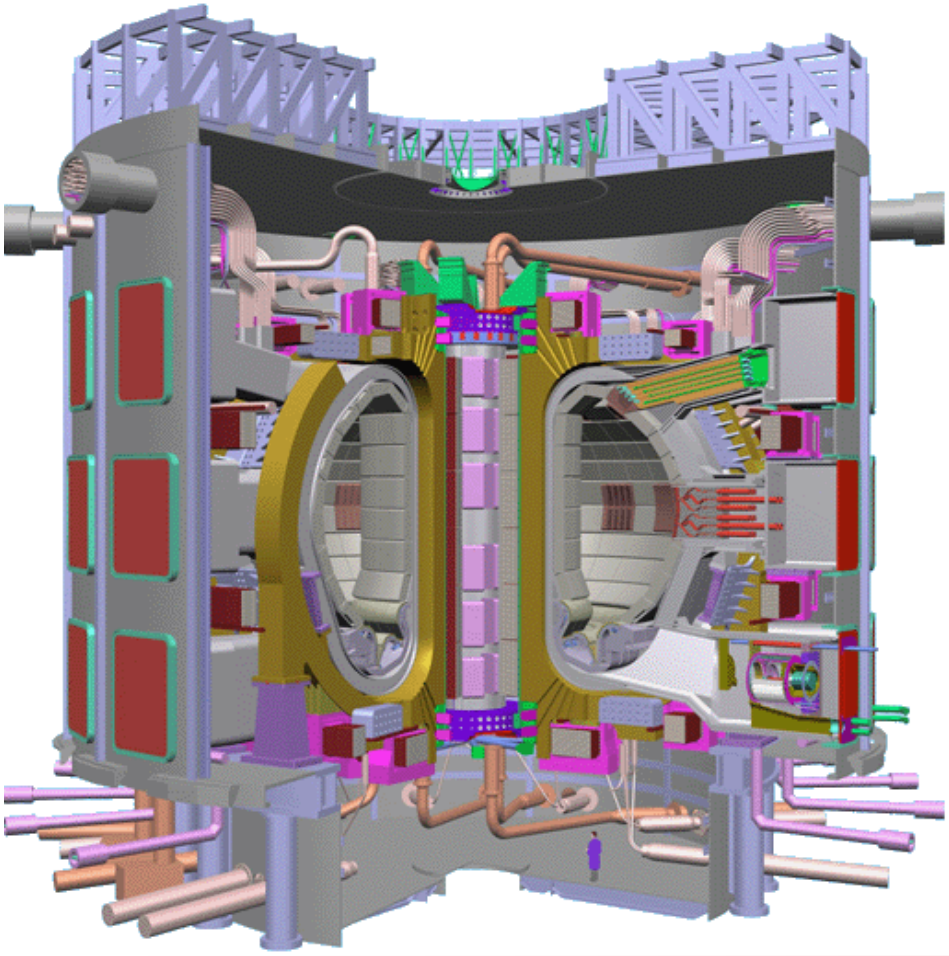
Проект международного термоядерного экспериментального реактора ИТЭР

Международный термоядерный реактор ИТЭР



Полная термоядерная мощность, МВт	**500 (*700*)**
Отношение термоядерной мощности к мощности дополнительного нагрева, Q	**≥10**
Средняя нейтронная нагрузка на стенку, МВт/м^2	**0,57 (*0,8*)**
Время горения плазмы в индуктивном режиме работы, сек	**≥ 400**
Большой радиус плазмы, м	**6,2**
Малый радиус плазмы, м	**2,0**
Ток плазмы, МА	**15 (17)**
Вертикальная вытянутость плазмы - отношение вертикального размера к горизонтальному (верх/низ)	**1,7 / 1,85**
Треугольность плазмы (верх/низ)	**0,33 / 0,49**
Тороидальное магнитное поле на оси, Т	**5,3**
Объем плазмы, м^3	**837**
Площадь поверхности плазмы, м^2	**678**
Мощность дополнительного нагрева, МВт	**73**

Диапазон изменения некоторых параметров в токамаке ITER

Давления

- уровень вакуума в камере перед разрядом – < 10^{-9} атм;
- давление рабочего газа в камере перед разрядом - ~ 10^{-8} атм;
- газокинетическое давление плазмы на стадии горения ~ 3 атм;
- электромагнитное давление на вакуумную камеру при срывах ~ 20 атм;
- давление магнитного поля в центральном соленоиде $B_{cs}^2/2\mu_o$ ~ 700 атм.

Магнитные поля

- допустимый уровень паразитных полей рассеяния ≤ 10^{-3} Тл;
- вертикальное поле, обеспечивающее равновесие плазмы ≤ 1 Тл;
- тороидальное поле на оси плазмы ~ 5 Тл;
- магнитное поле в центральном соленоиде ~ 12 – 13 Тл.

Температуры

- на сверхпроводнике электромагнитной системы ~ 4 К;
- температура прогрева первой стенки вакуумной камеры ~ 200° С;
- температура на пластинах дивертора ~ 1000° С;
- температура в плазме на стадии горения ~ 100 млн. градусов.

Международный термоядерный реактор ИТЭР

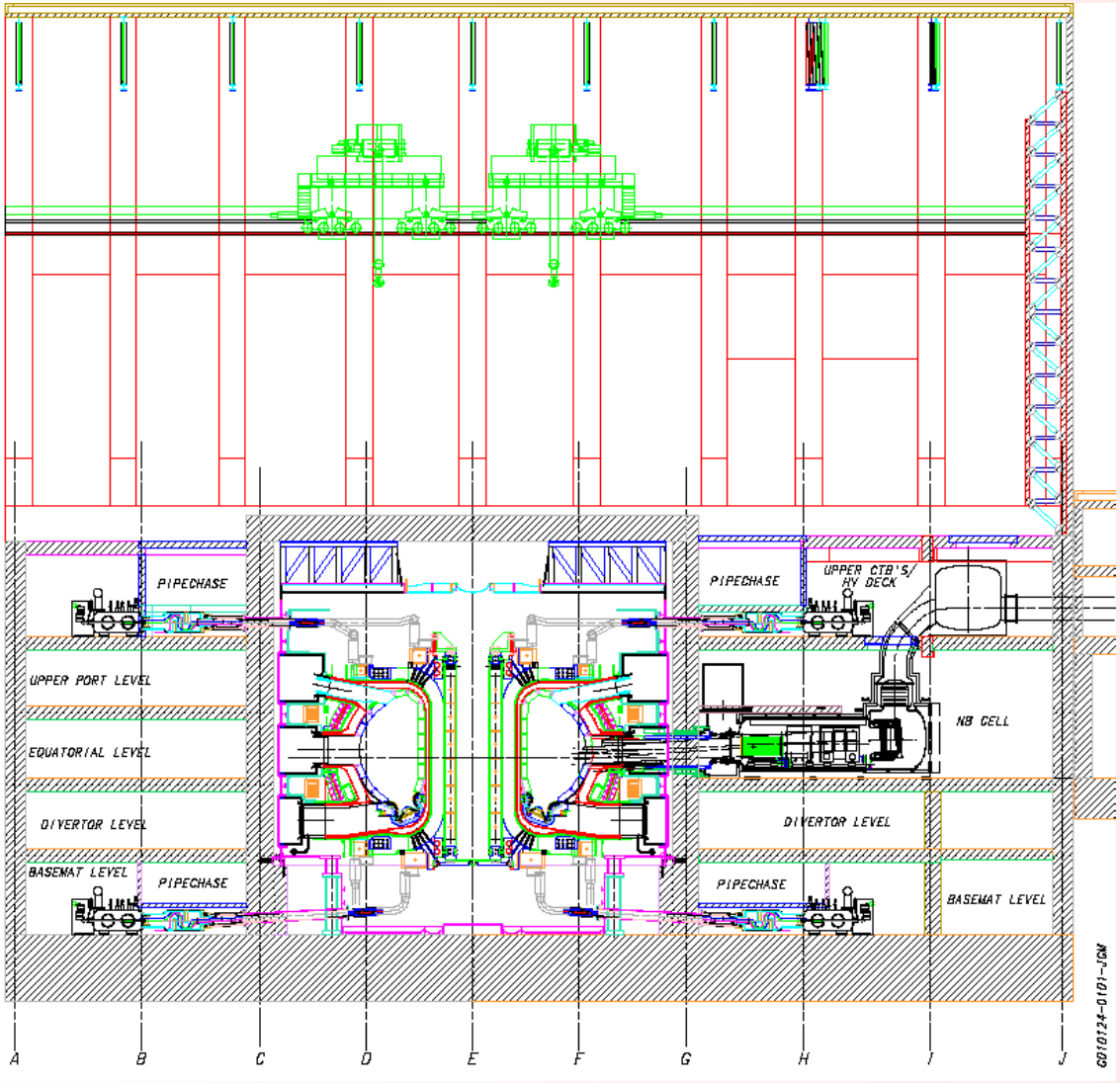
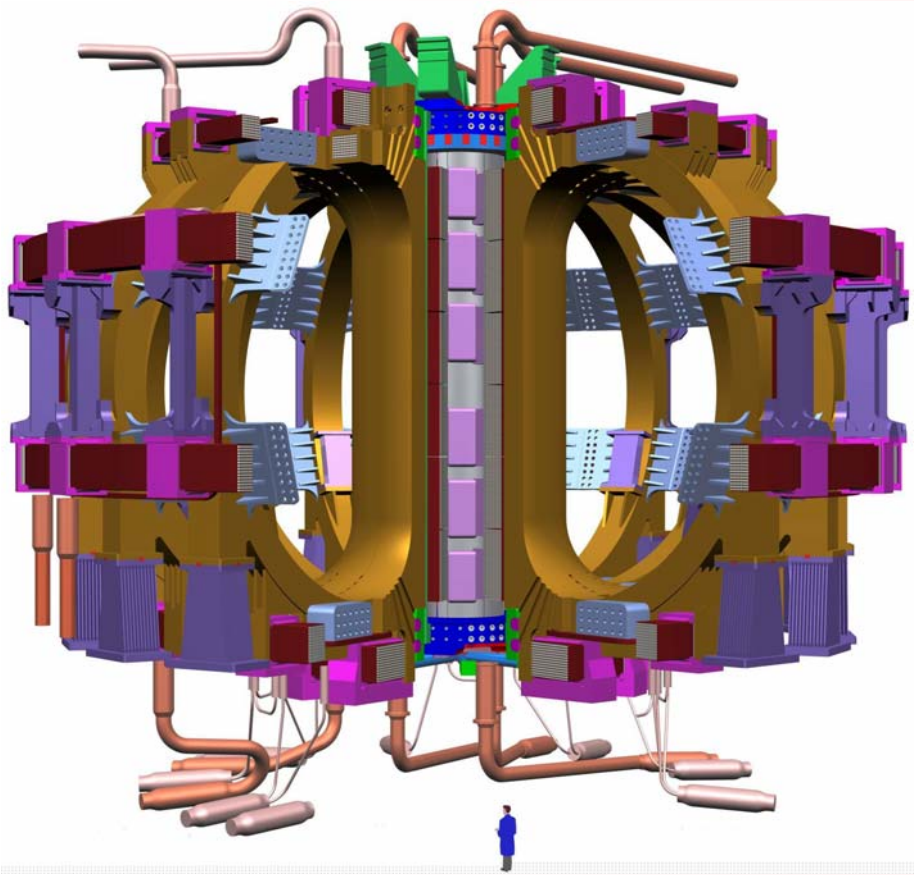


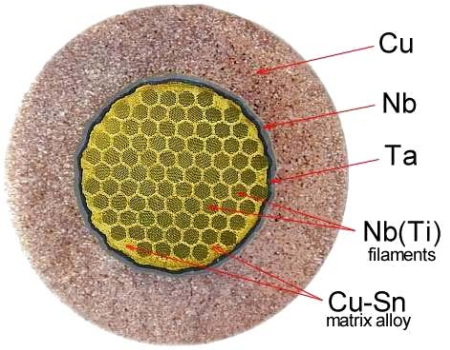
Схема размещения комплекса ИТЭР на площадке

Общая площадь площадки до 40 Га сроком на 30 лет

Общий вид магнитной системы установки ИТЭР



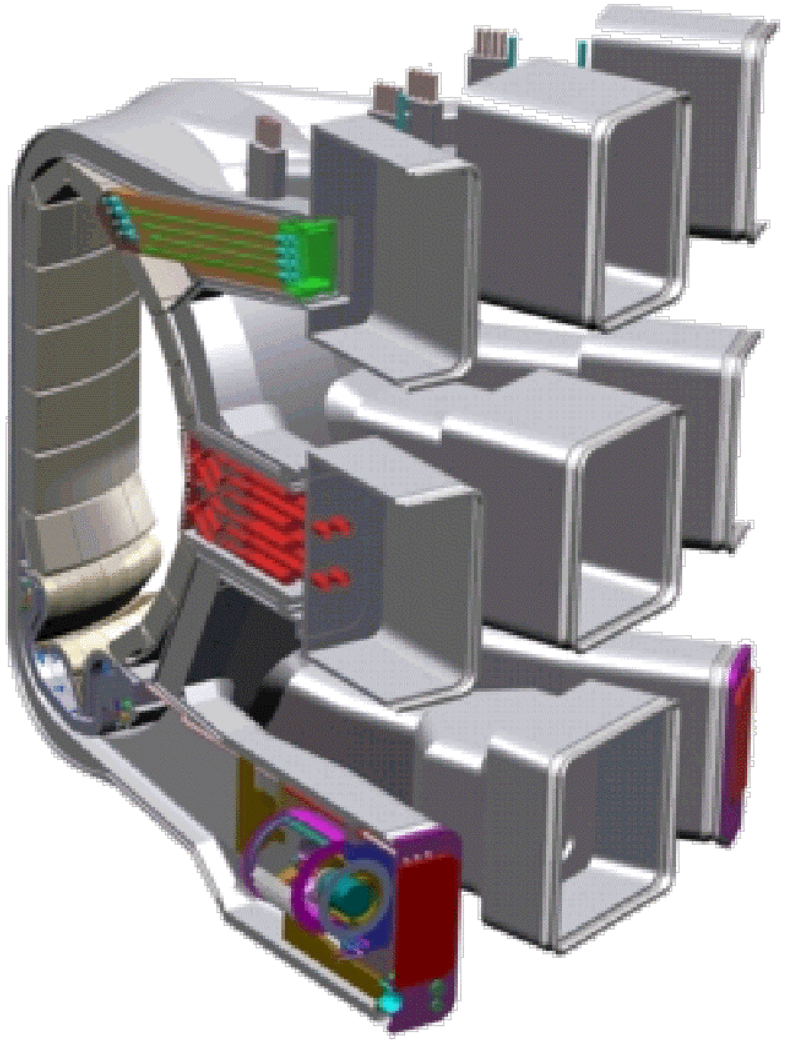
Количество ОТП	18
Запасенная магнитная энергия, ГДж	~ 41
Рабочий ток, кА	68
Максимальное поле на проводнике, Т	11,8
Максимальный ток в ЦС, кА	45,2
Максимальное поле в ЦС, Т	13,5
Максимальный ток в ОПП, кА	52
Максимальный ток в ОКПП , кА	10
Вес ОТП, включая СС, т	5621
Вес ЦС, включая СС, т	926
Вес ОПП, включая опоры, т	2845
Вес ОКПП, включая опоры, т	80
Общий вес магнитной системы, т	~ 10135



Сверхпроводники

Тип сверхпроводника	Nb_3Sn	NbTi
Общий вес, т	480	162
Необходимый объем производства, т/год	244	93

Тип катушки	ОТП	ЦС	ОПП 1,6	ОПП 2,3,4	ОПП 5	ОКПП	Токо-подводы
Тип сверхпроводника	Nb_3Sn	Nb_3Sn	NbTi	NbTi	NbTi	NbTi	NbTi
Форма оболочки кабеля	Цилиндр	Квадрат	Квадрат	Квадрат	Квадрат	Квадрат	Цилиндр
Общая длина кабеля, км	88	40	18	32,5	11	5	< 1



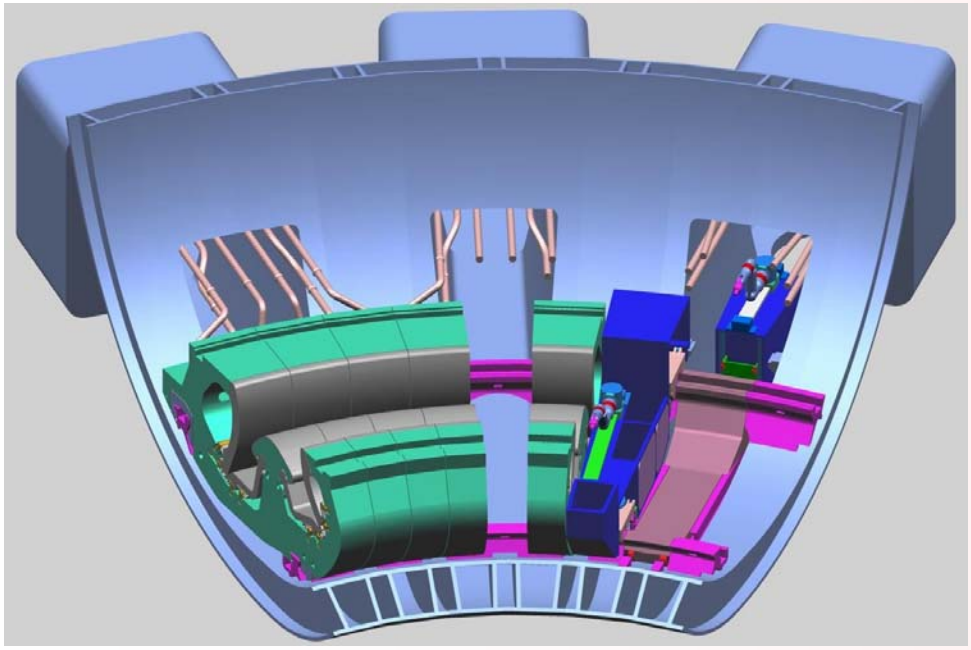
Две секции вакуумной камеры установки ИТЭР

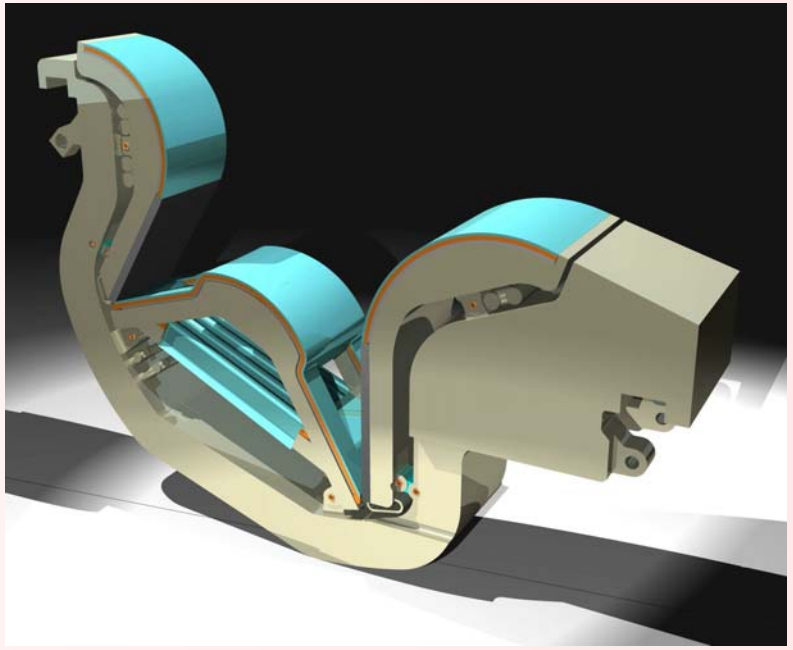
Внешний диаметр, м	19,4
Высота,м	11,3
Толщина (две оболочки), м	0,34-0,75
Тороидальный размер, град	40
Число секторов	9
Площадь внутр. поверхности, $м^2$	943
Объем, $м^3$	1608
Полная масса, вкл. патрубки, т	6500

Модуль бланкета установки ИТЭР

Полная тепловая мощность в бланкете, ГВт	~ 0,65
Поток тепла на первую стенку, (ном./макс), МВт/м^2	0,2/0,5
Поток тепла на лимитер, (ном./макс), МВт/м^2	3/8
Усредненная нейтронная нагрузка, (ном./макс), МВт/м^2	0,57/0,78
Площадь первой стенки, м^2	682
Общий вес модулей, т	1813
Размеры модуля (средн.), м	1,4x1,1x0,45
Число модулей	429

Дивертор приемное устройство





Кол-во кассет дивертора	**54**
Полная тепловая мощность принимаемая на дивертор, МВт	**112,5**
Максимальный поток тепла на мишени, МВт/м^2	**19,4**

Макет центрального соленоида

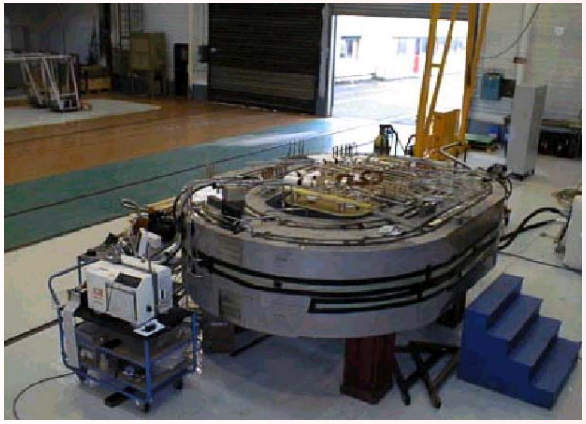
Внешний модуль (Япония)

Внутр. модуль (США)

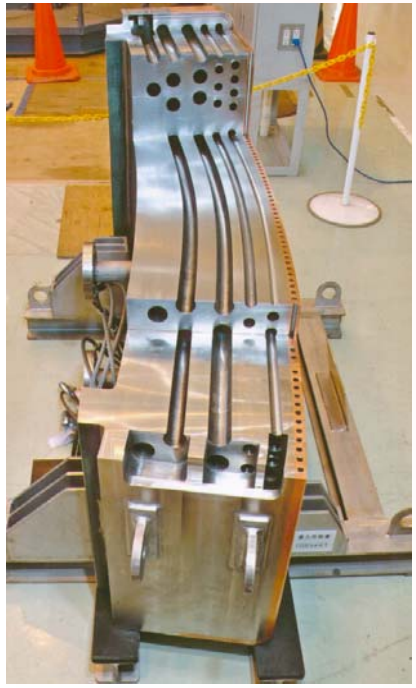
ЦС вставка (Япония)

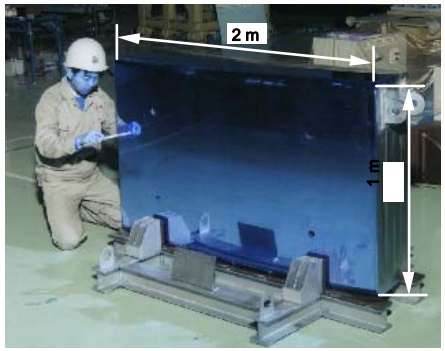
ОТП вставка (РФ)

Макет ОТП (ЕС)

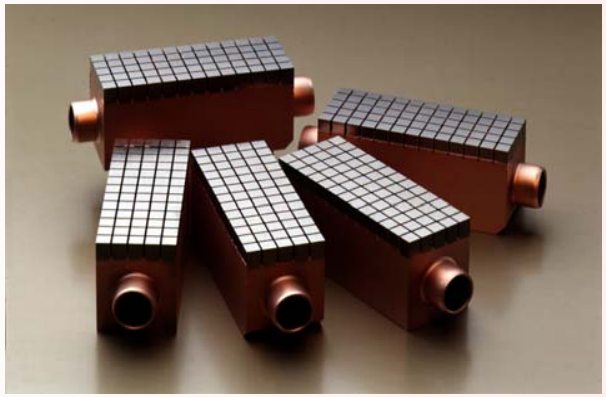


Бланкет и порт-лимитер

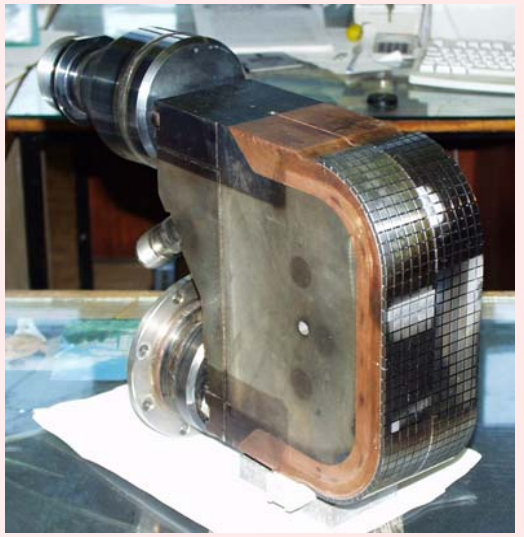




Япония



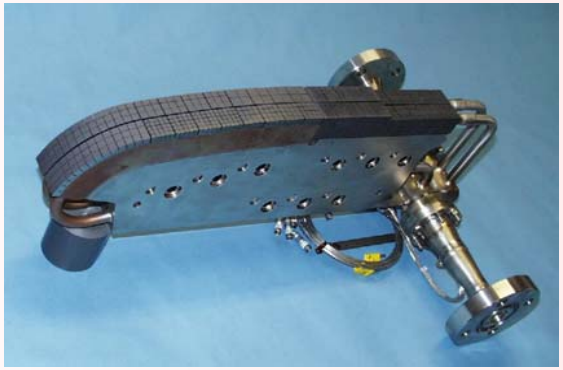
ЕС



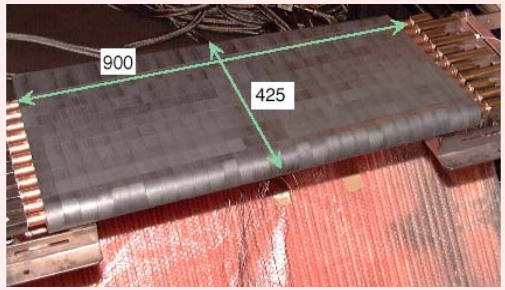
РФ

Дивертор

ЕС-РФ

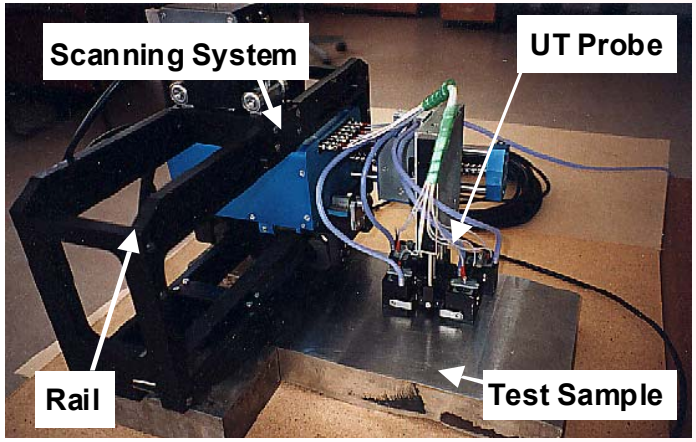


США-Япония

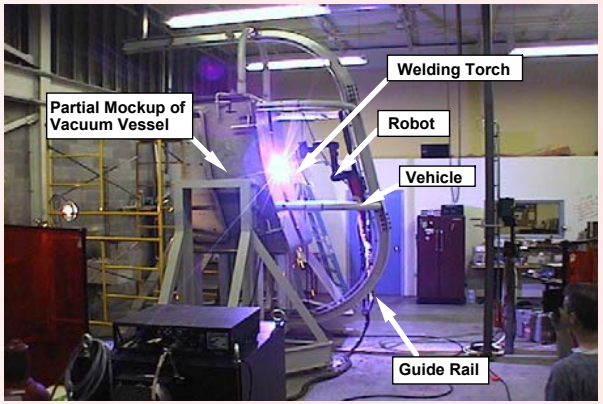


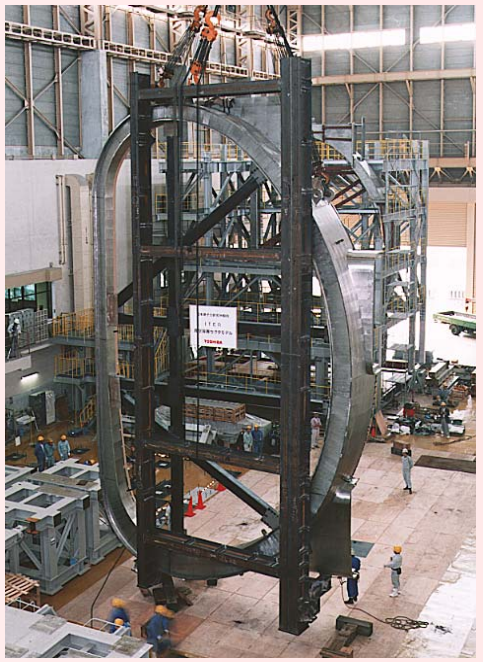
Модель вакуумной камеры

РФ



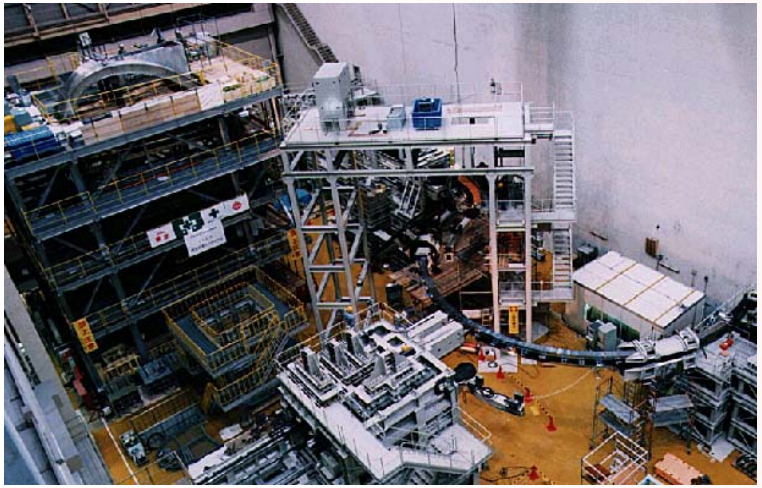
США

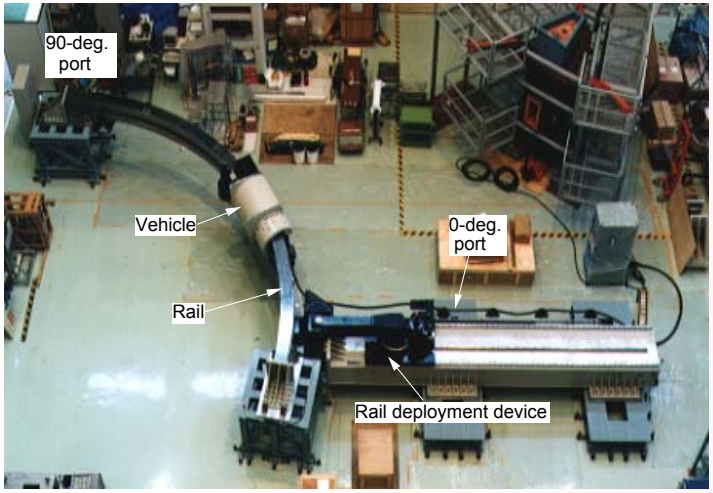


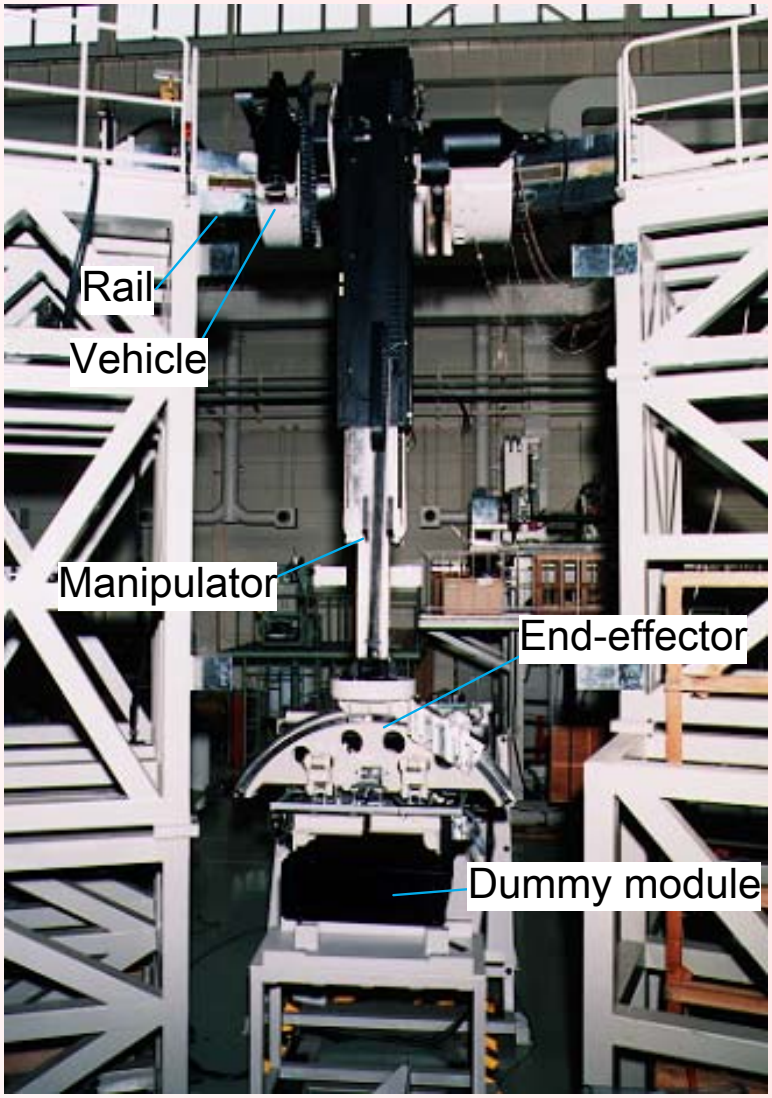


Япония

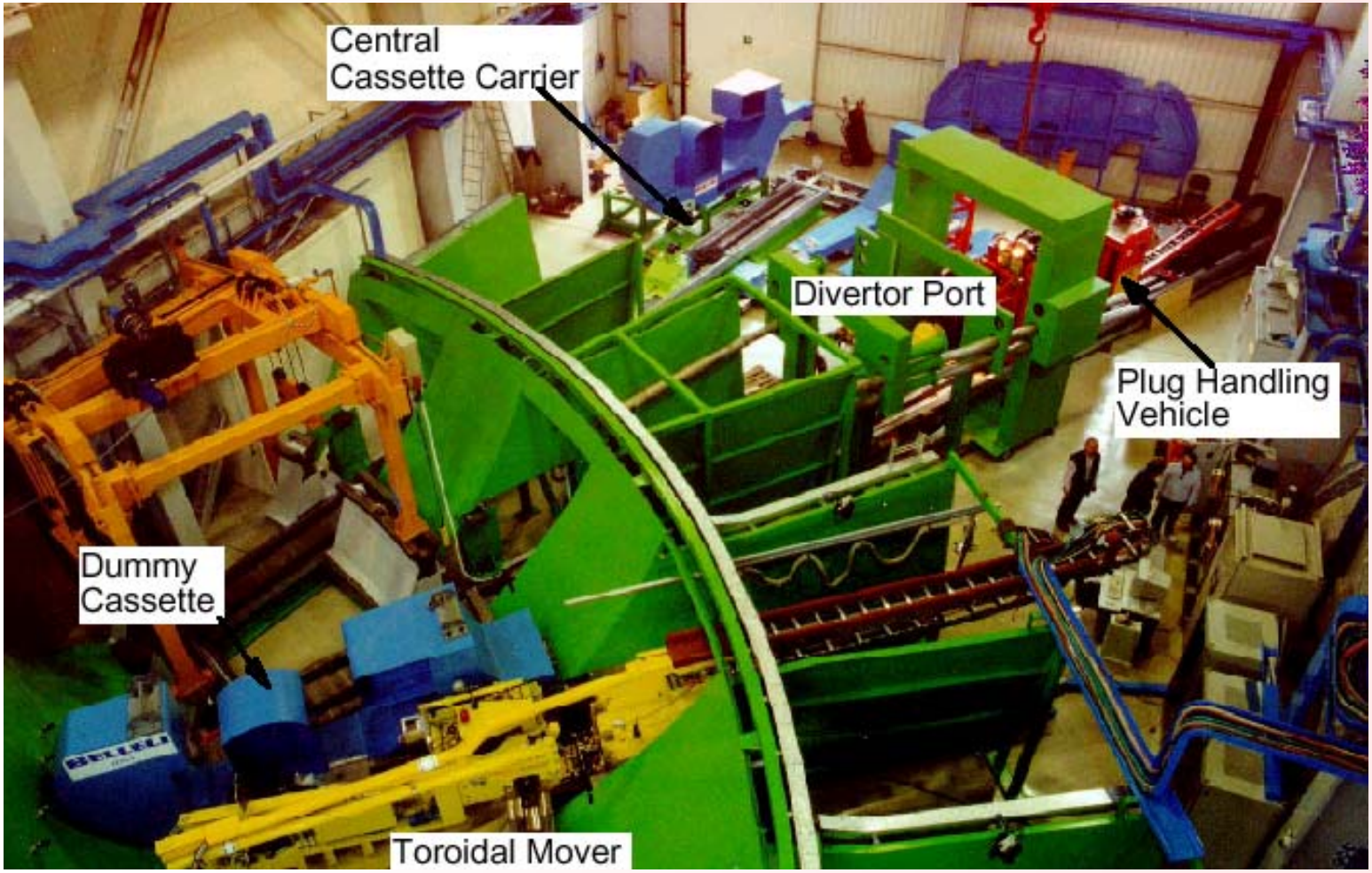
Платформа для обслуживания бланкета (Япония)



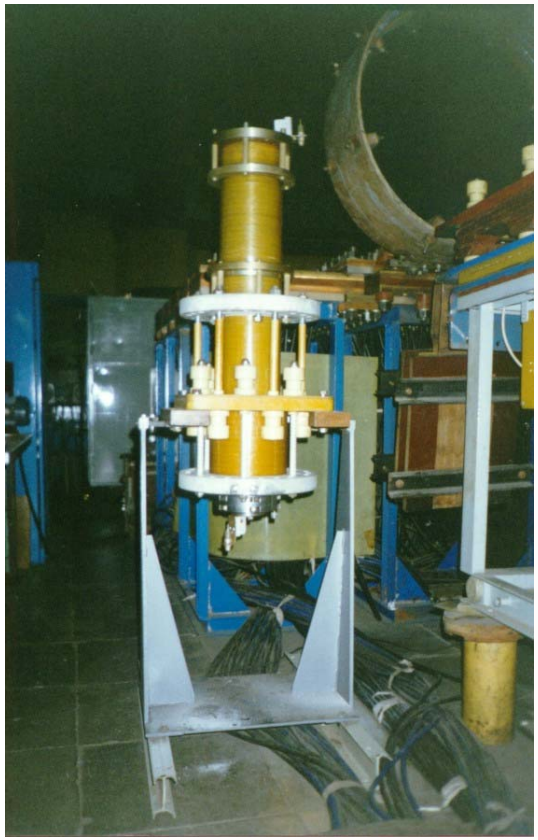




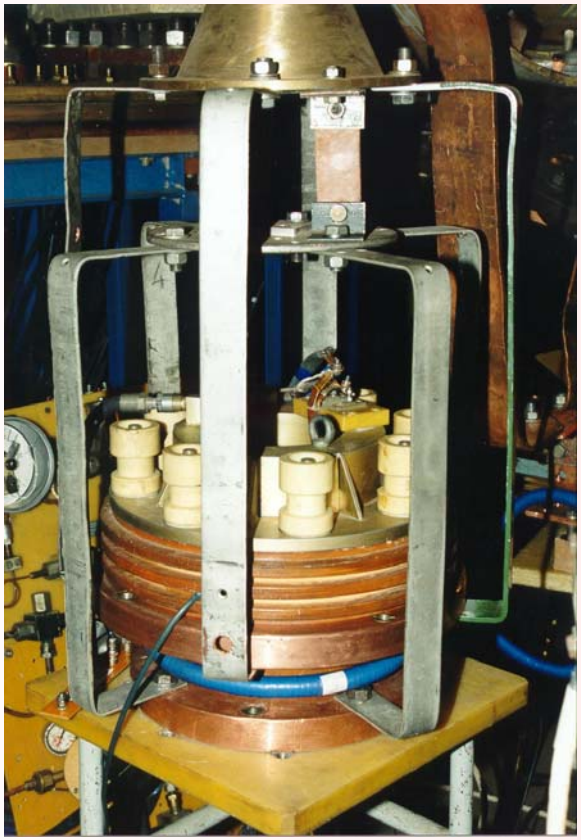
Платформа для обслуживания дивертора (EC)



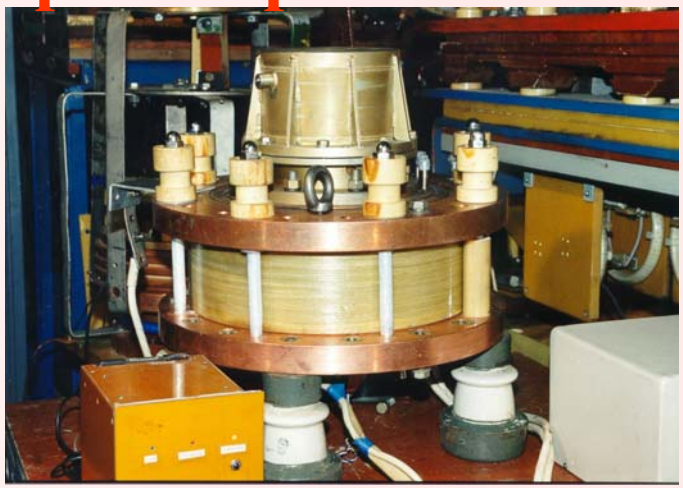
Система электропитания реактора



Многозазорный
быстродействующий
Размыкатель
с пироприводом



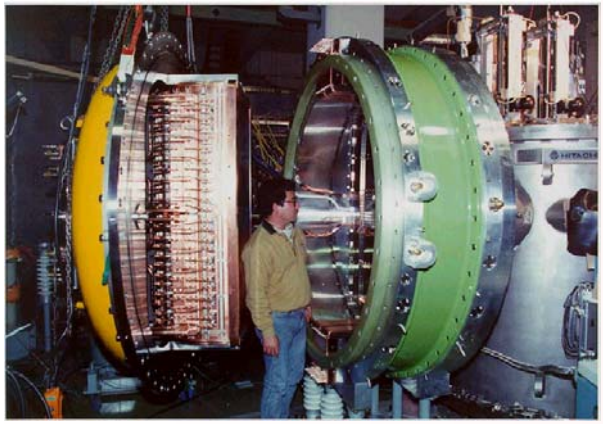
Механический Ключ
Замыкающего Устройства
Многократного Действия



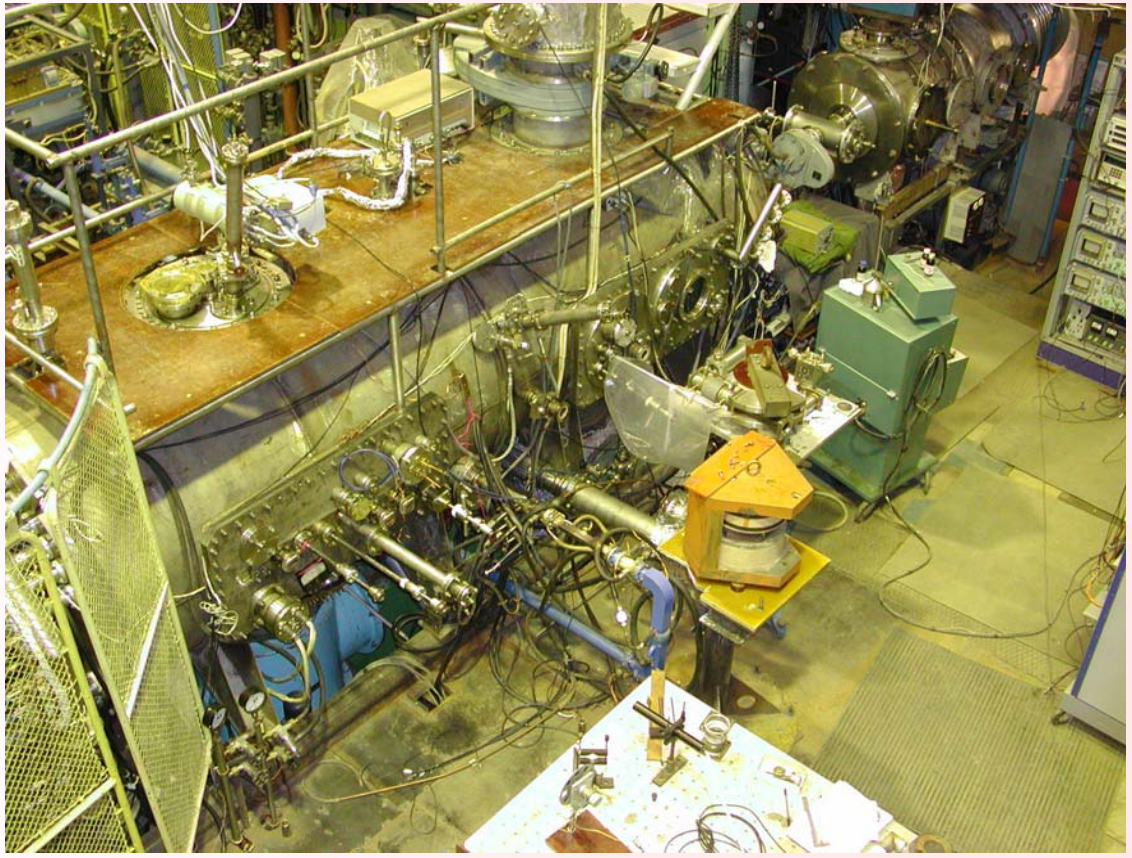
Механический Ключ
Размыкающего Устройства
Многократного Действия

Коммутатор
многократного действия

Инжектор нейтралов

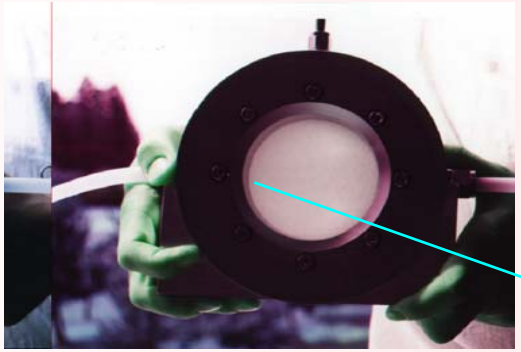


Япония

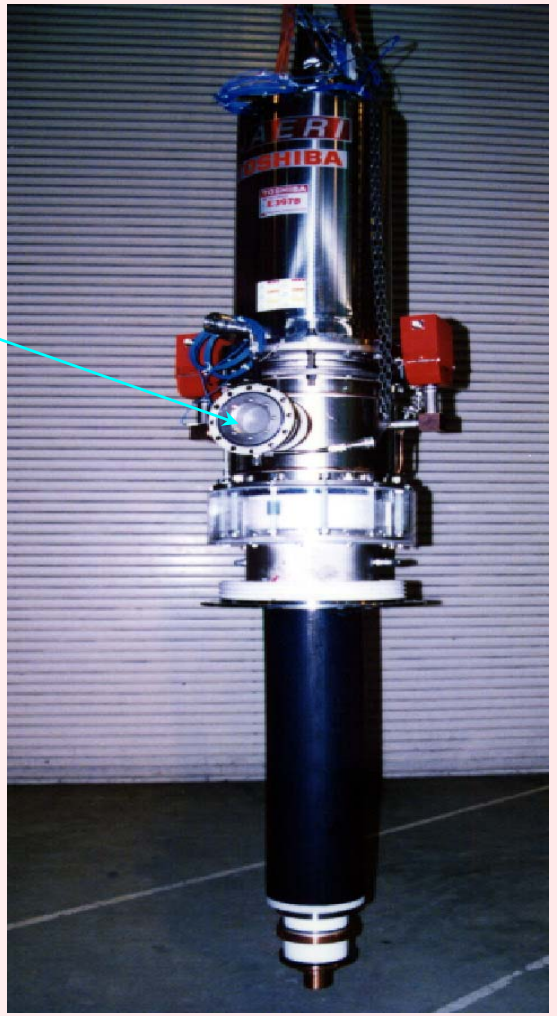


РФ

170 ГГц Гиротрон



РФ



Япония

Заключение

- Впервые в мировой практике удалось создать полностью согласованный проект квазистационарного термоядерного реактора с расчетной тепловой мощностью около 500 МВт.
- В процессе разработки проекта были систематизированы и проанализированы результаты экспериментальных и теоретических работ по физике токамака.
- В представительных размерах (а иногда и в натуральную величину) были сделаны и испытаны все ключевые элементы конструкции.
- Учеными и специалистами создана схема международной кооперации как для научных и исследовательских организаций, так и в промышленности.