## The MYRRHA accelerator reference scheme (2010)



Belgian Nuclear Research Centre (SCK.CEN); строительство планируется в 2015. 600 МэВ, 2.5 мА, протонный пучок, Pb-Bi мишень



## **Задачи:**

### **Разработка сборок:**

- анализ нейтронных потоков;
- анализ термодинамики реактора;
- безопасность;
- топливо;
- конструкционные материалы.

### **Выбор теплоносителя:**

- коррозия и контроль окисления;
- эрозия каналов;
- оценка безопасности.

### **Разработка делящейся мишени:**

- с окном для ввода пучка или без?
- материал мишени, охлаждение, теплоноситель.

### **Ускоритель:**

- разработка ускорителя с большой средней мощностью пучка;
- взаимодействие импульсов и топливом и выбор защиты;
- оценка надежности, доступности, ремонтпригодности, контроля

Reliability-Availability-Maintainability-Inspectability (RAMI)



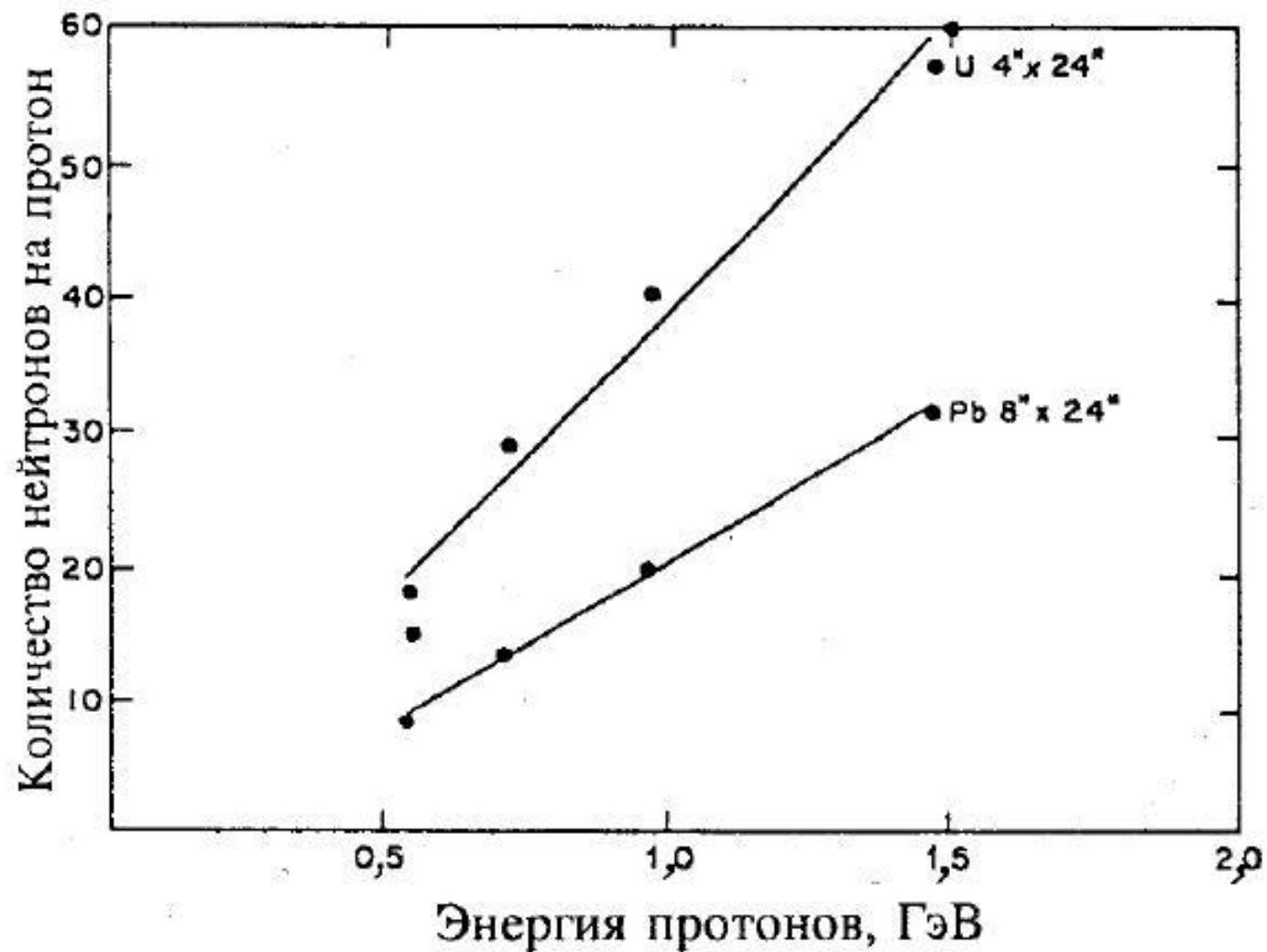
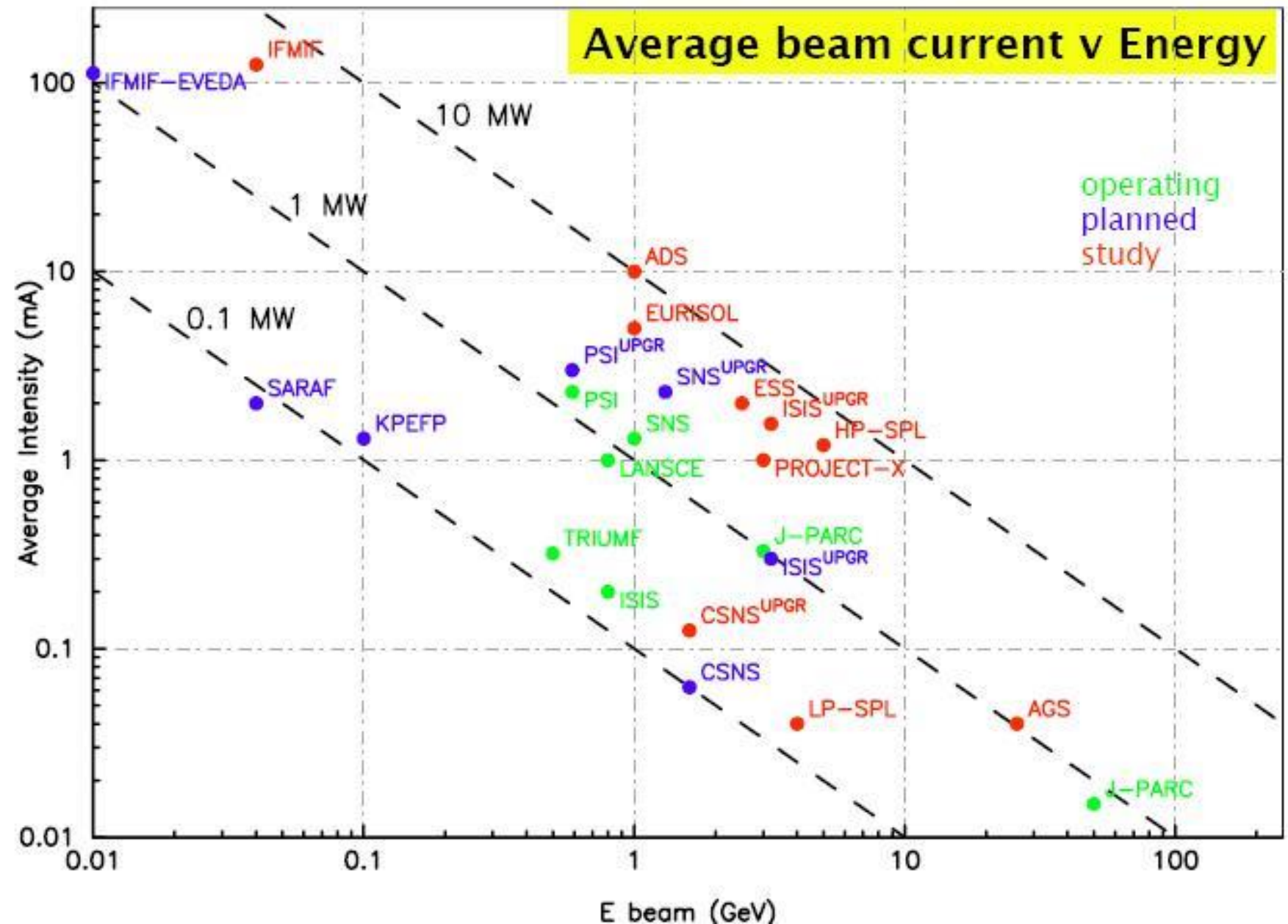


Рис.1. Измеренный выход нейтронов для разных мишеней



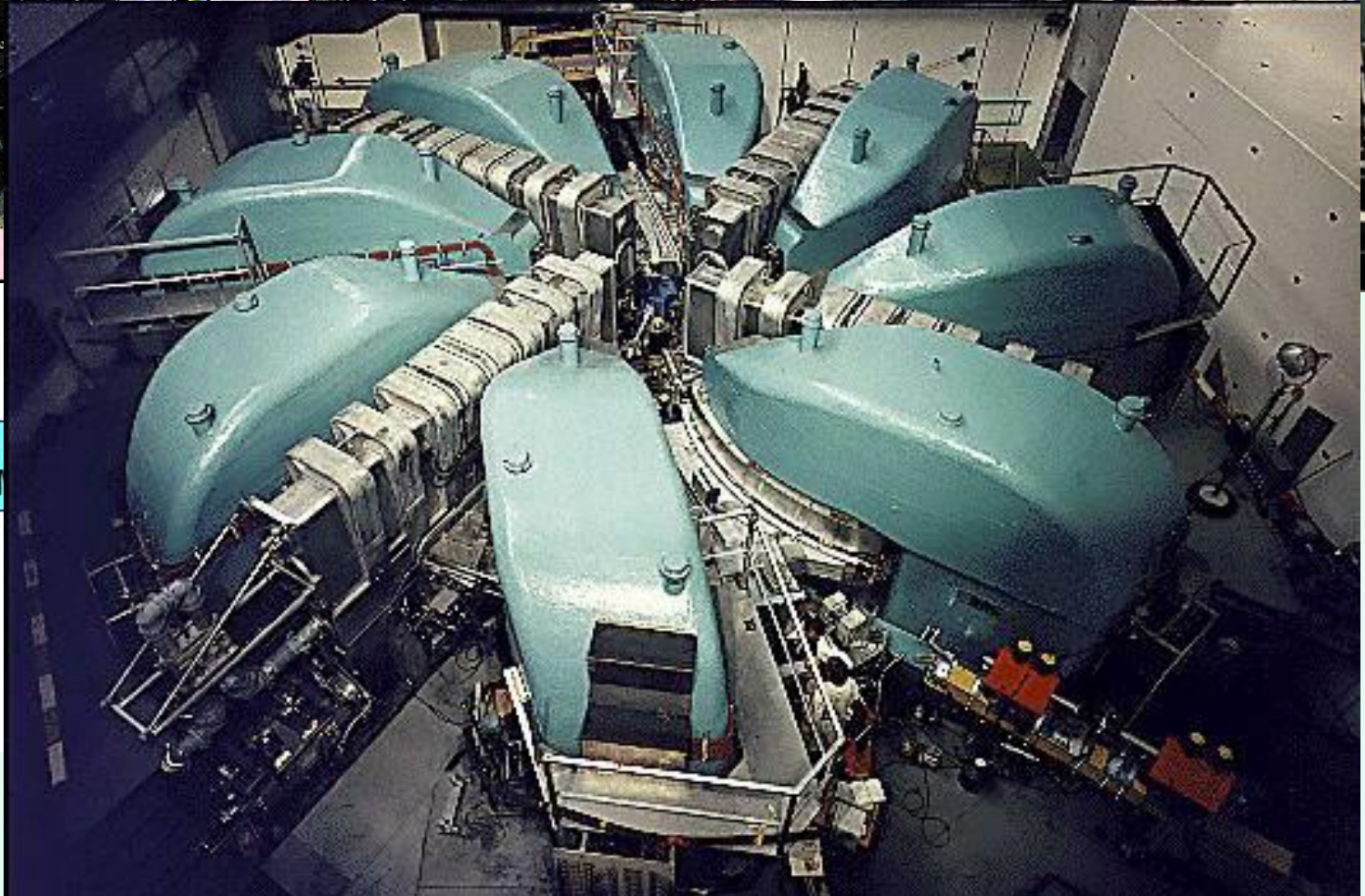
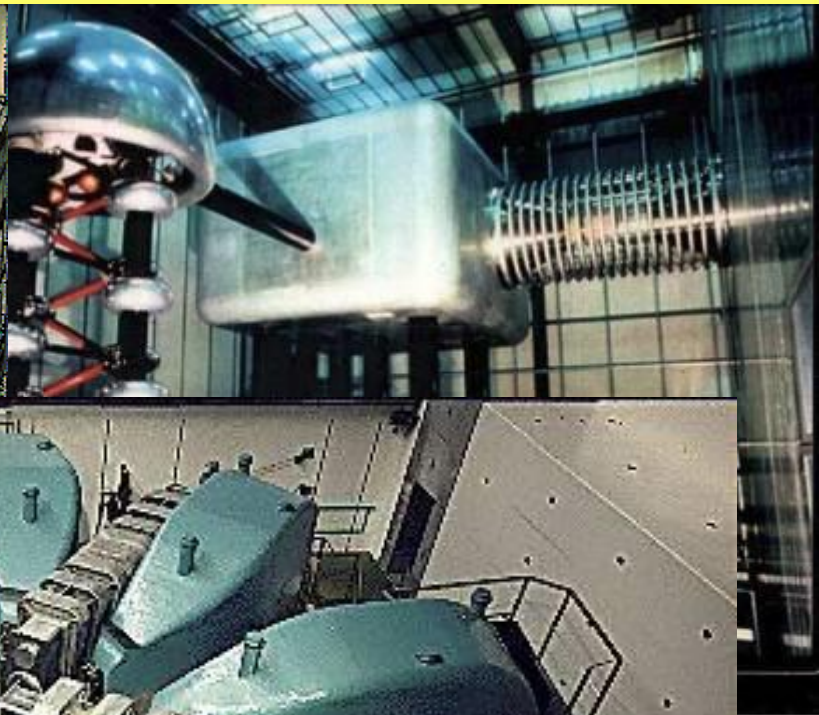
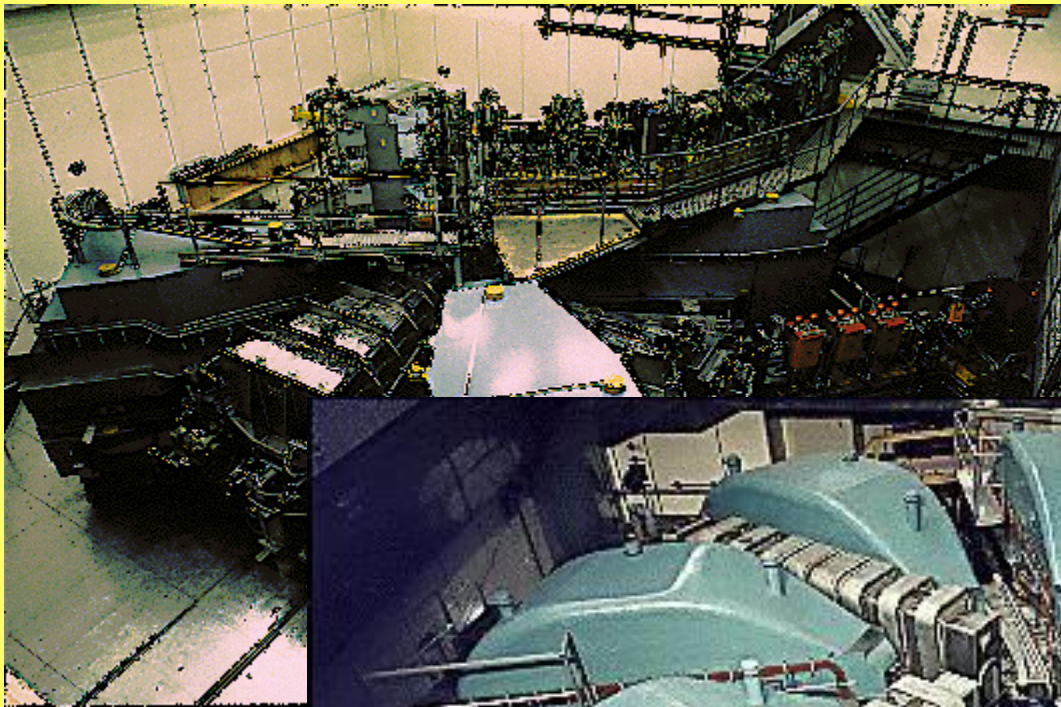




# A Bird's Eye View of the LANSCE Facility



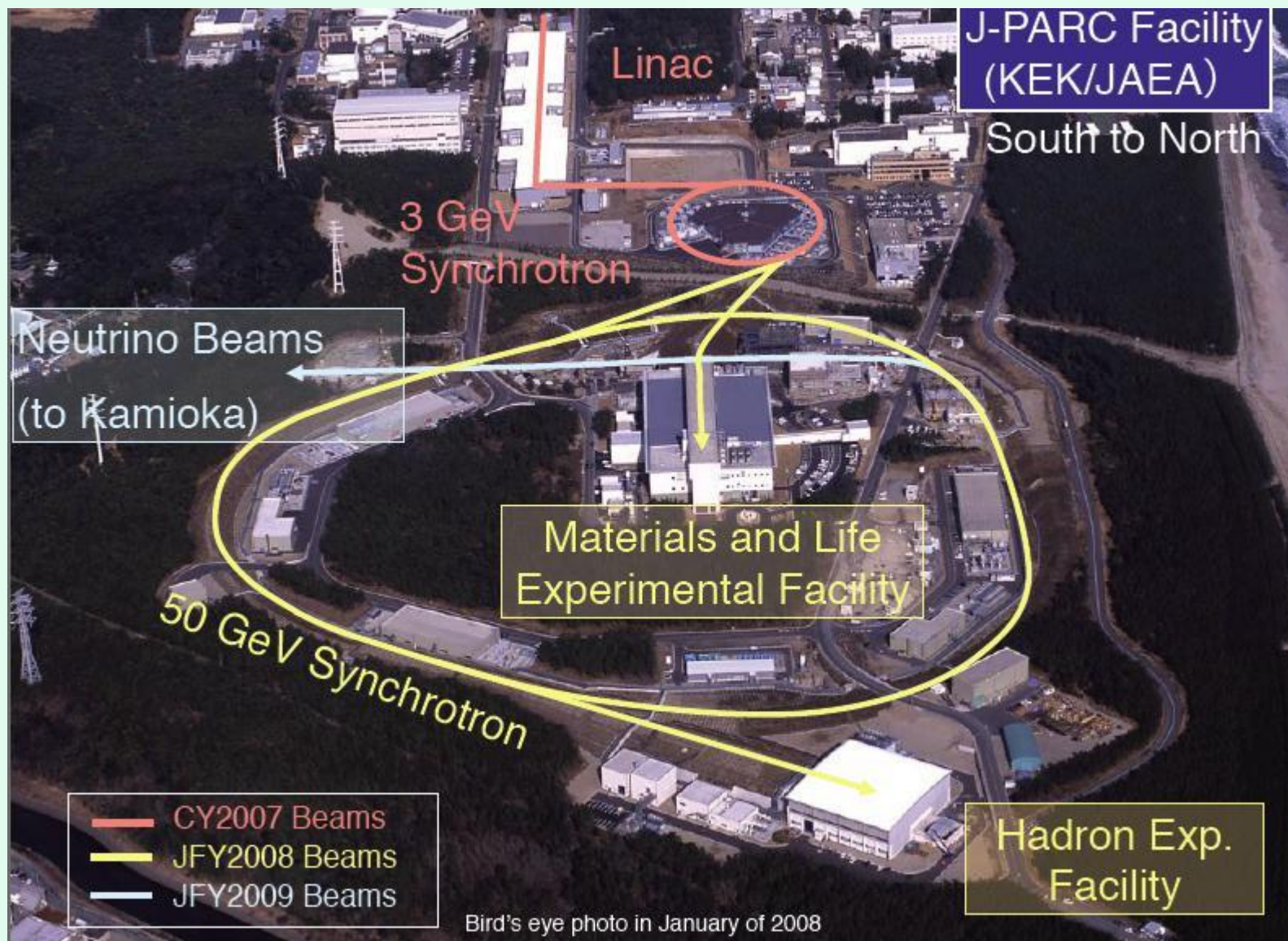




Ring  
590 m



# ***Multi-purpose facilities: J-PARC, KEK/JAEA, Japan***





# ***Spallation neutron sources:***

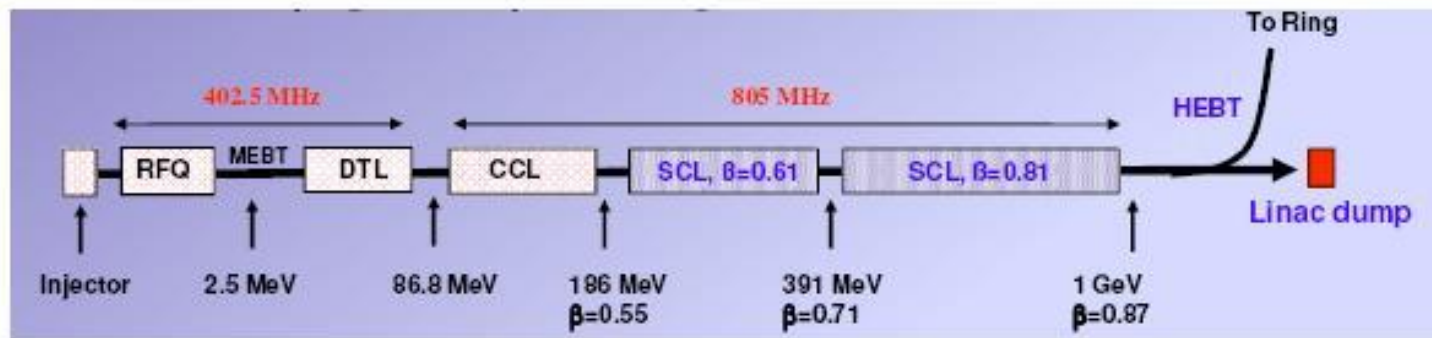
## **SNS, ORNL, USA**

- A short-pulse neutron source, driven by a 1.4 MW proton accelerator
- 1 GeV superconducting H<sup>+</sup> linac
- Accumulator ring with ~1000 turn charge exchange injection
- 60 Hz rep. rate
- Operation started October 2006
- Now routinely operating at ~1 MW for almost 5000 hrs/yr, with 85% availability
- 13 neutron scattering instruments





# Линейный ускоритель SNS



- Linac 260 m, 96 independently phased RF cavity/tanks
- Normal conducting from H<sup>-</sup> ion source to 186 MeV
- Superconducting from 186 MeV to 1 GeV
- Charge exchange injection into accumulator ring





## ***Spallation neutron sources:***

### **European Spallation Source, ESS, Lund, Sweden**

# **ESS: A Long Pulse Facility**

Collaboration of  
European countries

Expected construction  
2013–2018

First neutrons  
2018–19

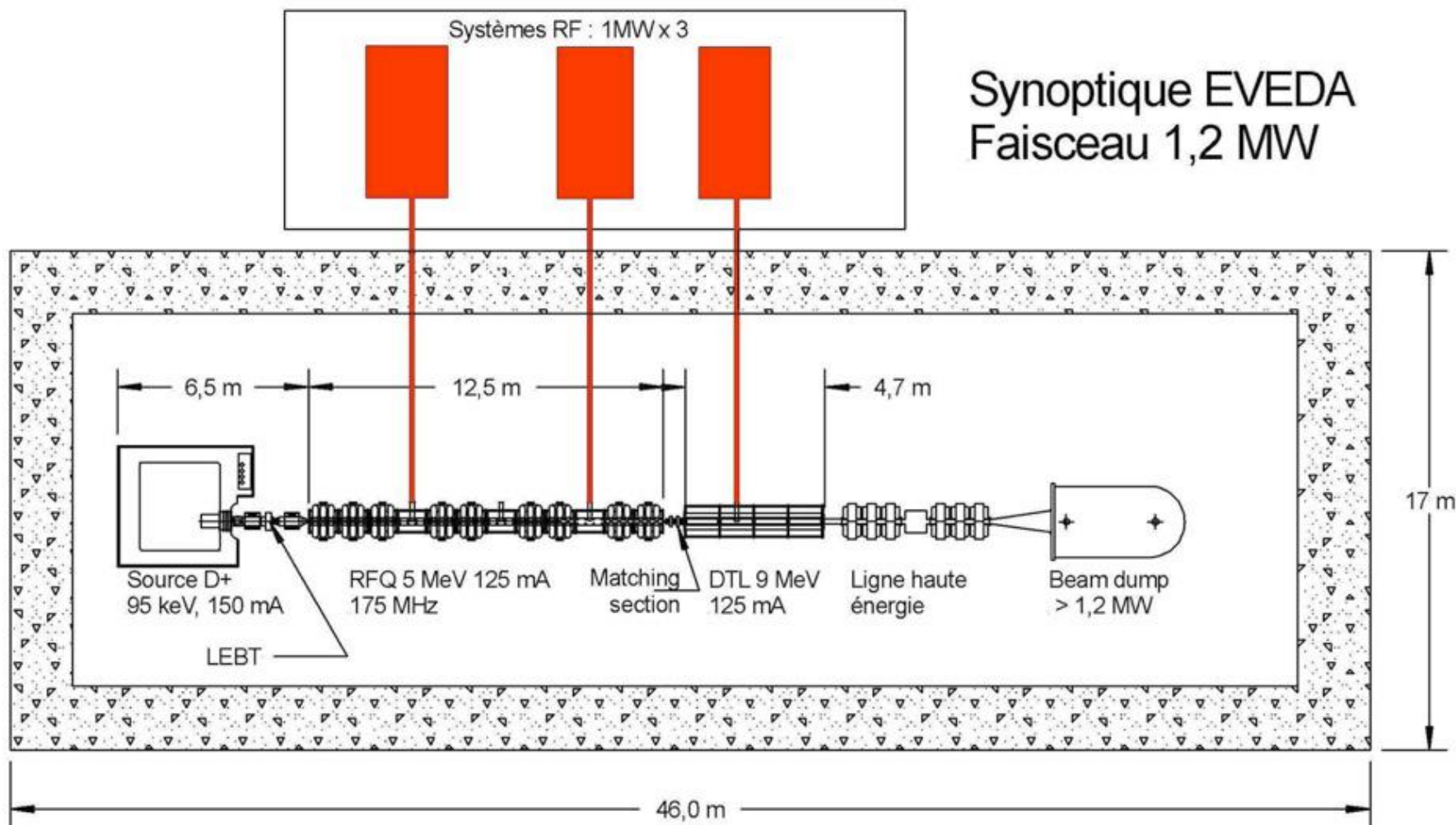


- ✳ Optimised for 5 MW (upgradeable to 7.5 MW)
- ✳ 2 ms pulses (→1.5 ms?)
- ✳ 20 Hz rep. rate (→17 Hz?)
- ✳ 2.5 GeV energy
- ✳ 60 mA ion source current (→75 mA→90 mA?)
- ✳ Low losses <1 W/m
- ✳ High reliability,  $\geq 95\%$
- ✳ Single target station; upgrade could include a second target with interleaved 40 Hz operation

Facility cost 1377 M€ with 22  
instruments + 101 M€ site specific costs  
Operating costs 89 M€<sub>2008</sub> per year

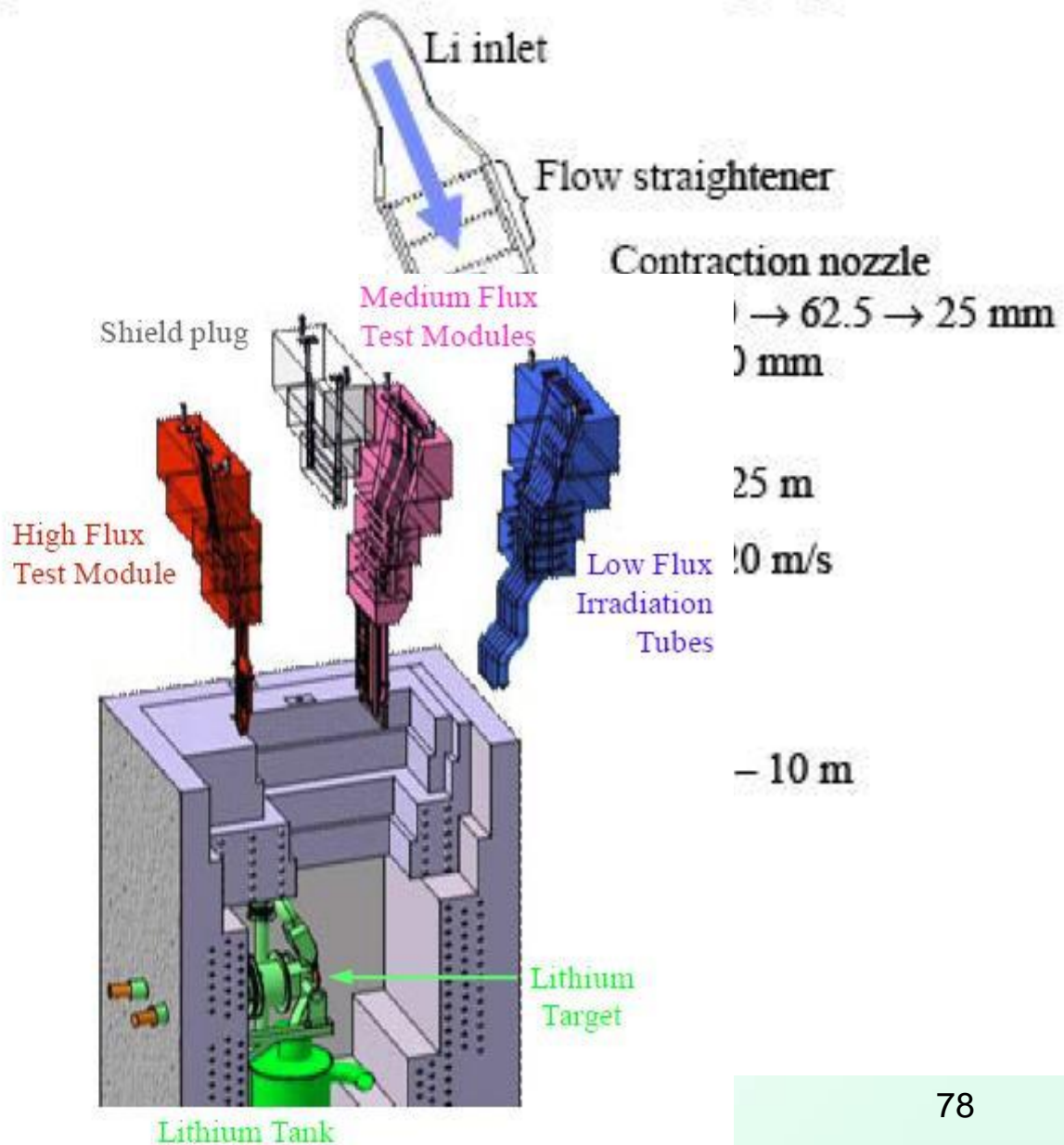
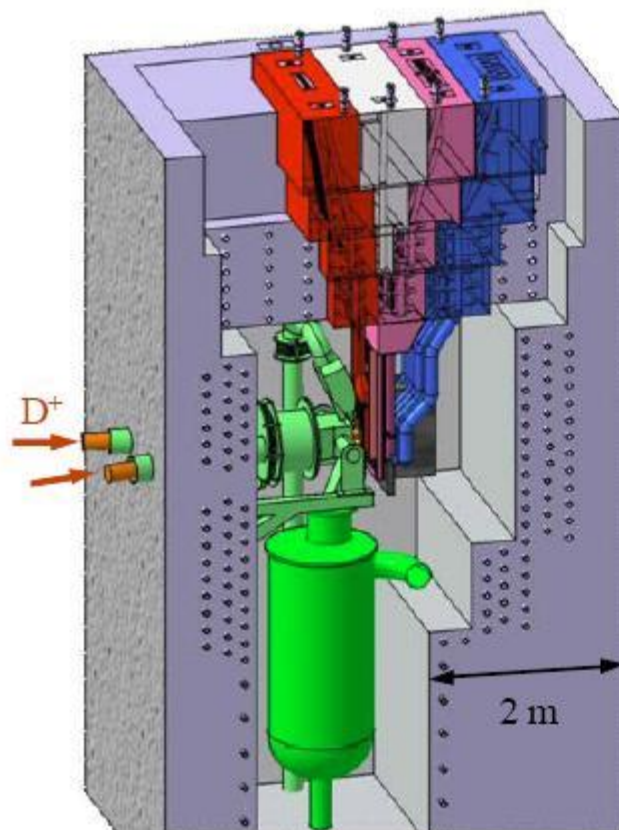


# Реакторное материаловедение: Прототип линейного ускорителя IFMIF-EVEDA





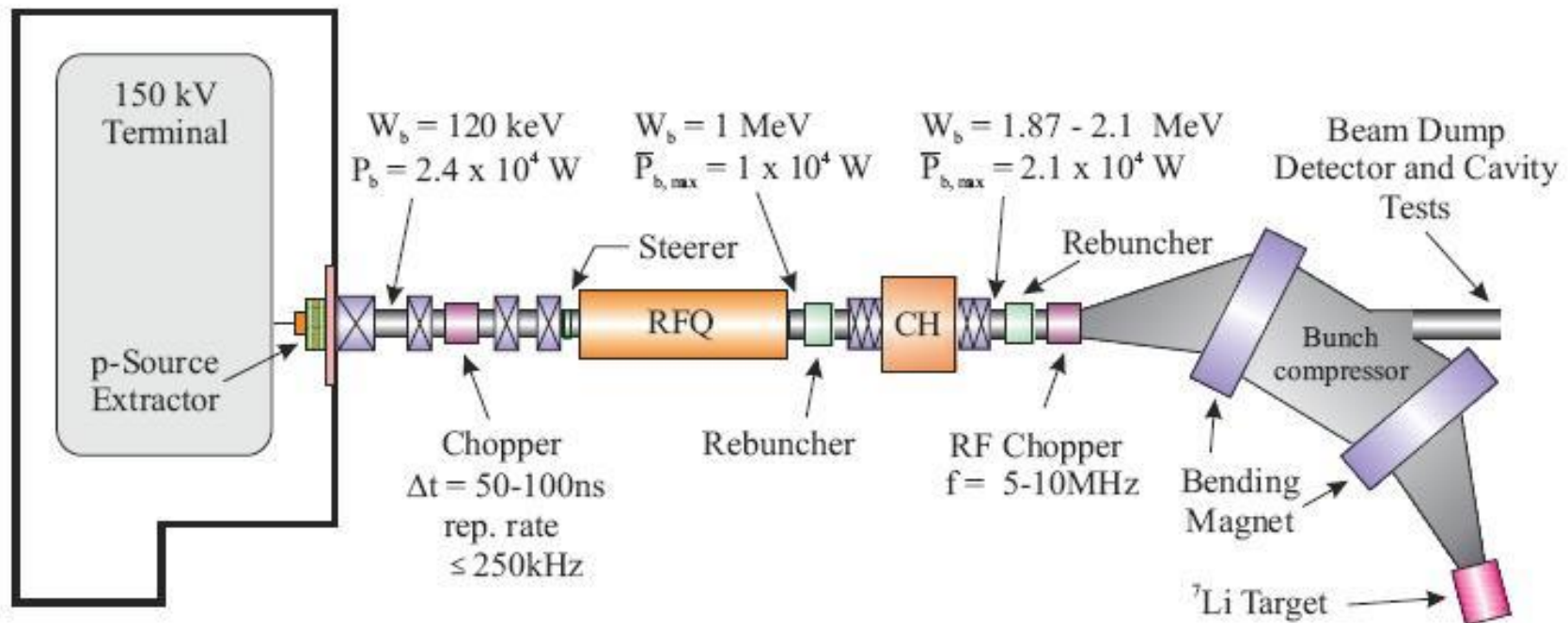
# Li мишень IFMIF





# ***Irradiation facilities:***

## **FRANZ, Frankfurt University, Germany**



Schematic layout of Frankfurter Neutron Source at Stern-Gerlach-Zentrum, "FRANZ"



## *Ускоритель тяжелых ионов ТИПр-1 (ИТЭФ)*

Длительность импульса	150÷400 мкс
Частота посылов	0.25 ÷ 1 в секунду
Энергия пучка на выходе	110 кэВ/нуклон
Ток ускоренного пучка ионов меди	4 мА



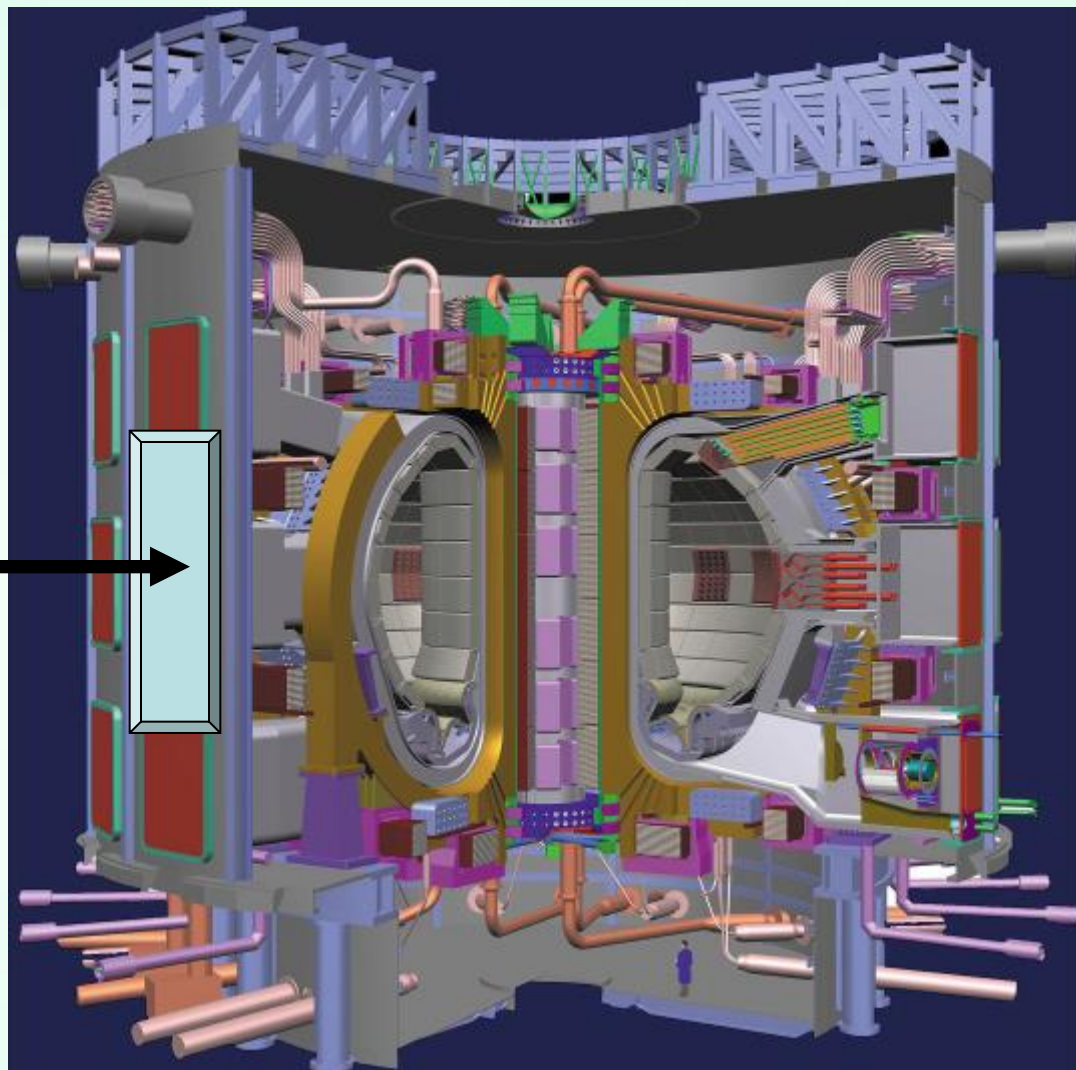


## Ускорители для термоядерной энергетики

Система нейтральной  
инжекции ITER:

суммарный ток пучка до 75 А  
энергия 1-2 МэВ

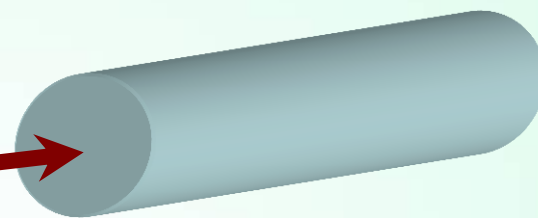
Здесь раньше был порт  
для ввода пучка  
нейтральных атомов





## *Инерциальный термоядерный синтез*

Пучок ионов с  
импульсной  
мощностью  $> 1$  ГВт



твердая DT  
мишень

ТВН-ИТЭФ

RHIC (BNL)

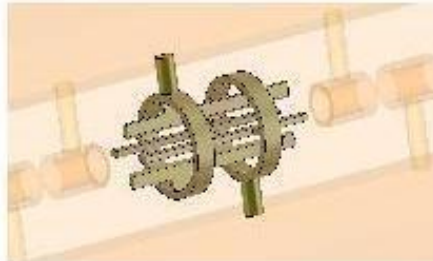
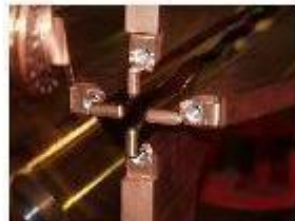
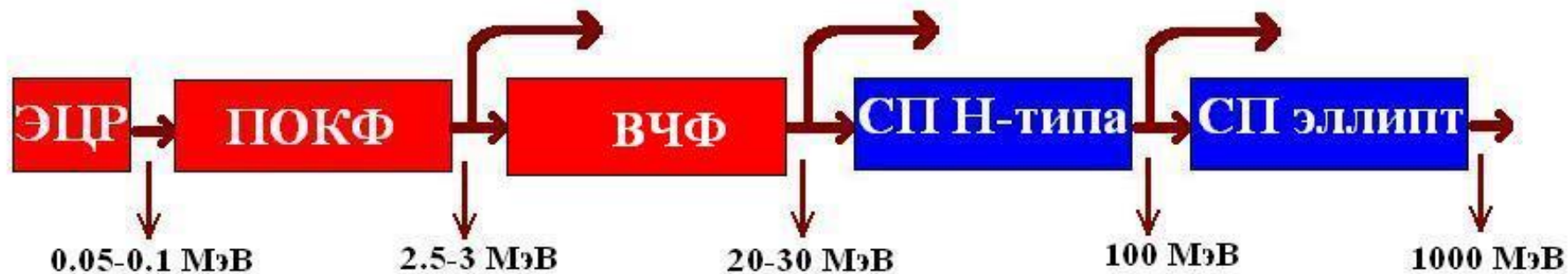
SIS-18 (GSI)



# ***ТВН-ИТЭФ***



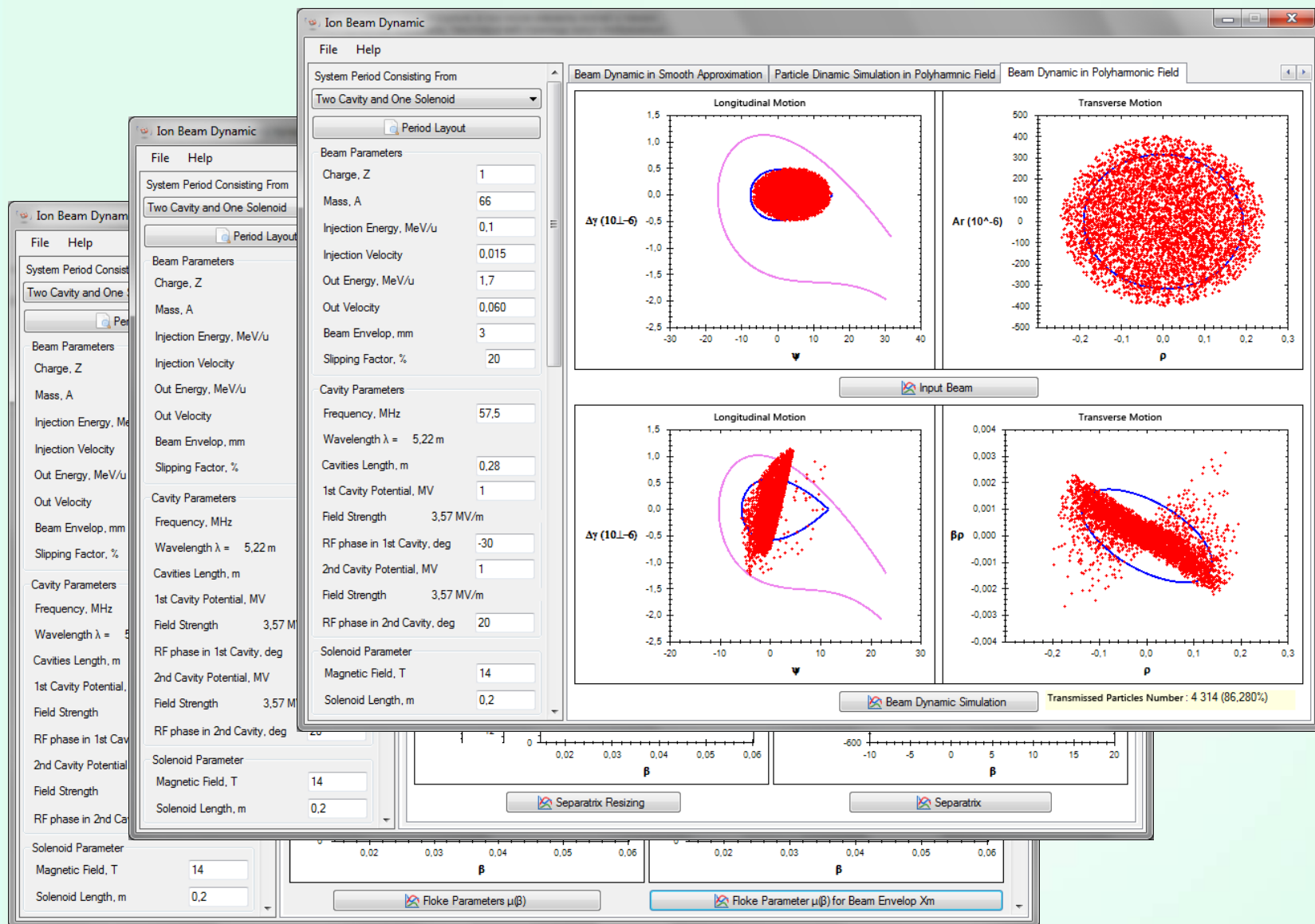




	Секция	Начальная энергия, МэВ	Конечная энергия, МэВ	Рабочая частота
1	Ионный источник	-	0.05-0.1	-
2	Ускоритель-группирователь с ПОКФ	0.05-0.1	2.5-3.0	108 или 176
3	Н-резонаторы на промежуточные энергии	2.5-3.0	20-30	324 или 352
4	СП резонаторы: СН, четверть- и полуволновые, Spoke-cavity	20-30	100	324 или 352
5	СП эллиптические резонаторы	100	1000	972 или 704



# Основная часть ускорителя





# Анализ технологических возможностей российских предприятий

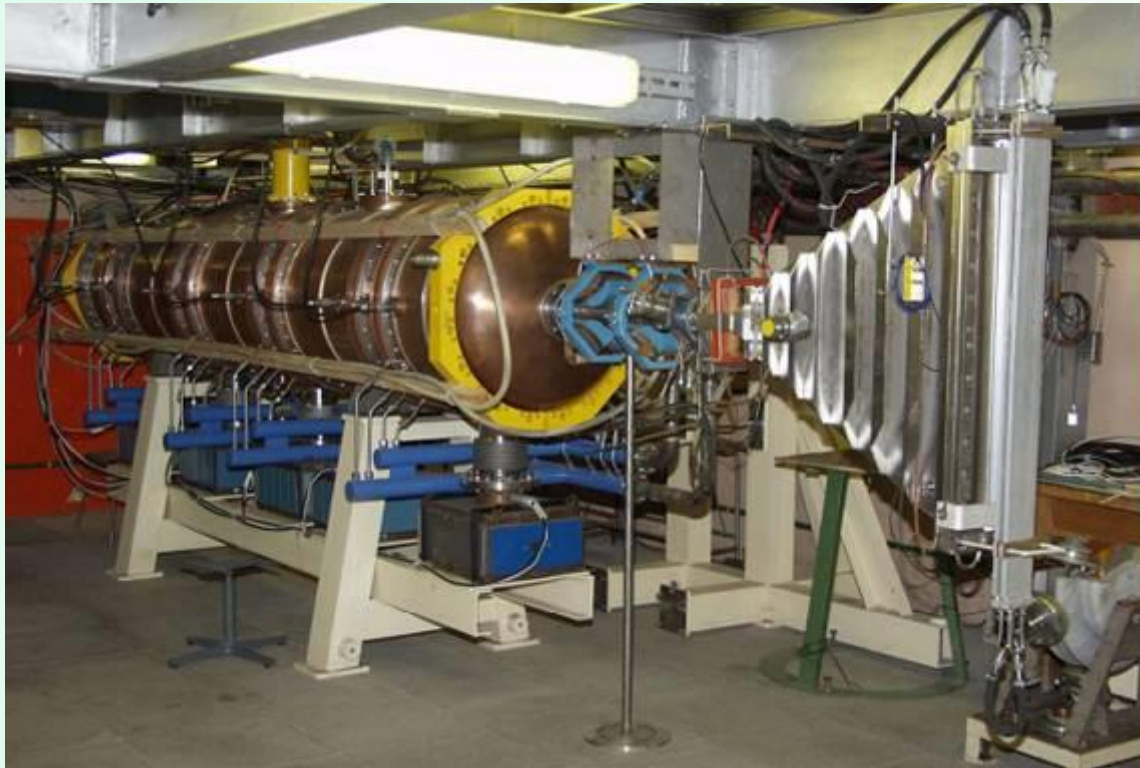
	Разработки	Опытные образцы	Серийная технология
Расчет динамики, проектирование			
Источники протонов (ЭЦР)			
Нормально проводящие УС		Кадры ?	
СП УС			
Постоянные магниты			
СП магниты			
Совр. системы ВЧ питания			
Системы транспортировки пучка			
Диагностика и управление пучком			



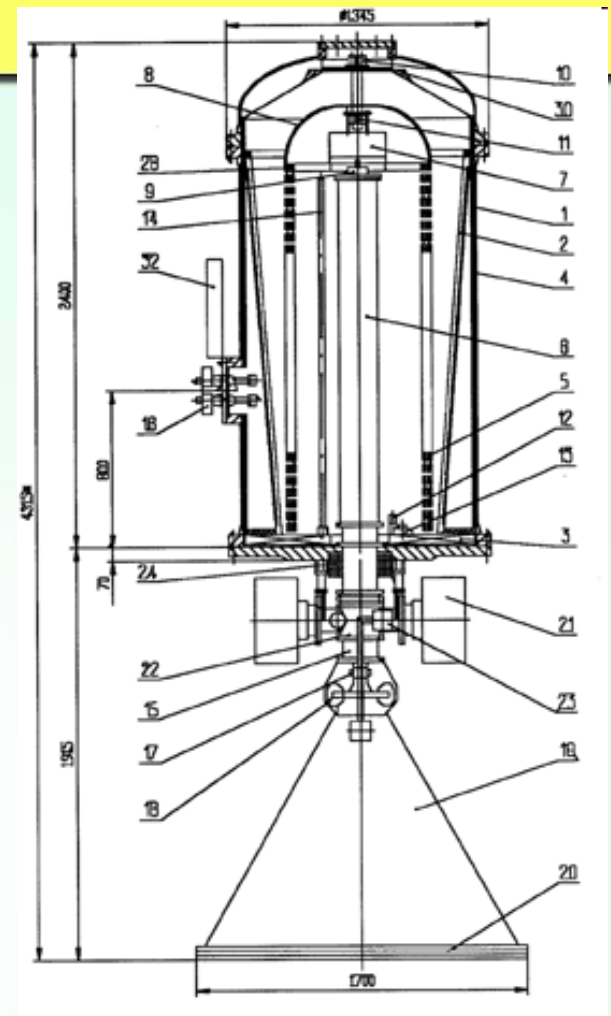
# ***«Бытовые» технологии***



- Стерилизация
- Очистка отходящих газов
- Очистка сточных вод
- Дезинсекция зерна, овощей, фруктов
- Иммобилизация биологически активных веществ



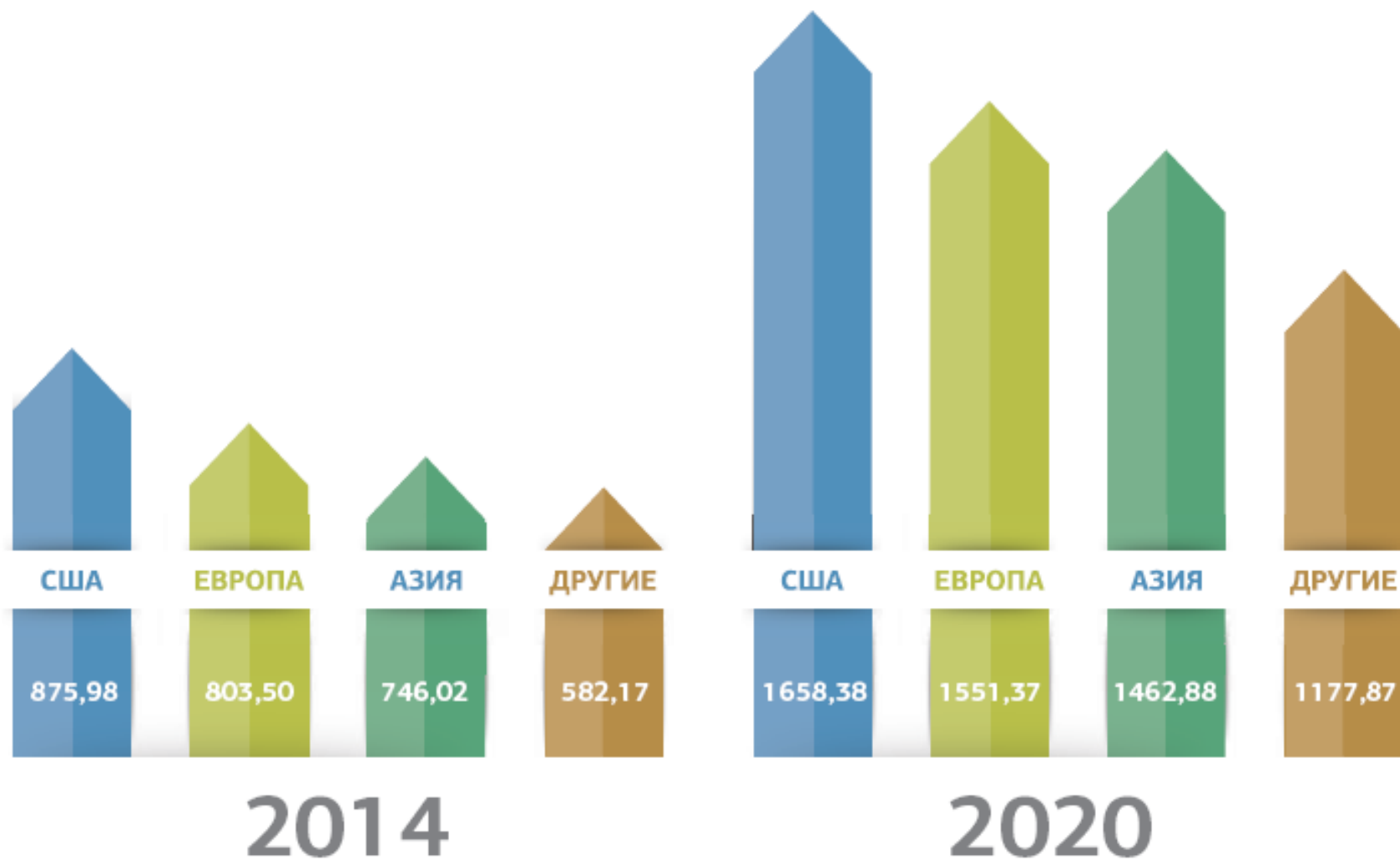
**Ускоритель серии ИЛУ (ИЯФ СО РАН)**



**Ускоритель серии  
ЭЛВ (ИЯФ СО РАН)**



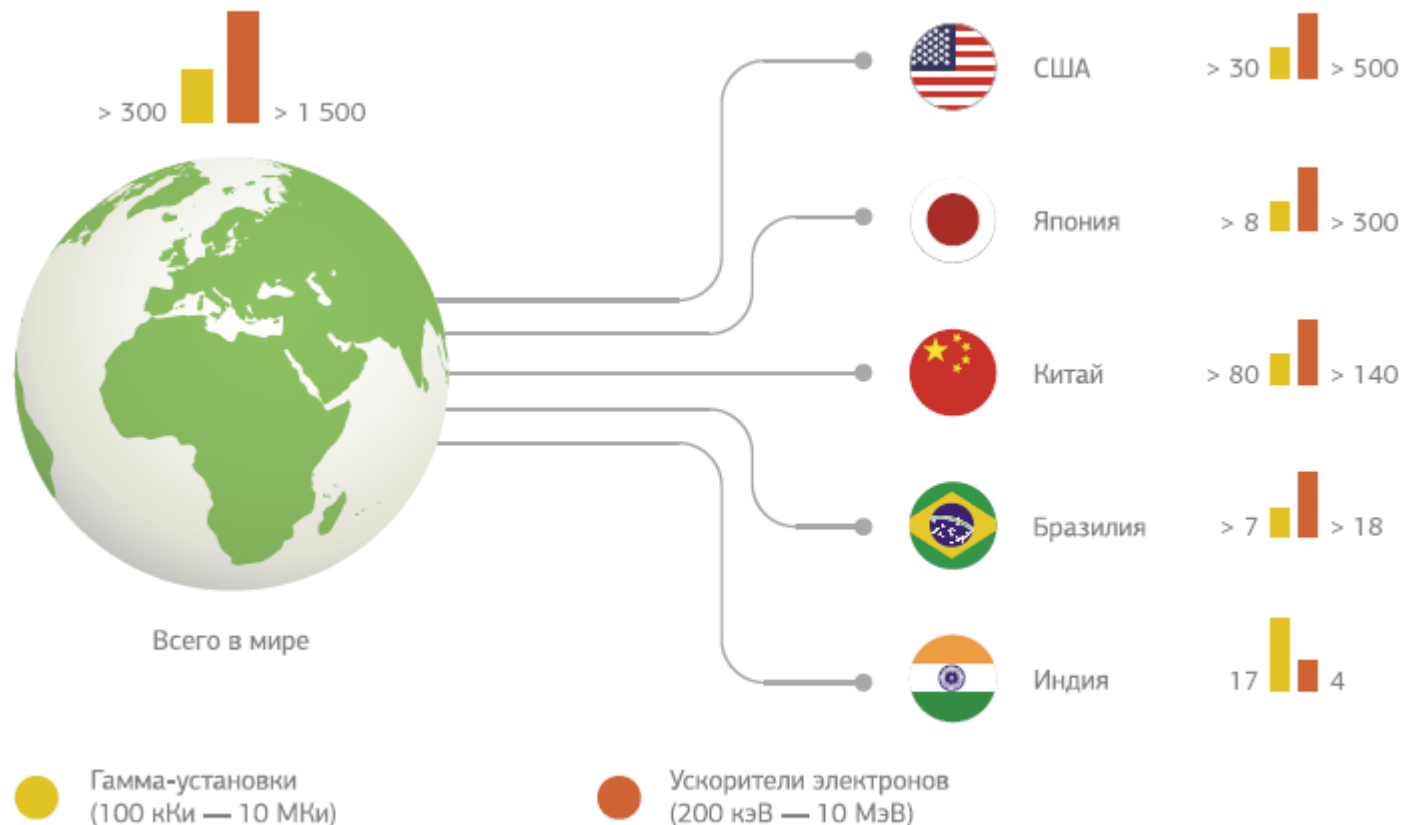
Объем глобального рынка стерилизации медицинских изделий по регионам, миллионов долларов США



**Радиационные технологии: взгляд из России.**  
**Москва, Ассоциация «Радтех», 2015.**



## Распределение установленных в мире ускорителей электронов и гамма-установок

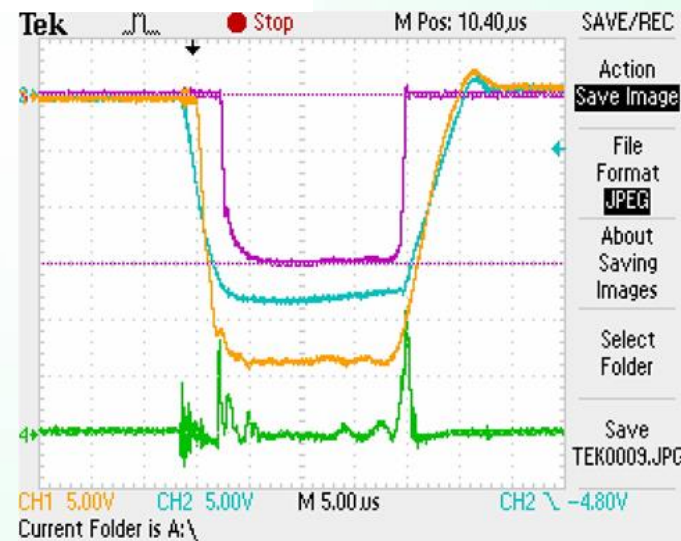
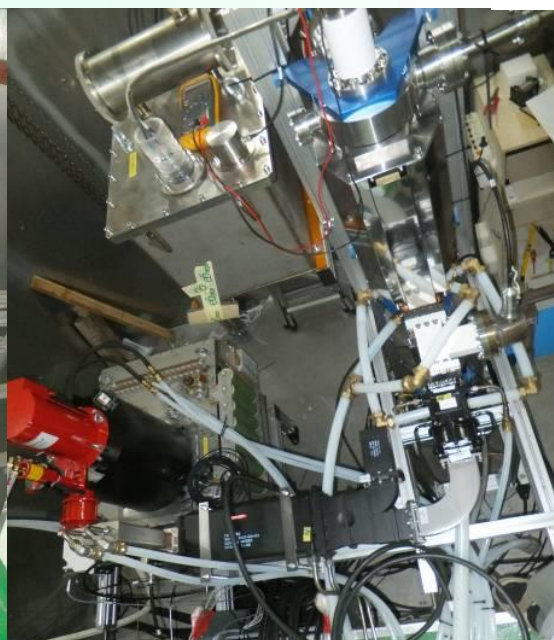
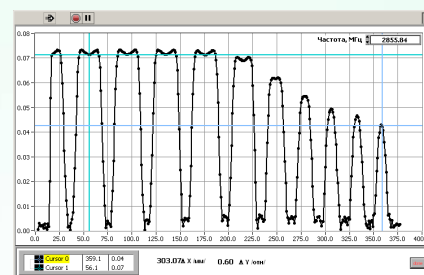
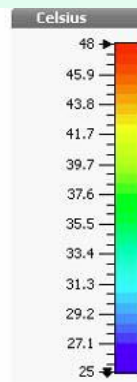
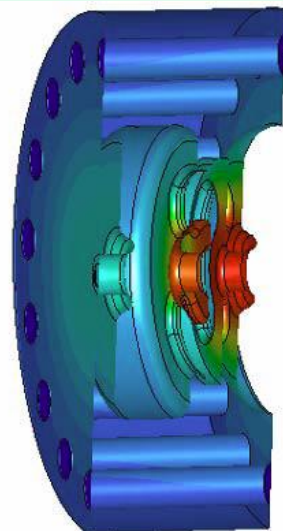
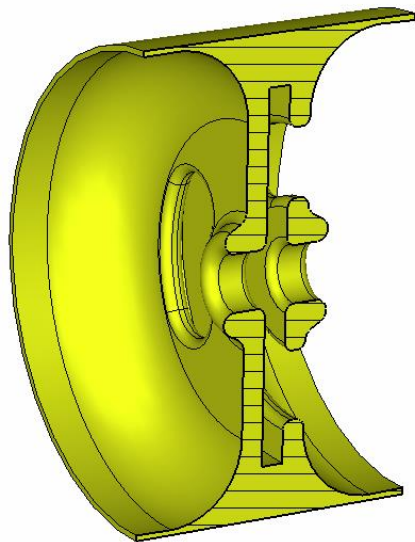


Источник: IAEA, IPEN-CNEN/SP (Бразилия)

Одной из первых областей трансфера ускорителей из научного сектора в промышленный была пищевая промышленность. Обработка продуктов позволила уничтожать болезнетворные микроорганизмы, насекомых-вредителей, тем самым делая продукты, потребляемые ежедневно, более безопасными для здоровья человека (мясо, зерно, морепродукты и др.).

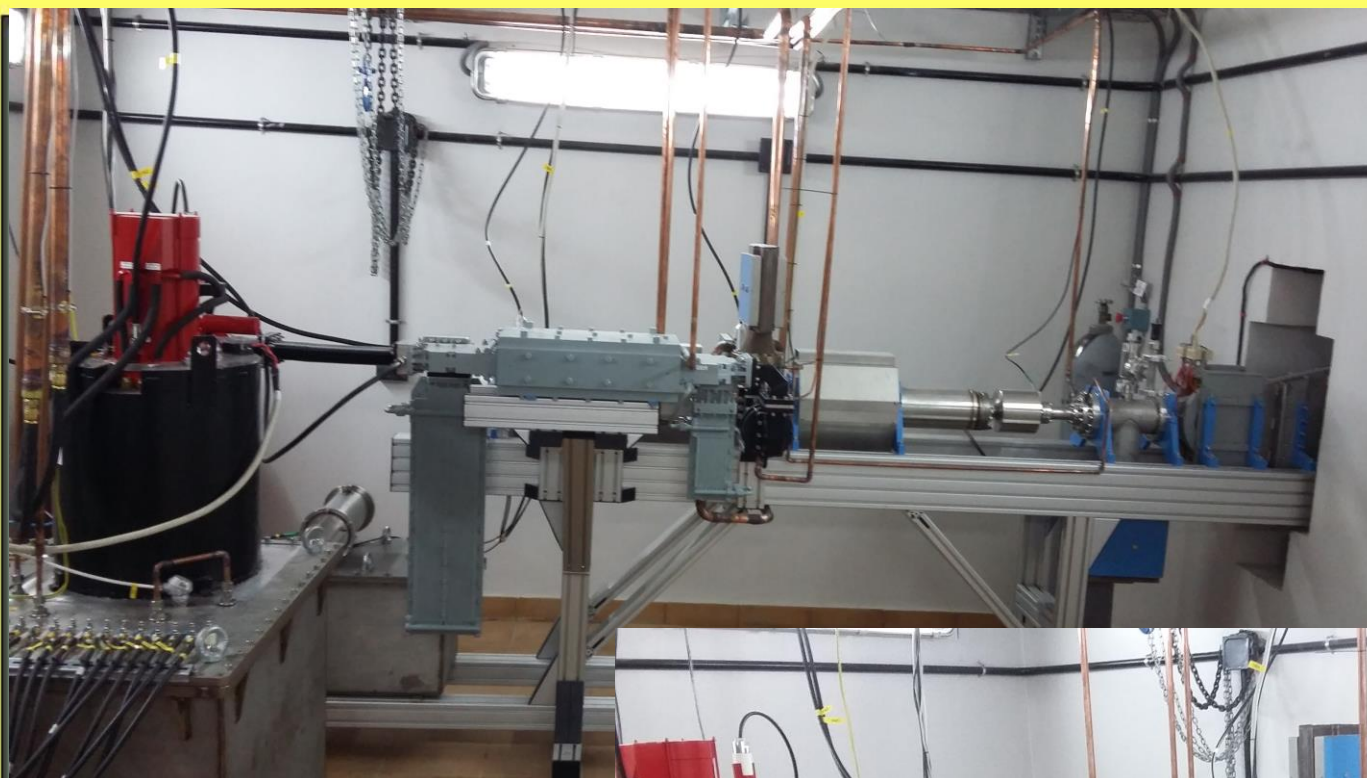


# Новый ускоритель на 10 МэВ / 20 кВт, проект НПП «Корад» и МИФИ



Запущен в сентябре 2015 в Тэджоне,  
Ю. Корея (компания EB-Tech)





**Комплекс для  
стерилизации  
медицинских  
расходных материалов  
ООО "АКЦЕНТР"  
в г. Родники  
Ивановской обл.**

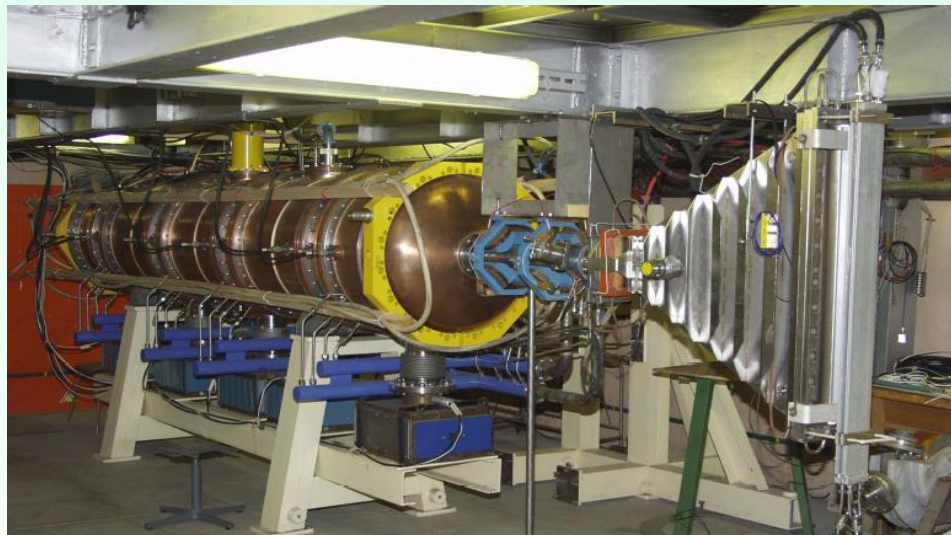




**НИИЯФ МГУ + НПП «Торий»**



**ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН**



**НИИЭФА (УЭЛВ-3-2.5)**



**МРТИ РАН («Радуга»)**



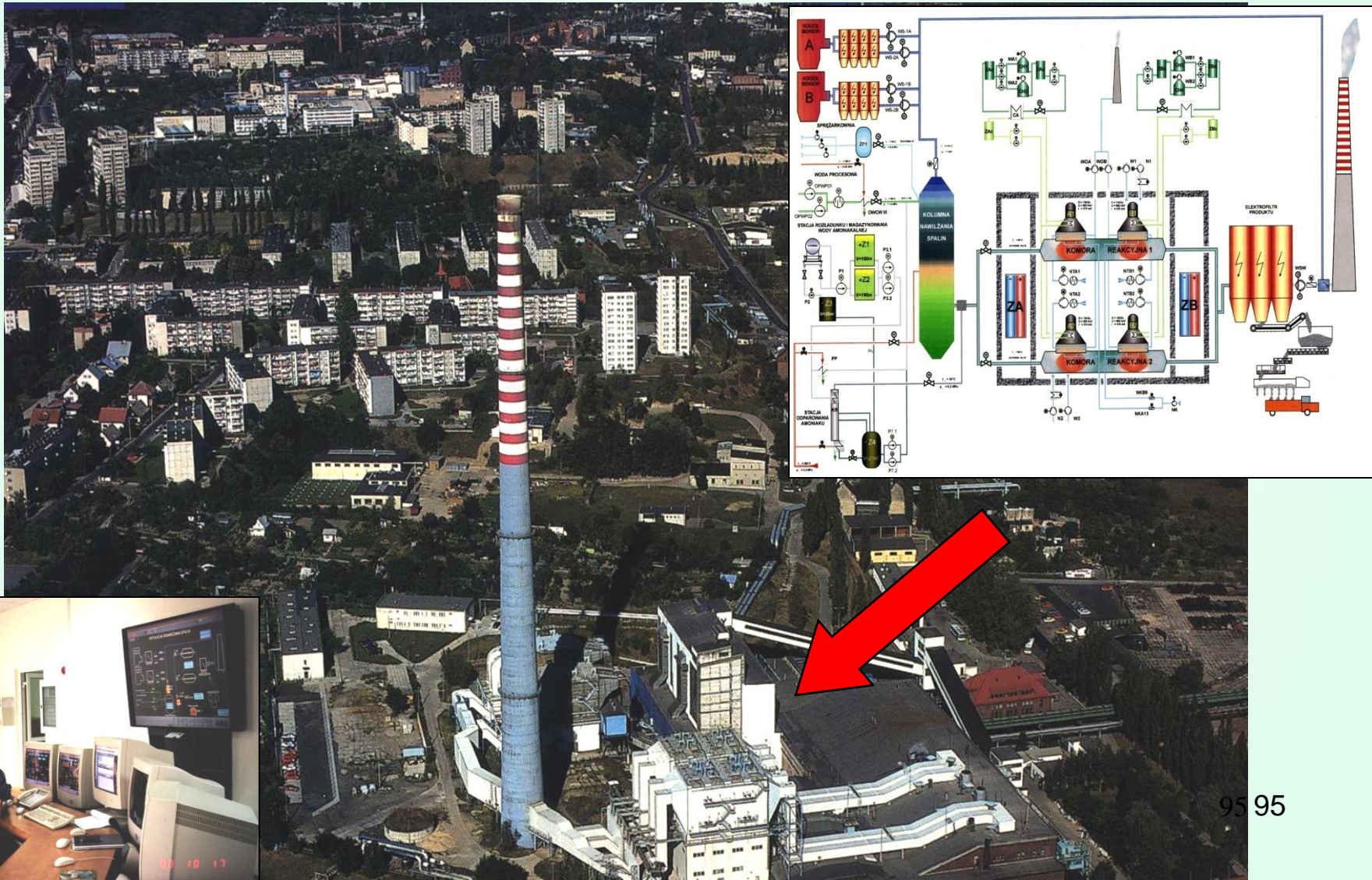




**Первая в мире промышленная радиационная установка для очистки сточных вод нефтехимических производств. (г. Воронеж, 1989 – 2001 гг., при участии ОАО «НИИТФА»)**



# EPS Pomorzany





***Безопасность  
и другие  
технологии  
двойного назначения***



# Досмотр грузов и транспорта: разновидности комплексов (Brain)

## Стационарный



- Наиболее мощные системы, предназначенные для досмотра контейнеров и транспорта с использованием ускорителя с энергией до 9 MeV
- Используются в портах, или таможенных терминалах на границе
- Источник излучения неподвижен, а объект движется по конвейерной ленте
- Предполагает наличие определенной инфраструктуры: строение с подведенными коммуникациями, конвейерная лента, по которой движутся досматриваемые объекты

## Рельсовый



- Мощные системы предназначены для досмотра контейнеров и транспорта использующие в качестве источника излучения ускорители либо источник гамма-излучения
- Используются в портах, аэропортах или таможенных терминалах на границе
- Источник излучения перемещается на рельсах, а сканируемый объект остается неподвижным
- Возможность перемещения из одного места в другое, не требует сложной внешней инфраструктуры

## Мобильный



- Системы установленные на транспортное средство предназначены для досмотра контейнеров и транспорта использующие в качестве источника излучения ускорители либо источник гамма-излучения
- Используются в портах, аэропортах или таможенных терминалах на границе
- Существует 2 основных варианта работы: досматриваемый объект неподвижен, а транспортное средство с излучателем перемещается вдоль объекта, либо досматриваемый объект проезжает через портал с излучателем (для досмотра трейлеров)
- Система предполагает быстрое перемещения комплекса из одного места в другое (необходимо около получаса для подготовки комплекса к работе)

## Портальный



- Высокопроизводительные системы (более 150 трейлеров в час) для досмотра транспортных средств с использованием ускорителя
- Используются на границах
- Объект проезжает через портал, система автоматически выключается в момент проезда кабины с водителем
- Возможность перемещения из одного места в другое, полная автономность

## Кабинетный



- Система для досмотра малогабаритных грузов/ паллетов с использованием рентгеновской трубки или ускорителей средних энергий (до 2.5 MeV)
- Используются в аэропортах
- Объекты движутся по конвейерной ленте сквозь устройство
- Предполагает использование в закрытых помещениях



# Интроскопия



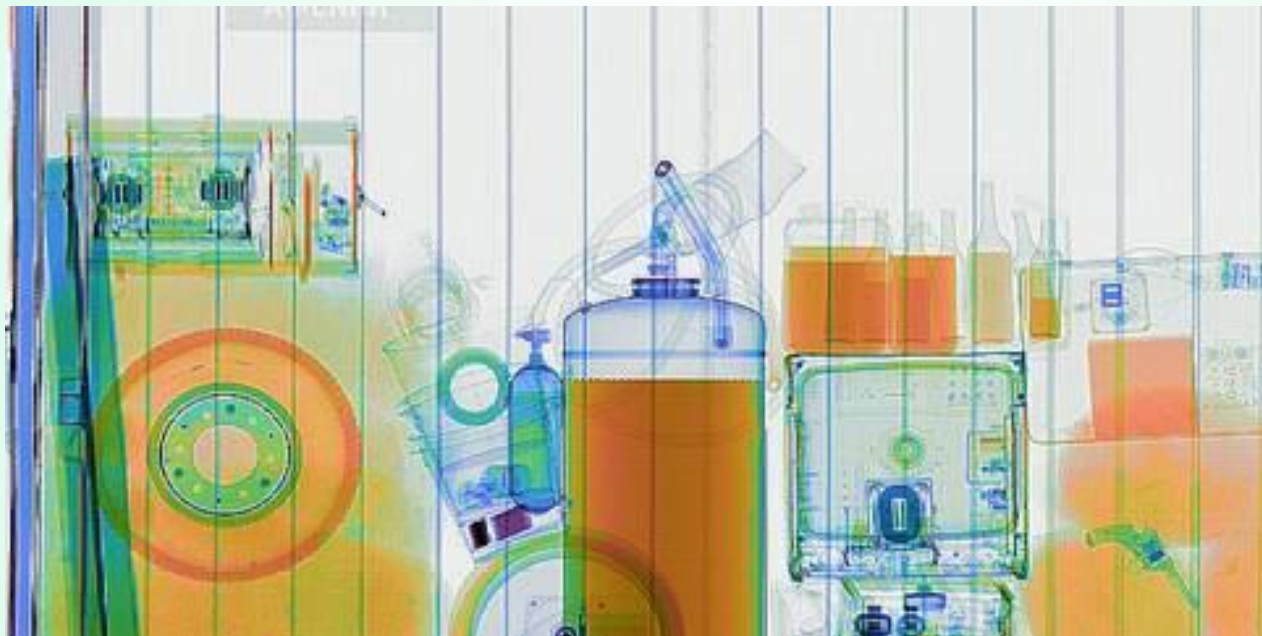
**Smiths Detection HS 145180-2is**





**Контроль крупногабаритных грузов: «ЭФАСКАН» (НИИ ЭФА)**







## Имитация условия ядерного взрыва и генерация мощных импульсов ЭМИ

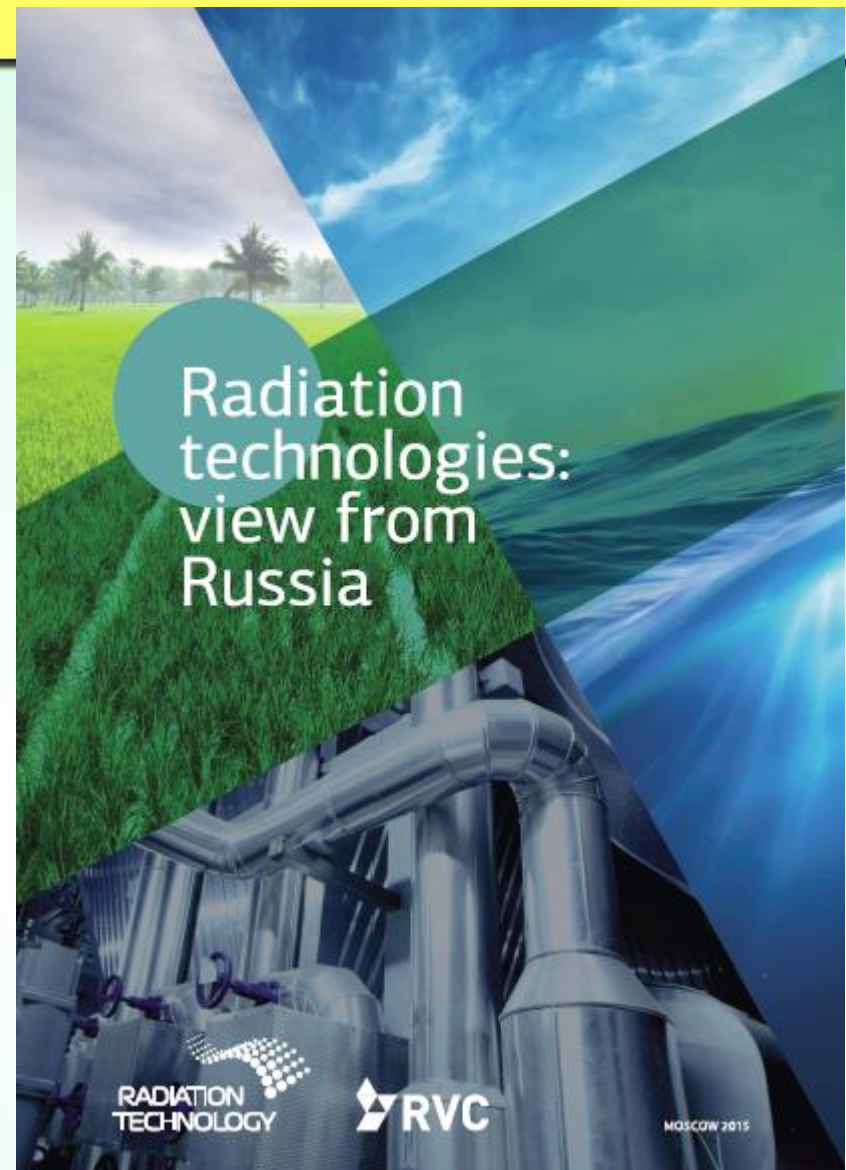




## Радиационная стойкость







[https://drive.google.com/open?id=0B\\_UzzxGTaz4SWFhFektFRDRHd2c](https://drive.google.com/open?id=0B_UzzxGTaz4SWFhFektFRDRHd2c)

[https://drive.google.com/open?id=0B\\_UzzxGTaz4SYm5SUi1Udk9zYWw](https://drive.google.com/open?id=0B_UzzxGTaz4SYm5SUi1Udk9zYWw)