

Инжекторы для нагрева и диагностики плазмы

Ускорительный источник нейтронов для БНЗТ

Шиховцев И.В.

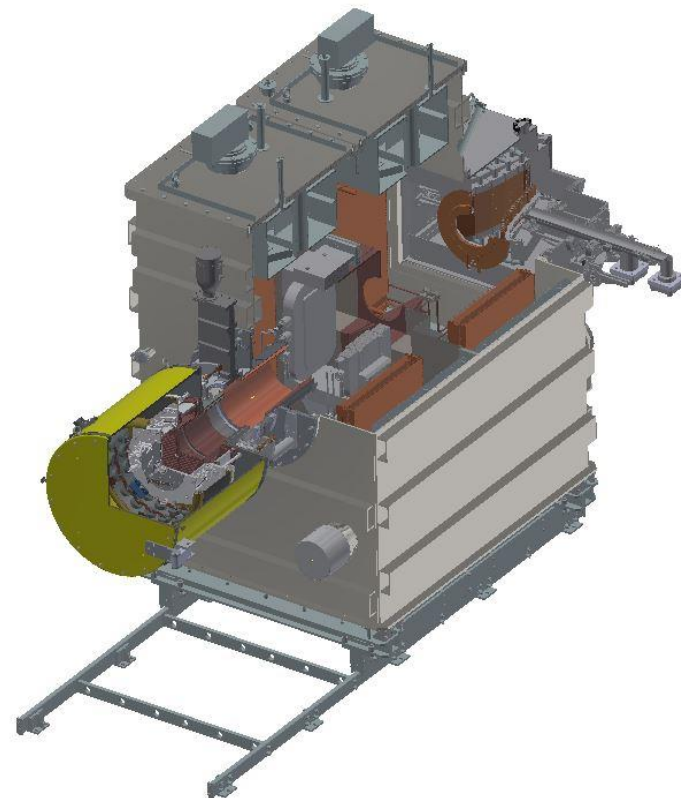
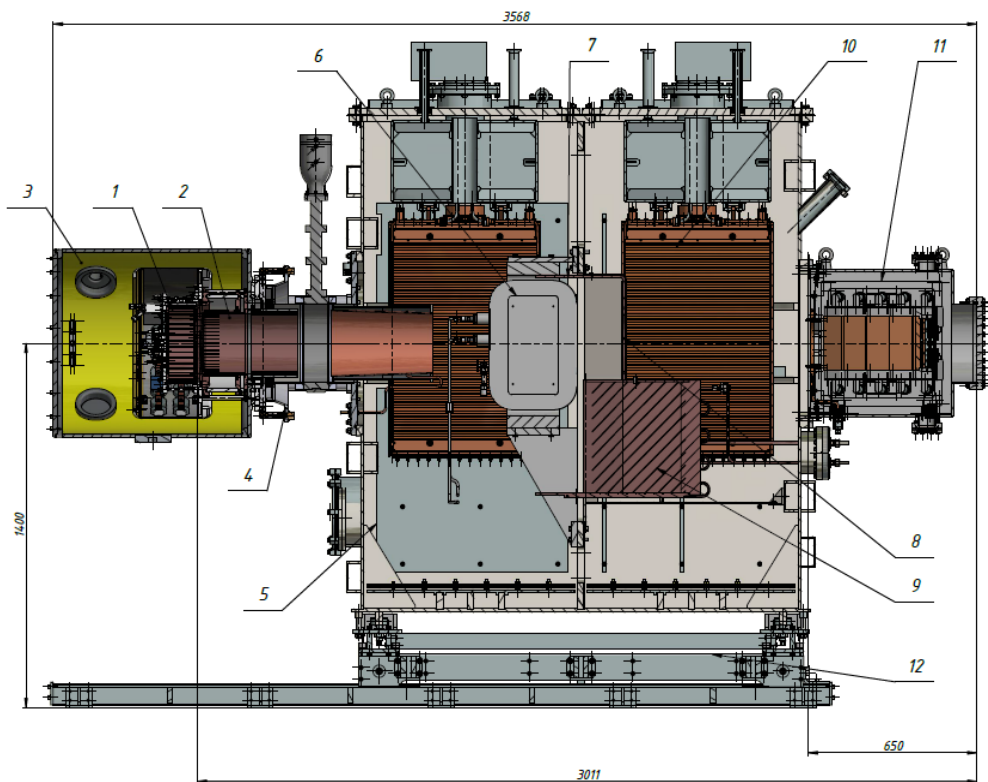
Лаб.9-0, группа БНЗТ

Научная сессия ИЯФ СО РАН
22 февраля 2019



Контракты на поставку в 2020 году 1МВт нагревных инжекторов

Энергия, кэВ	Длительность пучка, с	Заказчик
55	2	SPC, токамак TCV, Швейцария
55	2	TE, токамак ST-40, Англия
80	1	IPP, токамак COMPASS-D, Чехия



ИНЖЕКТОРЫ

Научная сессия ИЯФ СО РАН 22 февраля 2019

Диагностический инжектор для токамака ST-40 (TE, Англия)

Энергия, кэВ	Ионный / экв. атом. ток, А	Длительность, с
55	3 / 1.5	2



ИНЖЕКТОРЫ

Научная сессия ИЯФ СО РАН 22 февраля 2019

Диагностический инжектор для установки С2-W (ТАЕ, США)

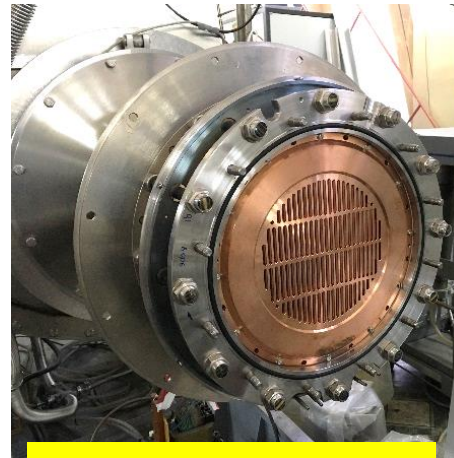
Атомарный пучок	H/D
Энергия	40 кэВ
Ионный ток	15.5 А
Экв. ток атомов	8.5 А
Модуляция пучка	10 кГц
Длительность	30 мс



система питания



вакуумный объем инжектора



ионно-оптическая система



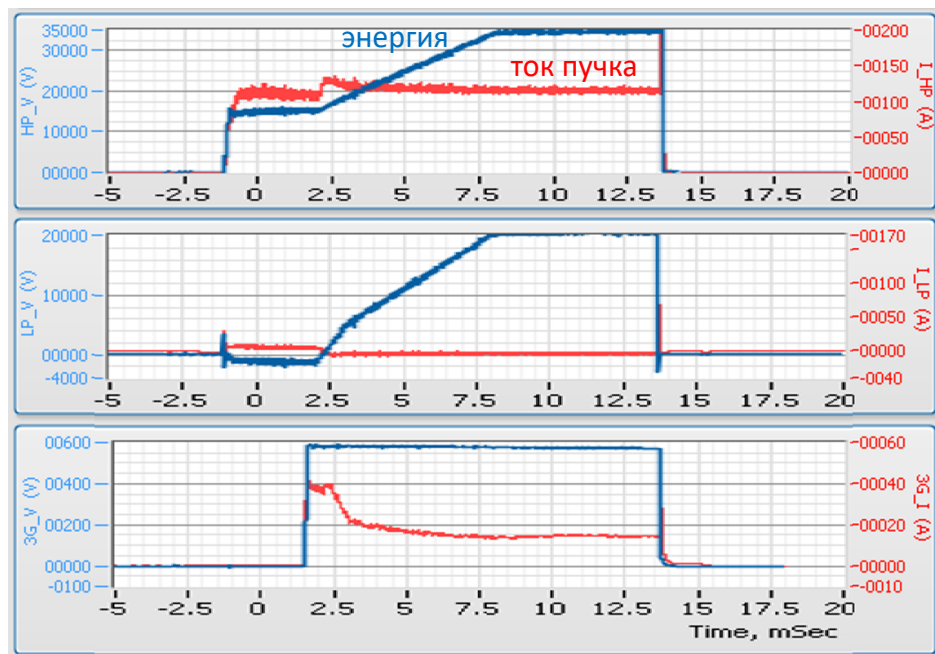
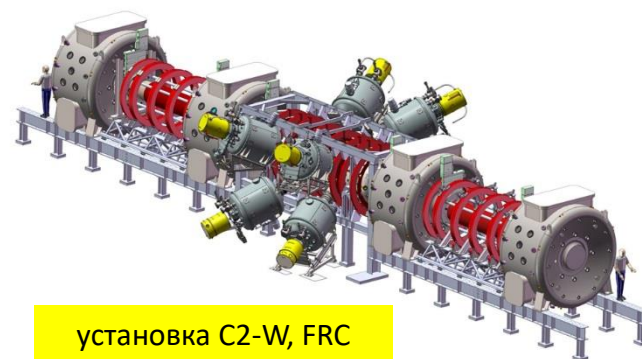
дуговой источник плазмы

ИНЖЕКТОРЫ

Научная сессия ИЯФ СО РАН 22 февраля 2019

Инжекторы с перестраиваемой энергией пучка для C-2W (США)

Количество инжекторов	4
Энергия пучка	15 кэВ \rightarrow 40кэВ
Мощность пучка	1.7 МВт (15 кэВ)- 3.5 МВт (40 кэВ)
Полная мощность	14 МВт - 21 МВт
Длительность	30 мс



ИНЖЕКТОРЫ

Научная сессия ИЯФ СО РАН 22 февраля 2019

Прототип инжектора на отрицательных ионах 1 МэВ, 2МВт



ВВ платформа, ускоритель, поворотный магнит



ВВ трансформатор



рекуператор

- ❑ На ВВ платформе в 120 кэВ инжекторе получен вакуум, запущены крионасосы, получена ВЧ плазма в ионном источнике, начата проводка пучка к ускорителю.
- ❑ Закачивается отладка системы ВВ питания платформы.
- ❑ В высокоэнергетичном тракте установлен ускоритель и поворотный магнит. Собран рекуператор. Получены из цеха квадрупольи.

Ускорительный источник нейтронов для БНЗТ

Параметры протонного пучка:

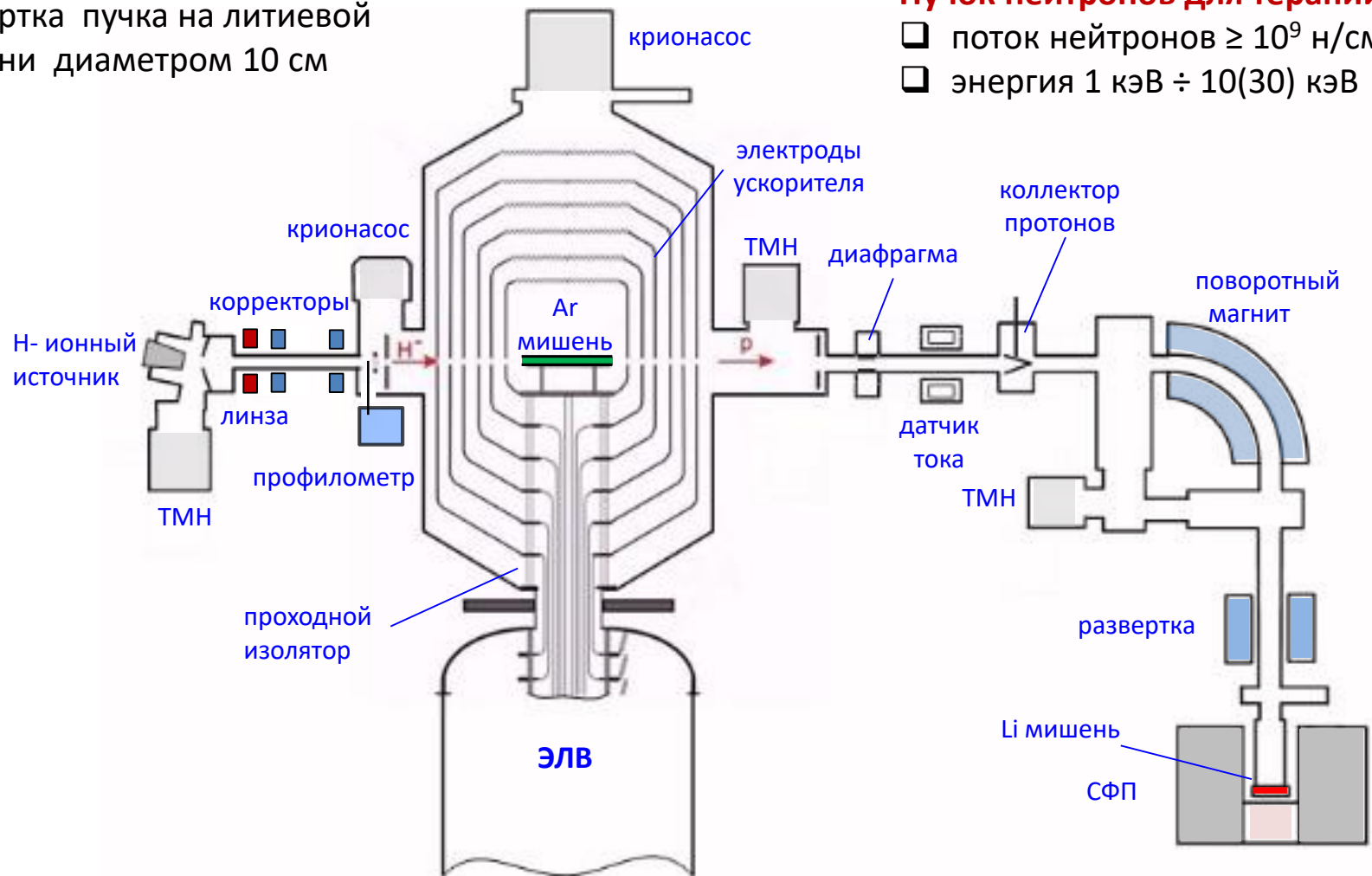
- ❑ Энергия - 2 МэВ (2.3 МэВ)
- ❑ Ток пучка – до 8.5 мА
- ❑ Развертка пучка на литиевой мишени диаметром 10 см

Нейтронный выход мишени:

- ❑ до $5 \cdot 10^{12} \text{ s}^{-1}$

Пучок нейтронов для терапии:

- ❑ поток нейтронов $\geq 10^9 \text{ н/см}^2 \cdot \text{с}$
- ❑ энергия 1 кэВ ÷ 10(30) кэВ



БНЗТ

Проведенная модернизация ускорителя

- ❑ Замена в проходном изоляторе стеклянных колец на керамические удвоенной высоты и удаление резистивного делителя из внутренней части изолятора
- ❑ Полная разборка вакуумной системы, очистка, отжиг, сборка ускорителя
- ❑ Замена насосов в системе откачки на безмасляные
- ❑ В низкоэнергетичном тракте:
 - новая подставка с возможностью юстировки всего тракта
 - замена магнитной линзы
 - установка двух корректоров
 - установка видеокамер и тепловизора для контроля прохождения пучка через первый электрод ускорителя
- ❑ Установка в высокоэнергетичном тракте:
 - бесконтактного датчика тока Vergoz,
 - выдвижных приемников пучка
 - охлаждаемых диафрагм с термодатчиками

Модернизация ускорителя: высокоэнергетичный тракт



Ускоритель БНЗТ- достижения

- Получен протонный пучок с током 8.5 мА и энергией 2 МэВ**
- Высоковольтное напряжение на ЭЛВ поднято до 1.25 МВ**

Задачи по модернизации ускорителя

- ❑ Добиться надежной работы с током протонного пучка более 5 мА (до 8-10 мА).
 - Замена ионного источника на новый с током до 15 мА
- ❑ Увеличение энергии протонного пучка до 2.3 МэВ
 - Замена в проходном изоляторе гладких керамических колец на гофрированные
- ❑ Установка нового поворотного магнита (с дополнительными портами)
- ❑ Установка системы формирования нейтронного пучка

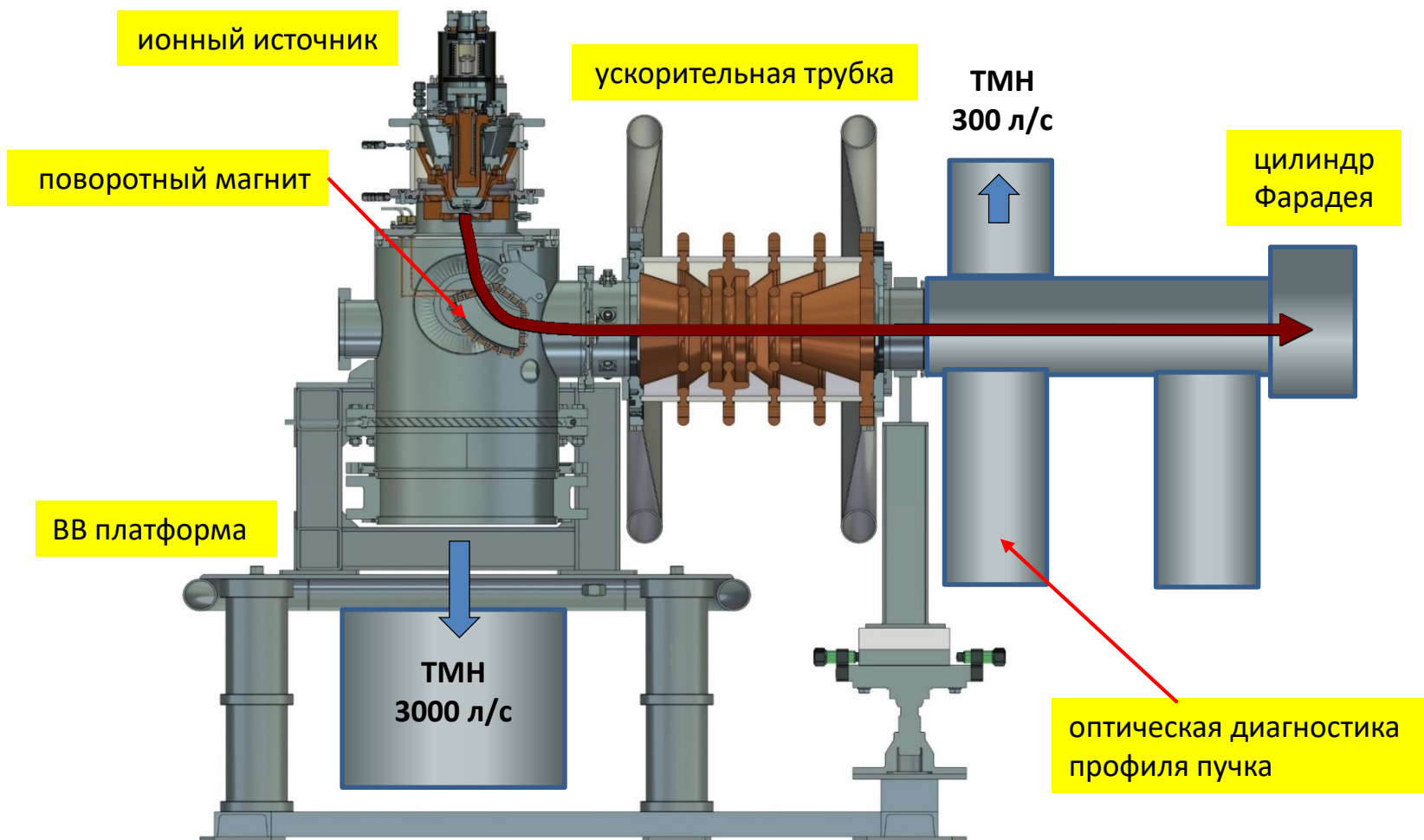
Задачи по модернизации ускорителя

- ❑ Добиться надежной работы с током протонного пучка более 5 мА (до 8-10 мА).
 - Замена ионного источника на новый с током до 15 мА
- ❑ Увеличение энергии протонного пучка до 2.3 МэВ
 - Замена в проходном изоляторе гладких керамических колец на гофрированные
- ❑ Установка нового поворотного магнита (с дополнительными портами)
- ❑ Установка системы формирования нейтронного пучка

- ❑ Перспективные разработки
 - Новый низкоэнергетичный тракт с поворотом пучка и доускорением
 - Новый ЭЛВ с подачей потенциалов на электроды непосредственно от секций выпрямителя

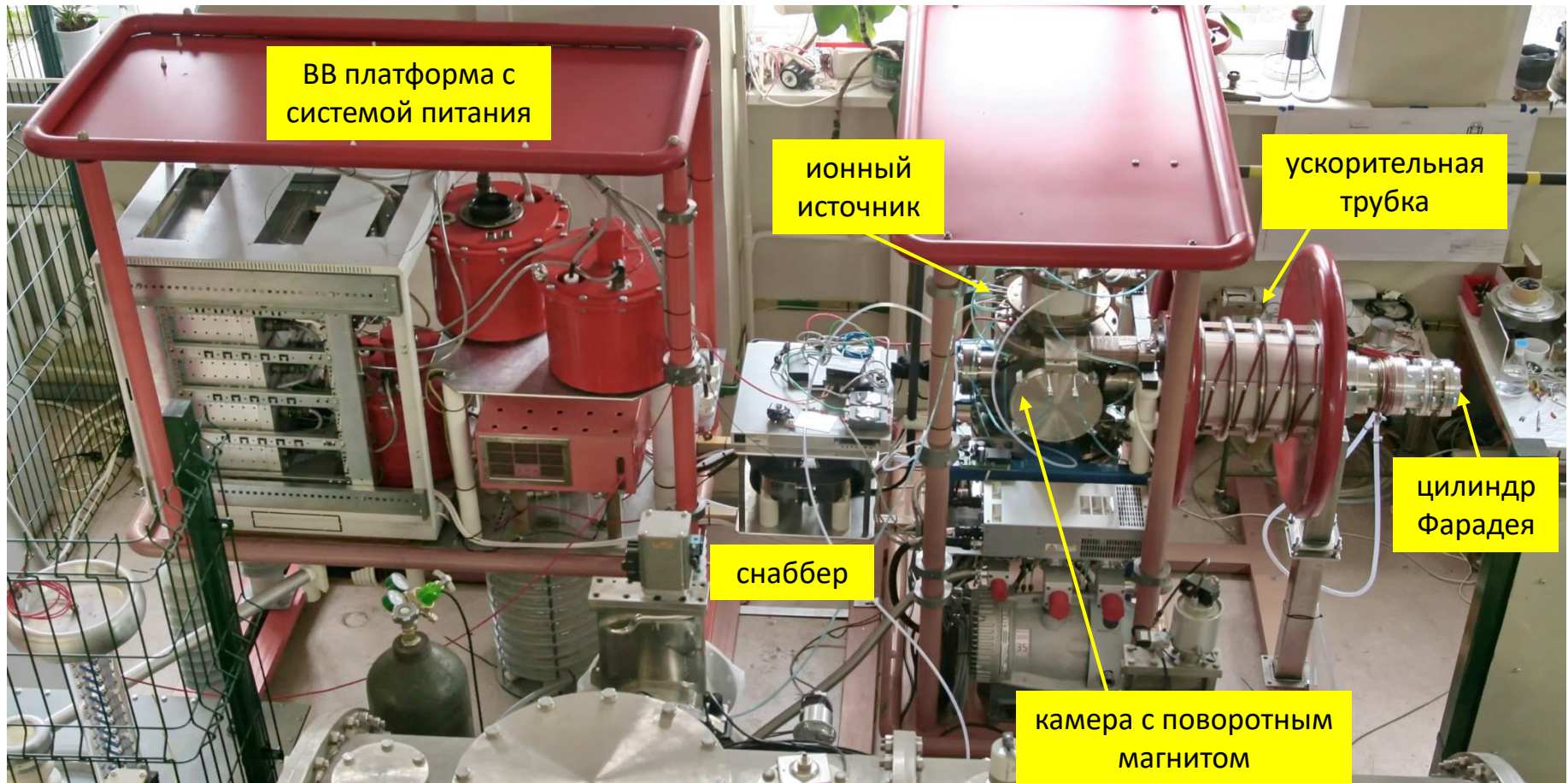
Низкоэнергетичный тракт с поворотом пучка и доускорением

- ❑ В ионном источнике получен пучок H^- с током 14.5 мА и энергией 33 кэВ
- ❑ Пучок повернут на 90° и доускорен до энергии 133 кэВ



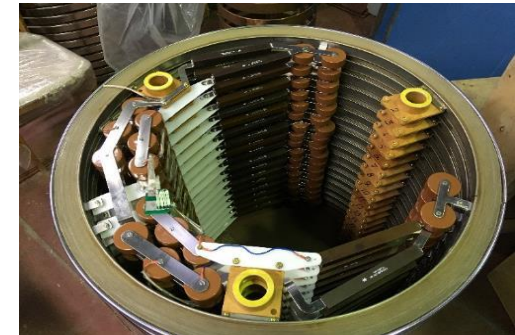
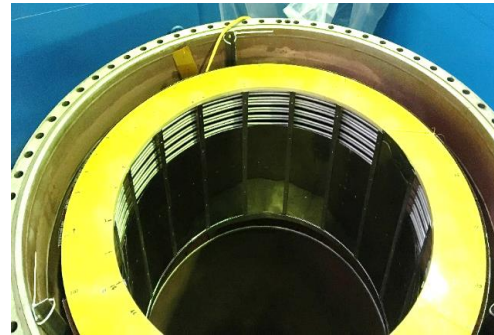
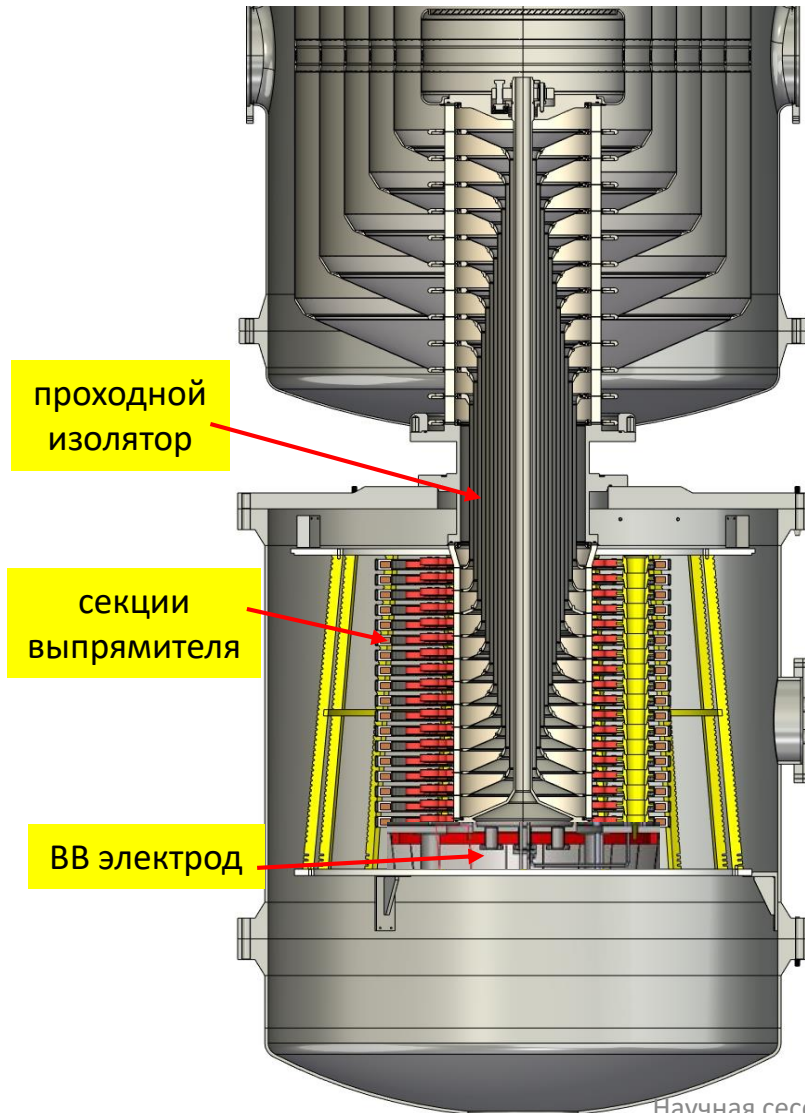
Низкоэнергетичный тракт с поворотом пучка и доускорением

- ❑ В ионном источнике получен пучок H^- с током 14.5 мА и энергией 33 кэВ
- ❑ Пучок повернут на 90° и доускорен до энергии 133 кэВ



ЭЛВ с подачей потенциалов на электроды с секций выпрямителя

- ❑ Источник питания испытан на стенде при напряжении 1.2 МВ (max. 1.3 МВ)
(будет испытан на ускорителе для Китая)



Совместные научные исследования

- ❑ Облучение нейтронами опухолевых клеток, инкубированных в среде с бором, ведет к значительному подавлению их жизнеспособности. *Совместные эксперименты с Университетом Цукубы (Япония), Институтом Цитологии и Генетики СО РАН, Институтом молекулярной и клеточной биологии СО РАН.*
- ❑ На лабораторных животных с трансплантацией клеток глиобластомы показано, что БНЗТ терапия приводит к подавлению роста опухолей. *Совместные исследования с ИЦиГ СО РАН.*
- ❑ Исследовано образование блистеров при поглощении 2 МэВ протонов в металлах, как подложках для литиевого слоя в нейтроногенерирующей мишени. *Совместно с Институтом науки и технологий Окинавы (Япония).*

Ускорительный источник нейтронов для Китая

- ❑ ИЯФ и компания TAE (США) совместно разрабатывают нейтронный источник для клиники в Китай.
- ❑ Подготовлен 3 бункер в 18 здании для сборки и запуска ускорителя.



Спасибо за внимание!

Ускорительные источники нейтронов для БНЗТ

- **C-BENS** – Cyclotron Based Epithermal Neutron Source (KURRI), циклотрон HM-30 : ускорение ионов H-, обдирка на фольге: протоны 30 МэВ, 1.1 мА + Be мишень, Sumitomo Heavy Industries, Ltd. (Университет Киото, Япония)
- **C-BENS** – Southern TOHOKU General Hospital, Fukushima, Japan
- **iBNCT** – RFQ+DTL линак: 8 МэВ, 5 мА + Be мишень – клиника Университета Цукуба, KEK, Mitsubishi Heavy Industry Co. (Япония)
- **NUANS** – Nagoya University Accelerator-driven-Neutron Source - протонный ускоритель Динамитрон IBA(Бельгия): 2,8 МэВ, 15 мА + Li или Be мишени – Университет Нагои (Япония)
- **NCC-CICS** – National Cancer Center - Cancer Intelligence Care Systems - RFQ линак: 2.5 МэВ 20 (10) мА + Li (Pa) мишень – Национальный онкологический центр в Токио (Япония)
- **TESQ** (Tandem-Electrostatic-Quadrupole Accelerator): 2.5 МэВ, 30 мА, разрабатывается (Аргентина)
- **Динамитрон** - протонный ускоритель: 2.8 МэВ, 1.25 мА, Li мишень Университет Бирмингема (Англия)
- **VITA** – Vacuum Insulation Tandem Accelerator - ИЯФ СО РАН
- **nuBeam** by Neutron Therapeutics (США) + Helsinki University Central Hospital (Финляндия). **Hyperion™** – протонный ускоритель: 2.6 МэВ, 30 мА, Li мишень.