

Атомная энергетика

Деление тяжелых ядер нейтронами

Эта реакция состоит в том, что тяжелое ядро, поглотив нейтрон, делится на 2 (редко на 3 или 4) обычно неравных по массе осколков. При этом выделяется ок. 200 МэВ энергии и испускаются 2-3 нейтрона (в среднем 2,7 нейтронов на 10 ядер).

Некоторые тяжелые ядра делятся нейтронами любых энергий, начиная с нулевых. Это изотопы:



Важнейшим свойством является образование 2-3 нейтронов при делении каждого ядра. Эти нейтроны могут вызвать деление новых ядер, при этом образуются новые нейтроны и т.д. Это самоподдерживающаяся цепная реакция деления.

Активная зона и ее характеристики

Среда, в которой идет самоподдерживающаяся цепная реакция деления, называется **активной зоной**. Важнейшей характеристикой активной зоны является коэффициент размножения нейтронов: отношение количества нейтронов в некотором "поколении" к их количеству в предыдущем "поколении":

$$k = N_i / N_{i-1}$$

Под "сменой поколения" понимается поглощение всех "старых" нейтронов и рождение новых нейтронов в результате деления ядер.

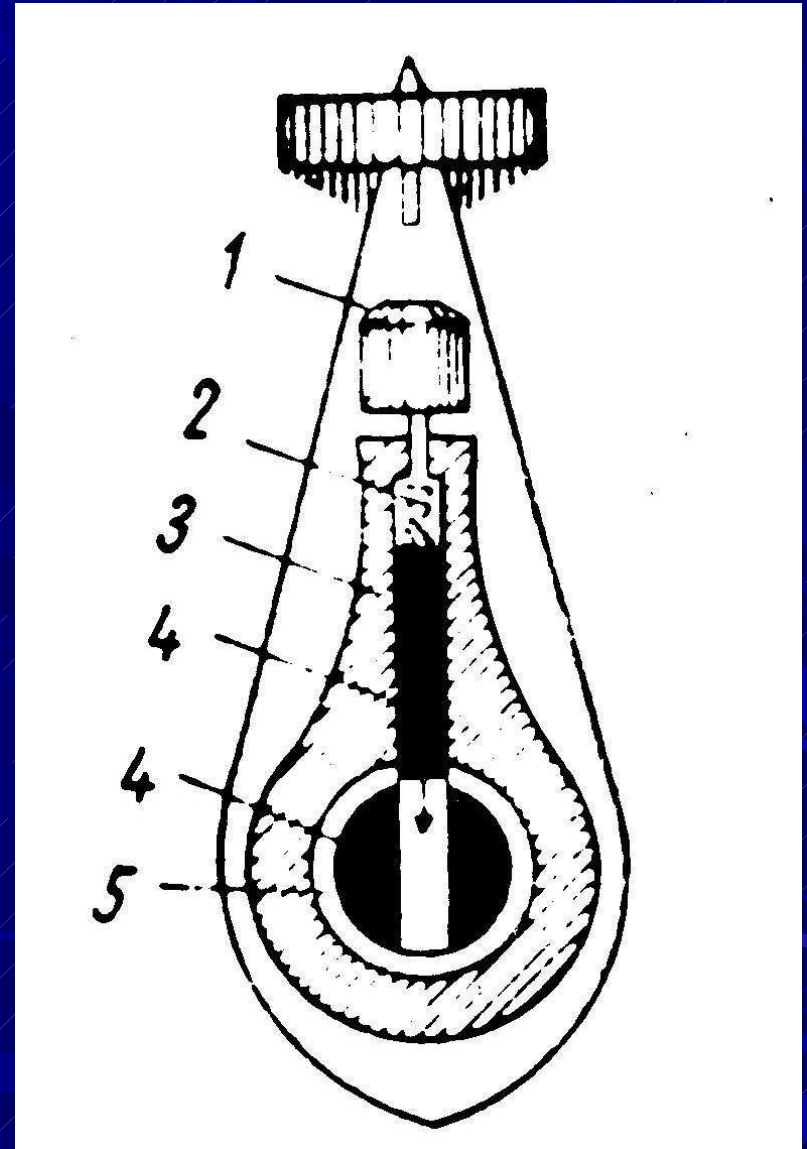
Таким образом, если в некотором поколении было N нейтронов, то в n -ом поколении их будет Nk^n . При $k < 1$ реакция гаснет, а при $k > 1$ нарастает. Время жизни одного поколения нейтронов составляет от 10^{-5} до 10^{-7} секунды. Поэтому, например, при $k = 1.01$ число нейтронов и интенсивность реакции уже через 1 миллисекунду возрастет в 1000 раз, т.е. почти мгновенно произойдет взрыв. Для стационарной реакции необходимо поддерживать $k = 1$ с очень высокой точностью, такой режим наз. критическим.

Критическая масса

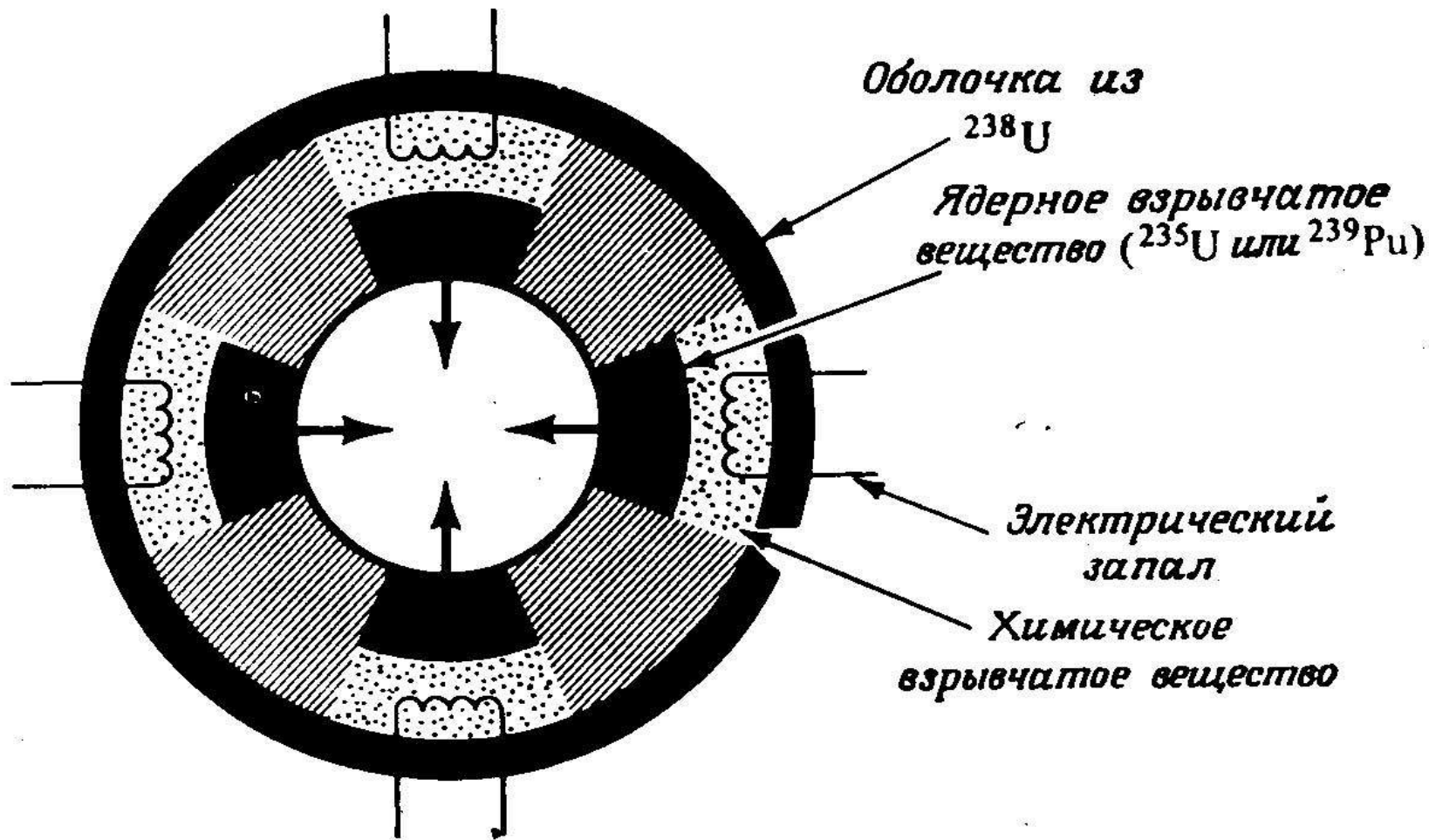
Коэффициент размножения увеличивается при увеличении размеров активной зоны. Размер, при котором коэффициент размножения равен 1, наз. критическим размером, а масса активной зоны критических размеров наз. критической массой.

Устройство атомной бомбы

- 1 - взрывное устройство,
- 2 - взрывчатое вещество (обычное) для быстрого сближения частей ядерного заряда),
- 3 - оболочка,
- 4 - части ядерного заряда, образующие при соединении критическую массу,
- 5 - отражатель нейтронов.



Другой вариант конструкции атомной бомбы



Устройство атомной бомбы.

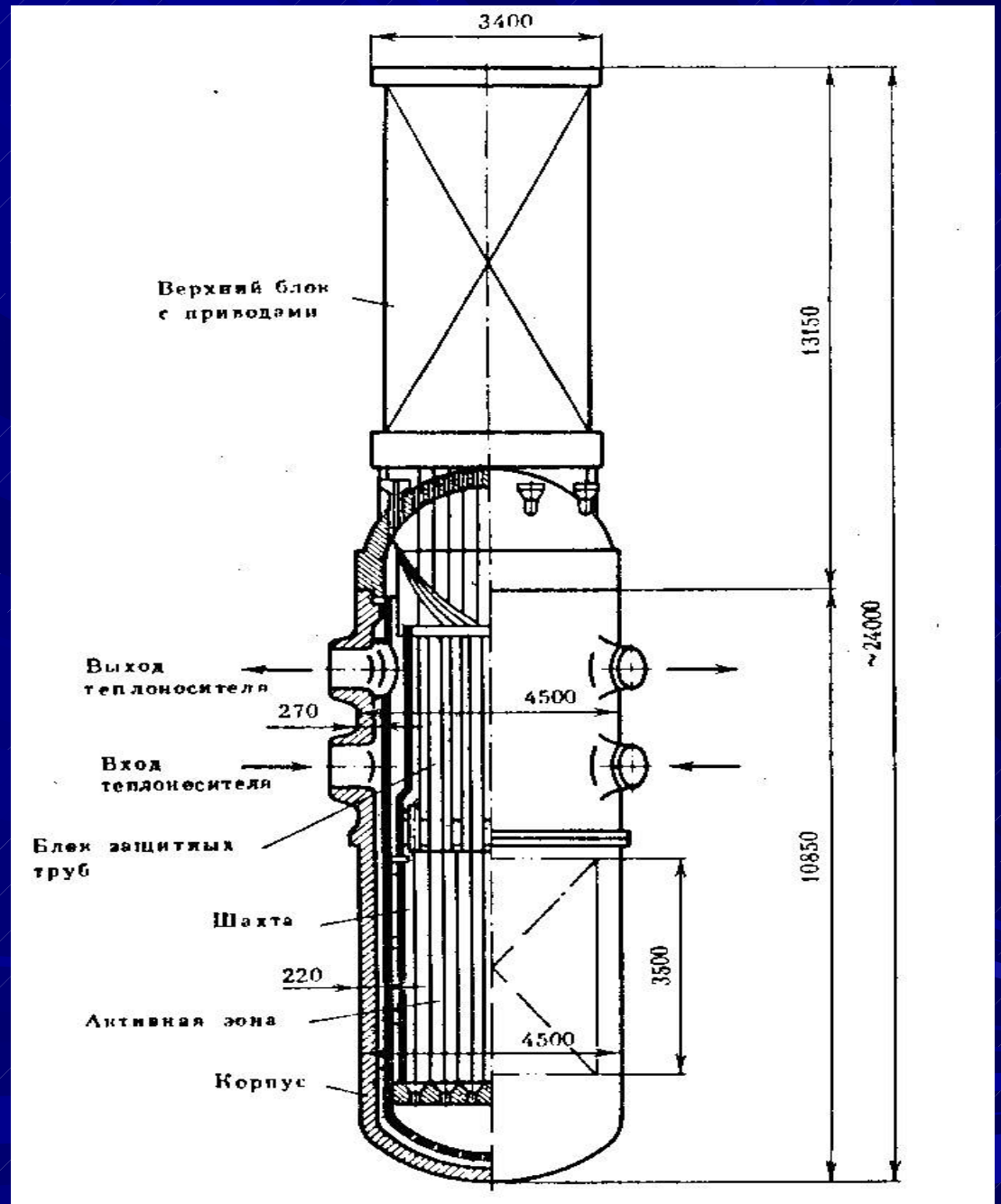
Реактор ВВЭР-1000

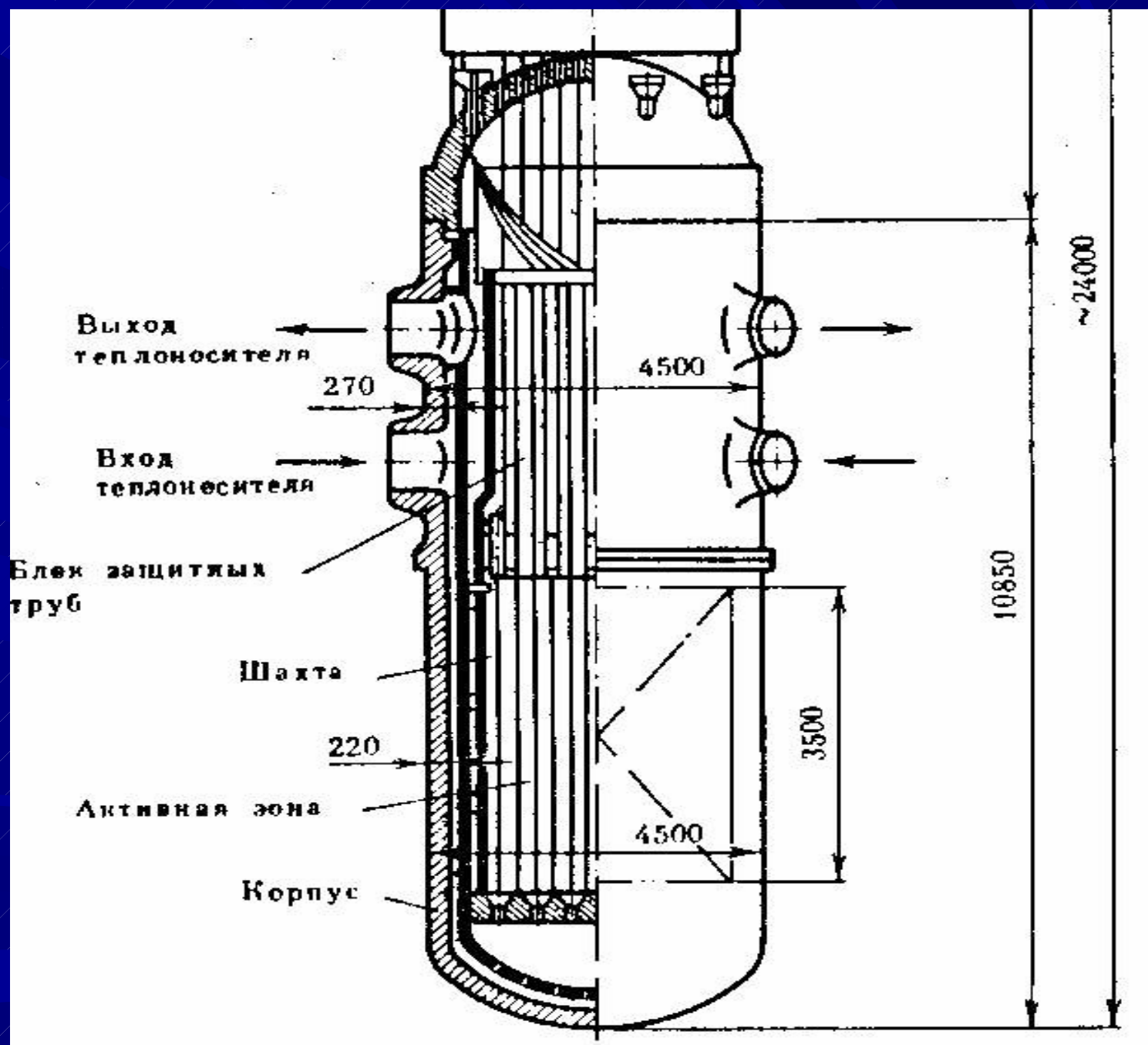
Зарубежные
аналоги:

PWR

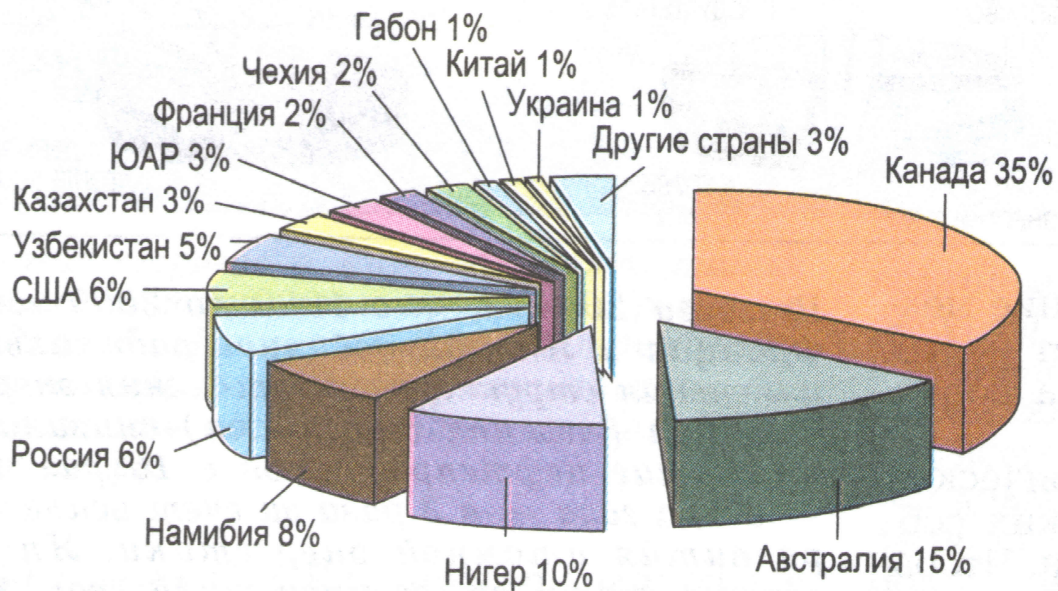
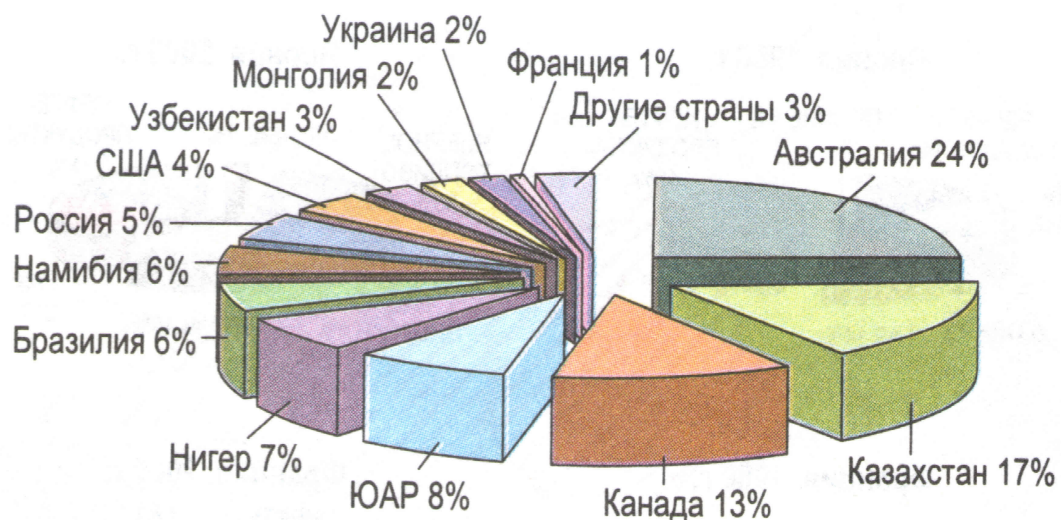
и

BWR





МИРОВЫЕ ЗАПАСЫ И ПРОИЗВОДСТВО УРАНА



Наиболее важные нейтроноядерные реакции



Реактор на быстрых нейтронах

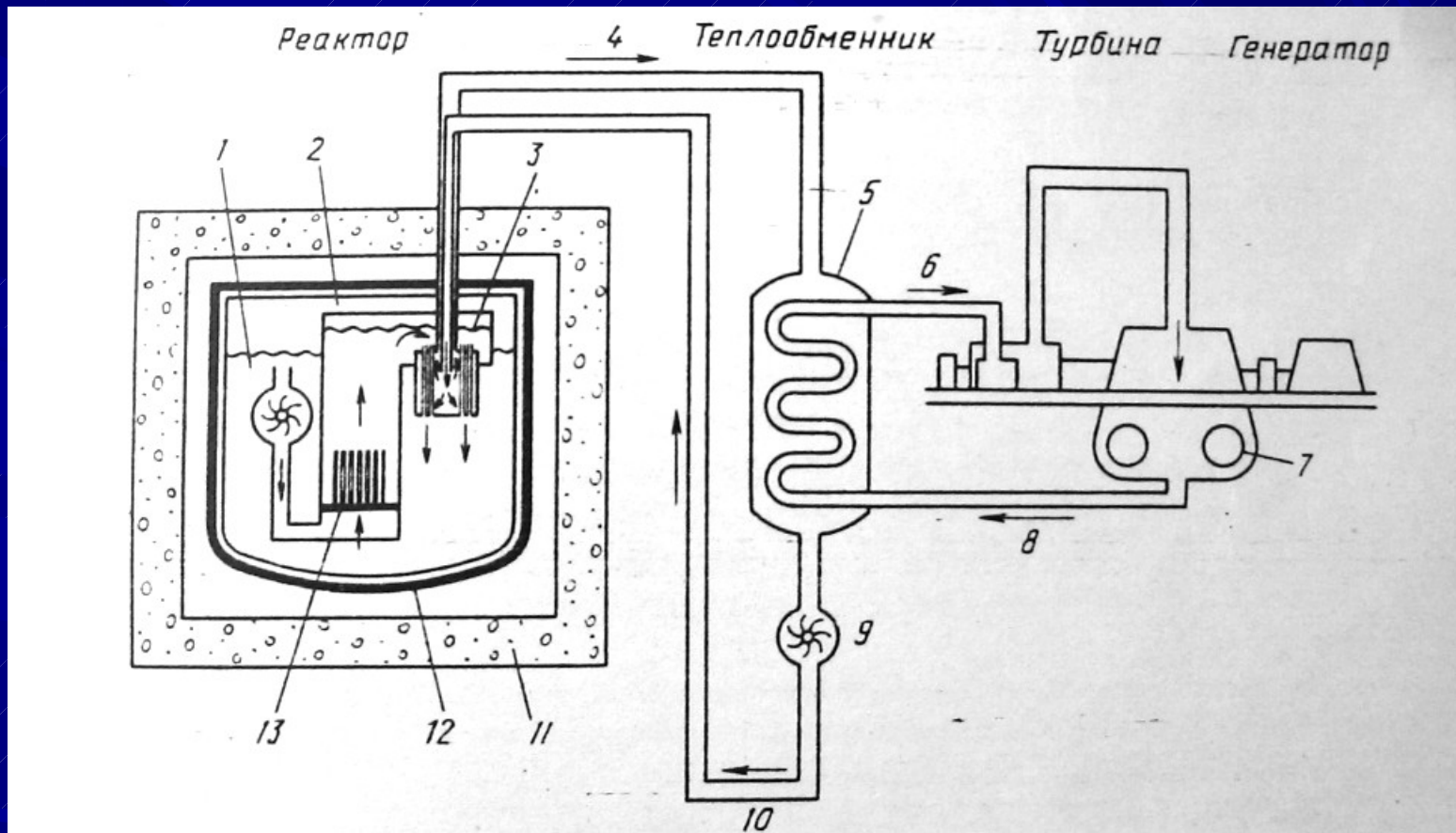


Рис. 7.2. Принципиальная схема реактора на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем:

1 – насос первого контура; 2 – кожух реактора; 3 – промежуточный теплообменник; 4 – канал с горячим натрием; 5 – теплообменник "натрий-вода"; 6 – пар; 7 – конденсатор; 8 – вода; 9 – насос; 10 – канал с холодным натрием; 11 – бетонная защита; 12 – корпус реактора; 13 – активная зона

Физико-технические параметры безопасности

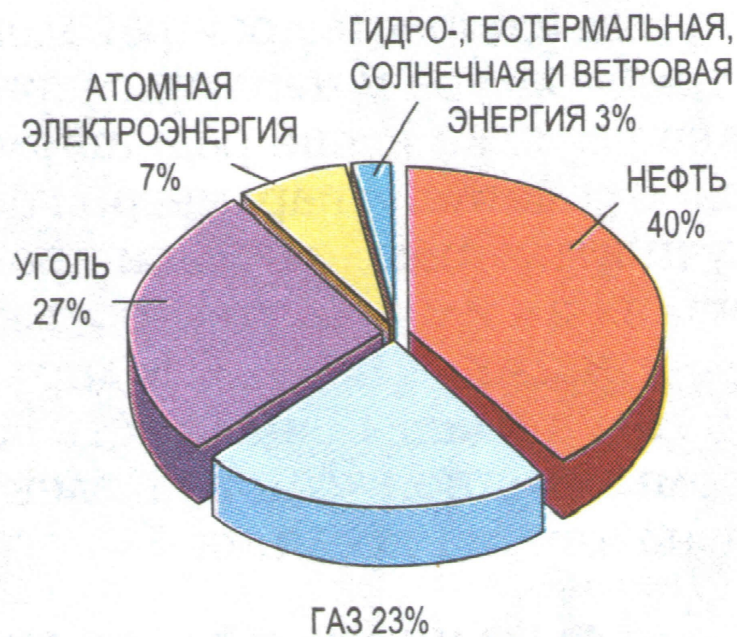
Параметр	ВВЭР, PWR, BWR	РБМК	БН
Пустотный коэффициент реактивности	Отрицательный	Положительный	Положительный
Использование горючих веществ	нет	1700 т графита	1800 т жидкого натрия
Давление в теплообменном контуре	До 160 атм	65 атм	10 атм

Физико-технические параметры безопасности

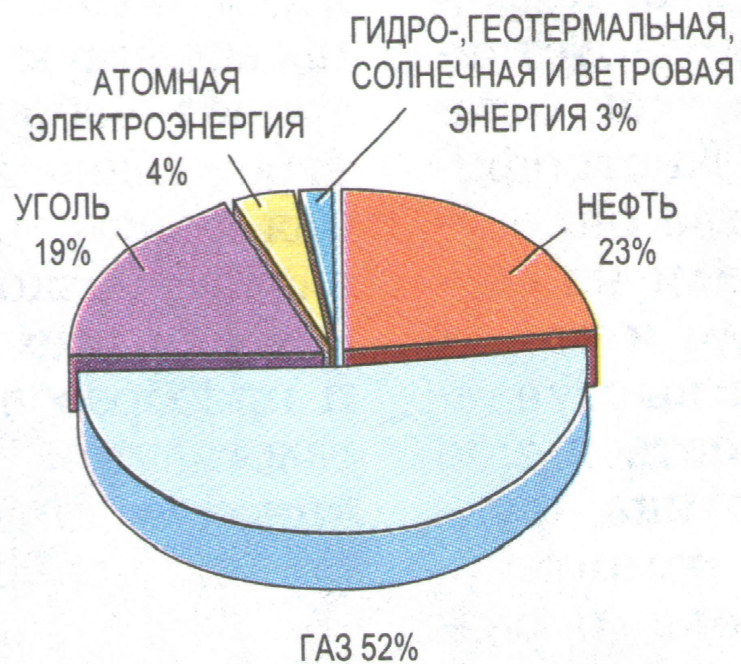
Параметр	ВВЭР, PWR, BWR	РБМК	БН
Степень обогачения топлива	2 - 5%	2 - 3%	20 - 30%
Плотность энерговыделения в активной зоне	40 – 100 кВт/л	15 - 20 кВт/л	500 – 1000 кВт/л
Опыт эксплуатации (реакторолет)	Более 10000	Ок. 100	Ок. 60

СТРУКТУРА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Мир

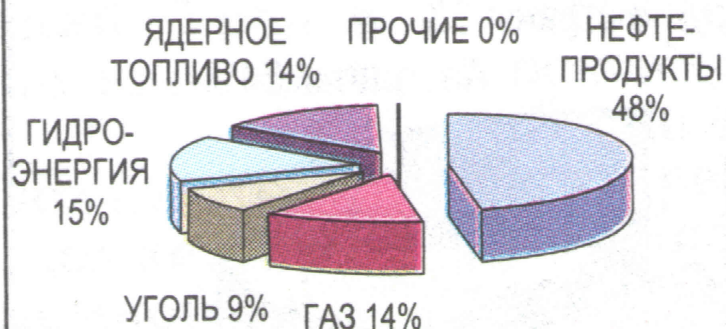


Россия

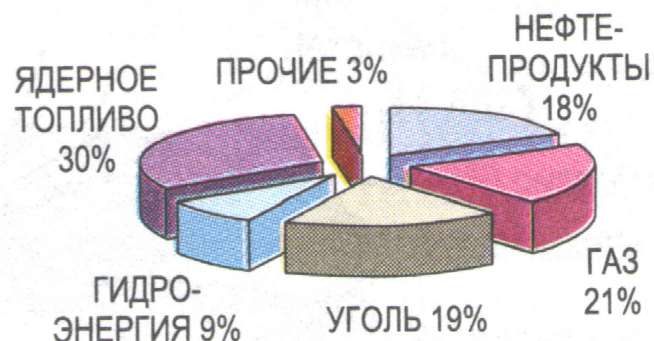


СТРУКТУРА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ЯПОНИИ И ВО ФРАНЦИИ

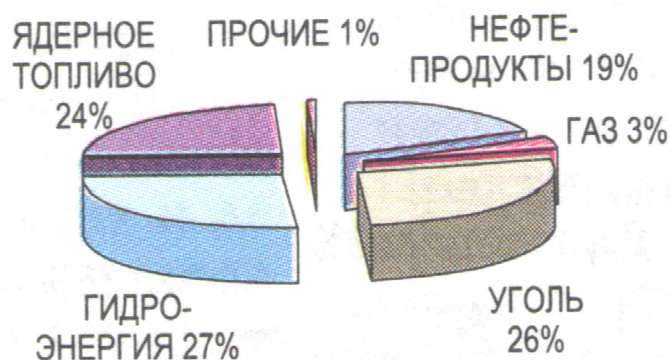
Япония, 1980 г.



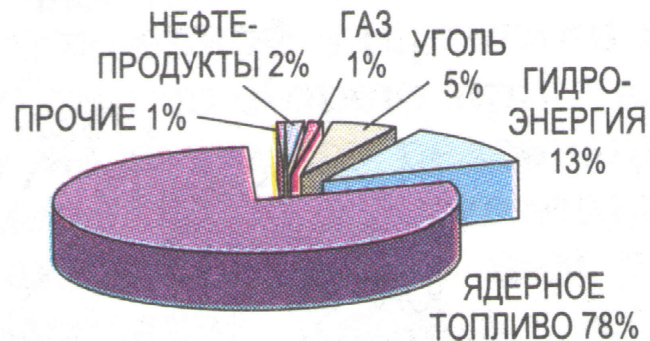
Япония, 2000 г.



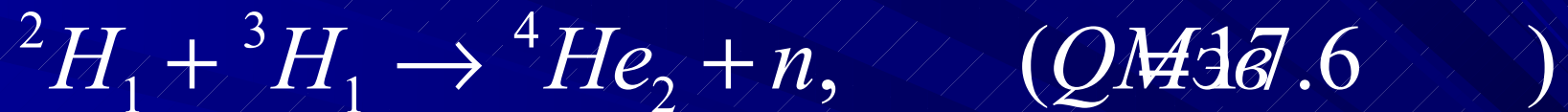
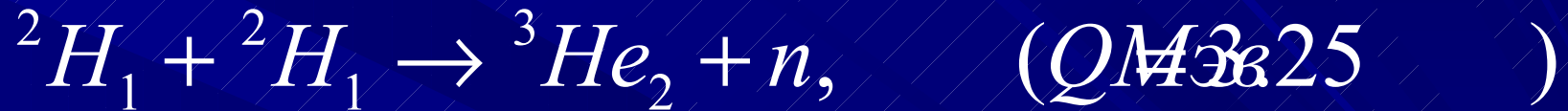
Франция, 1980 г.



Франция, 2000 г.



Реакции термоядерного синтеза



Кулоновский барьер

Чтобы осуществить реакцию синтеза, необходимо сблизить ядра до расстояния $R \approx 10^{-14}$ м. Для преодоления кулоновского барьера отталкивания необходима температура T порядка

$$kT \approx e^2/4\pi\epsilon_0 R,$$

откуда

$$T \approx 10^9 \text{ К}$$

Основные направления работ по УТС

В настоящее время считаются возможными 3 пути решения проблемы УТС:

1. Магнитное удержание плазмы
2. Инерционное удержание плазмы
3. Мюонный катализ

Магнитное удержание плазмы

Наибольшие успехи данного направления связаны с установками типа "Токамак".

Первая установка с замкнутой тороидальной камерой для разогрева и магнитного удержания плазмы была построена в 1955 году в ИАЭ им. И.В.Курчатова в отделе, которым руководил Л.А.Арцимович. Такие установки получили название "Токамак" (по первым слогам названий основных элементов конструкции установки: **Т**ороидальная **К**амера, **м**агнитные **К**атушки).

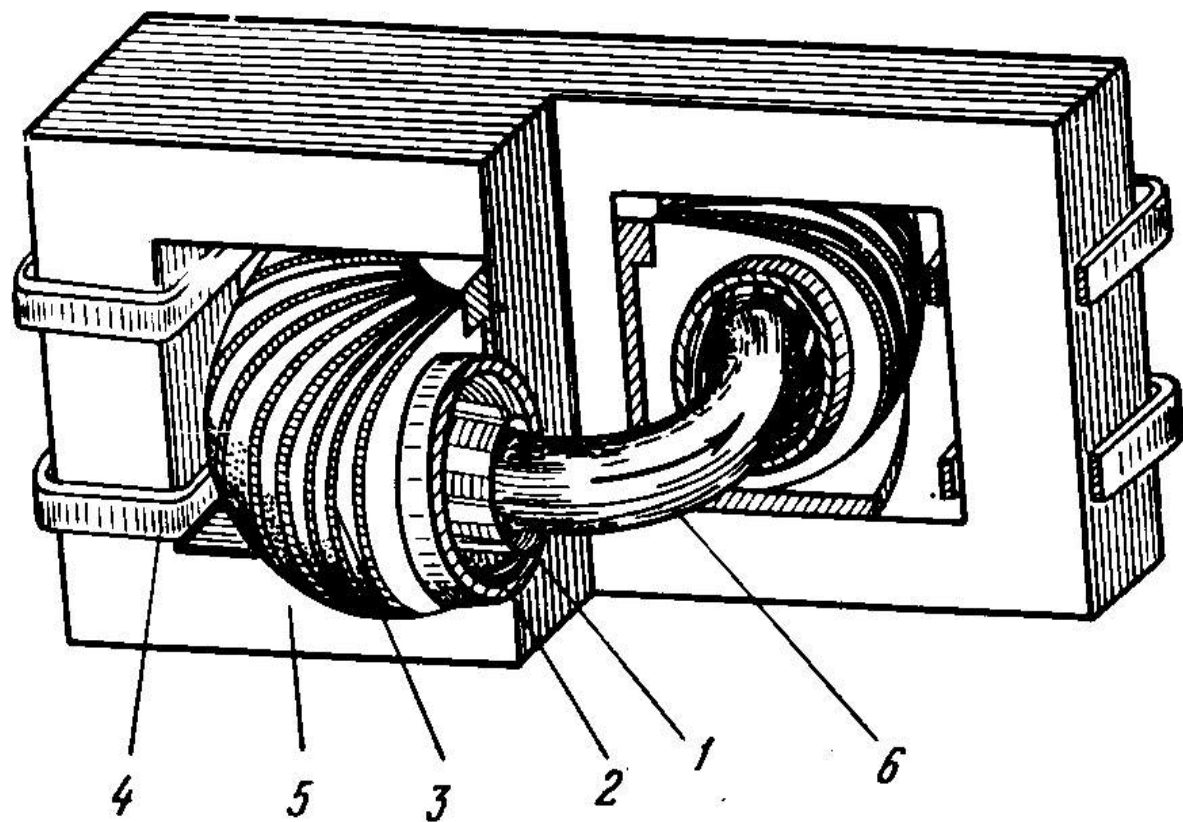
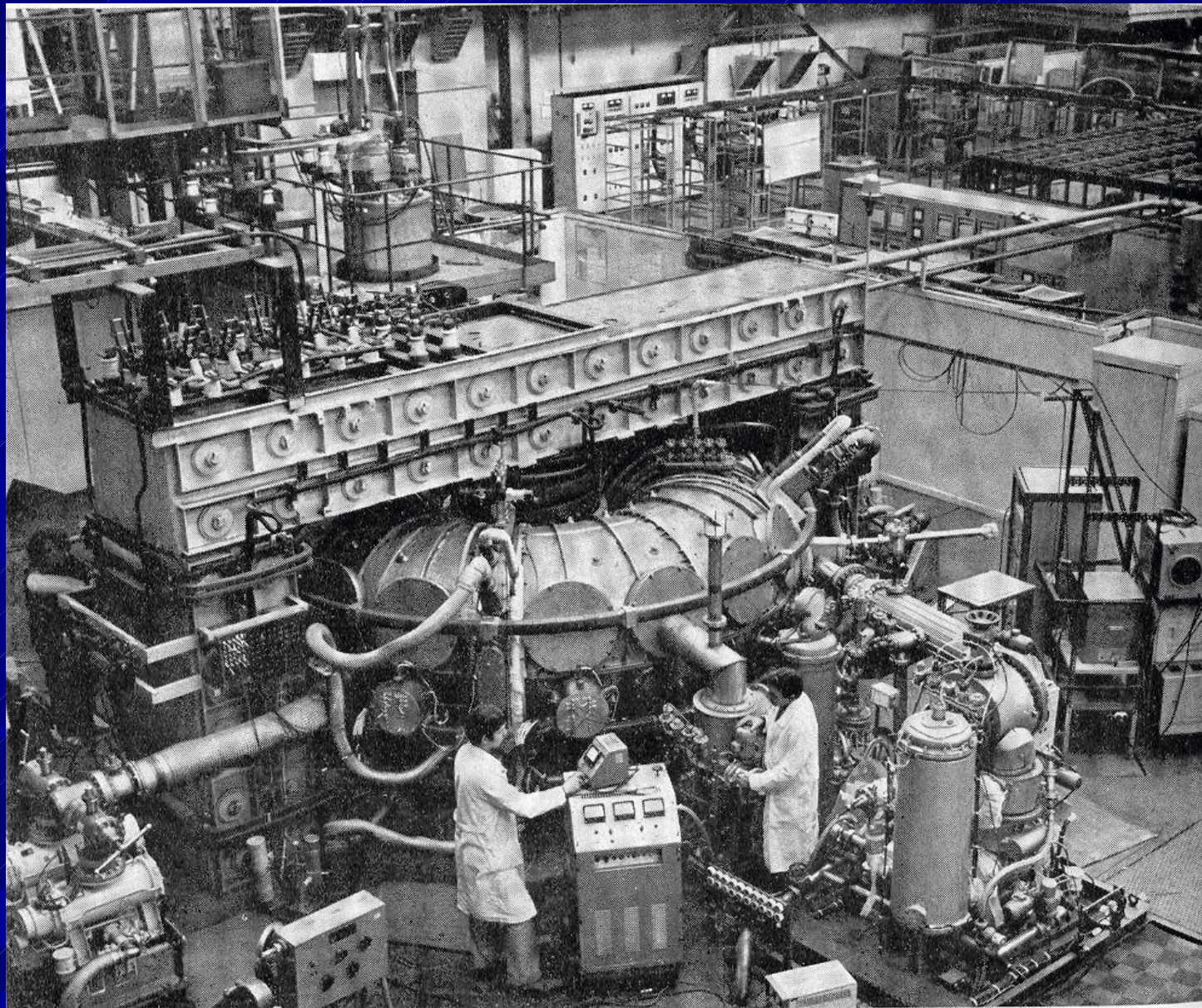


Рис. 11.8. Схема установок «Токамак».

1 — внутренняя камера, 2 — внешняя медная камера, 3 — обмотка, создающая продольное магнитное поле, 4 — первичная обмотка трансформатора, 5 — железный сердечник, 6 — плазменный виток.

Фотография установки "Токамак-7" (ИАЭ им. И.В.Курчатова)



Установки типа токамак были впервые созданы в России (тогда это был СССР). В 1958 году по проблеме УТС был налажен обмен научной информацией между СССР и США. После 1970 года, когда успех токамаков стал очевиден, к программе их исследований подключились США, страны Западной Европы и Япония. Аналогичные установки, построенные в США, имеют некоторые конструкционные отличия и называются "стеллараторами".

За 60 лет, прошедших с момента запуска первого токамака, во всем мире было построено около 100 токамаков и стеллараторов. Каждая новая установка приводила к улучшению параметров плазмы, но все более дорогой ценой. Строительство последнего токамака "ИНТОР" продолжается уже более 30 лет, стоимость этой установки более 10 миллиардов долларов, откуда следует необходимость объединения усилий разных стран.

x – ОГРА- III
(Россия)

Δ - Сцилла-IV (США)
- TFR (Евроатом)

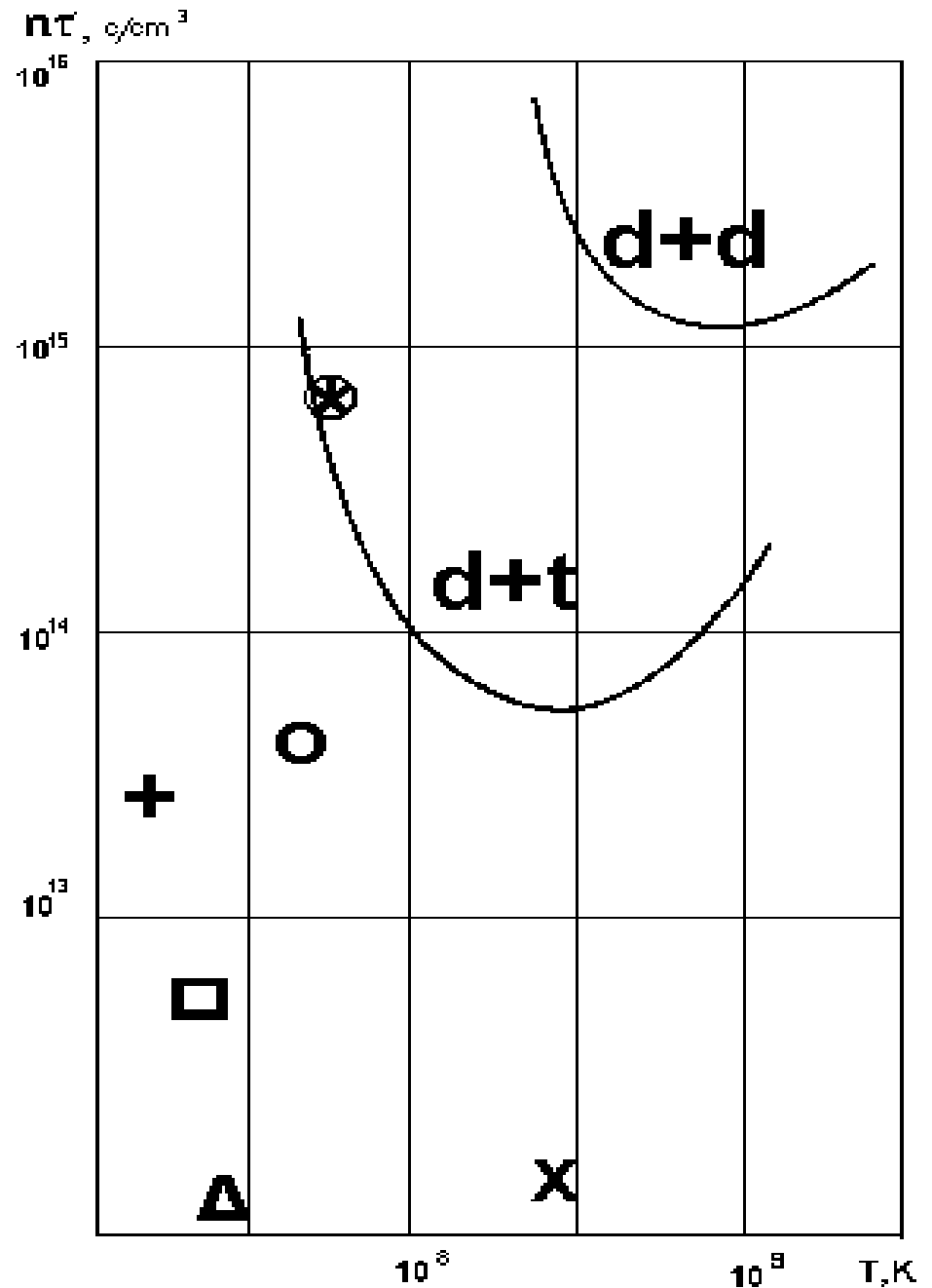
+ - Т-7, Т-10 (Россия)

o – PLT (США),

⊗ - ИНТОР (ITER -

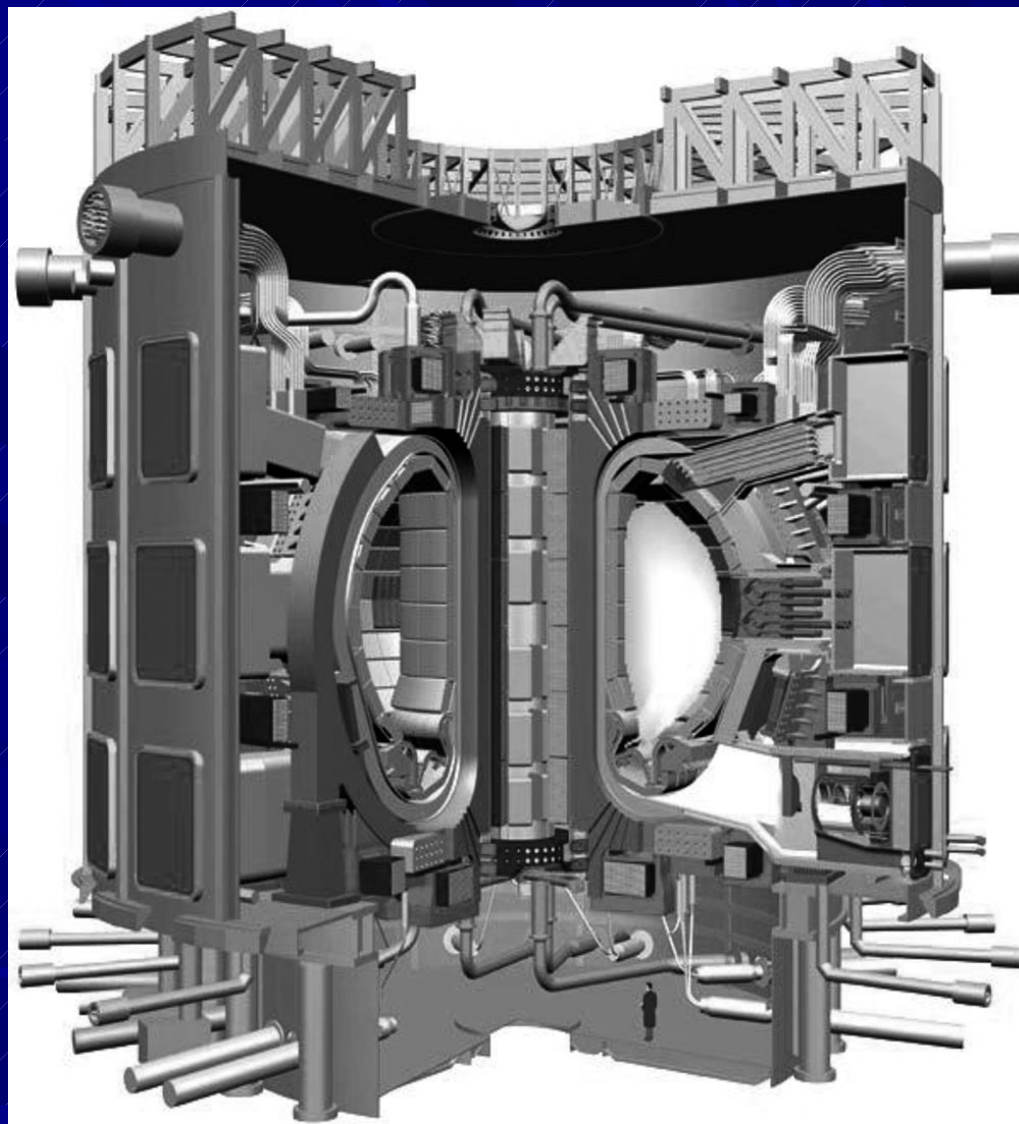
International
Termonuclear
Experimental
Reactor:

строящийся
реактор)



ИНТОР: Большой
радиус тора 5.2м,
малый 1.2м,
тепловая мощность
620 МВт.

Реактор будет ра-
ботать в цикли-
ческом режиме:
время горения
термоядерной
реакции ок.200с,
очистка камеры
ок.30с.



Первый проект ИНТОРа был создан еще в 1980 г, в него вошли СССР, США, страны Европейского союза и Япония. По первоначальным планам реактор должен был быть построен в 1985 году. Однако по причинам недостаточного финансирования строительство так и не было начато. В 2003-2005 гг к проекту подключились Китай, Южная Корея и Индия. Первый этап строительства должен завершиться к 2018 г, первую плазму планируется получить к концу 2019 г, полномасштабные эксперименты предполагается начать в 2027 г.

Спасибо за внимание!