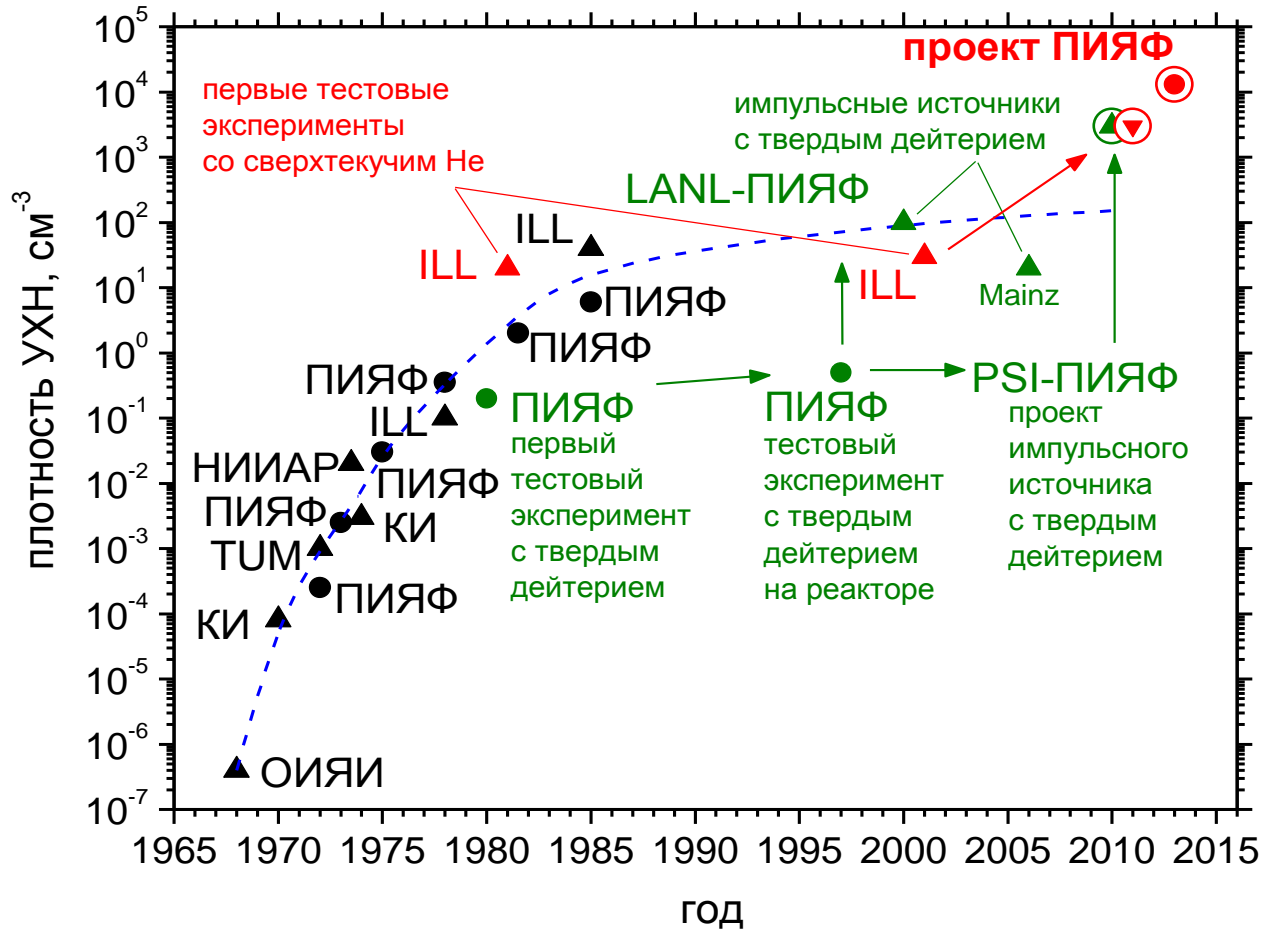


**Источник ультрахолодных нейтронов на основе сверхтекучего гелия
на реакторе ВВР-М**

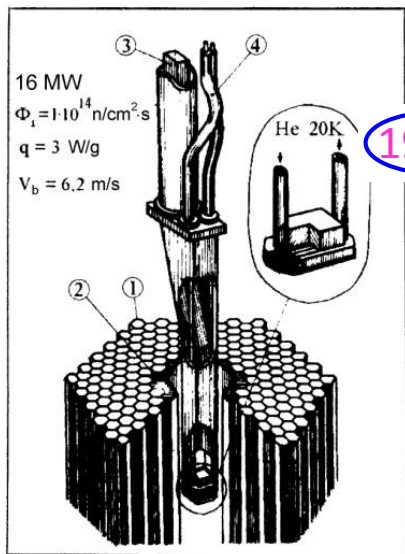
А.П. Серебров

IV Школа по физике поляризованных нейтронов
17 - 18 декабря 2015 года Гатчина, Орлова Роща, НИЦ КИ ПИЯФ

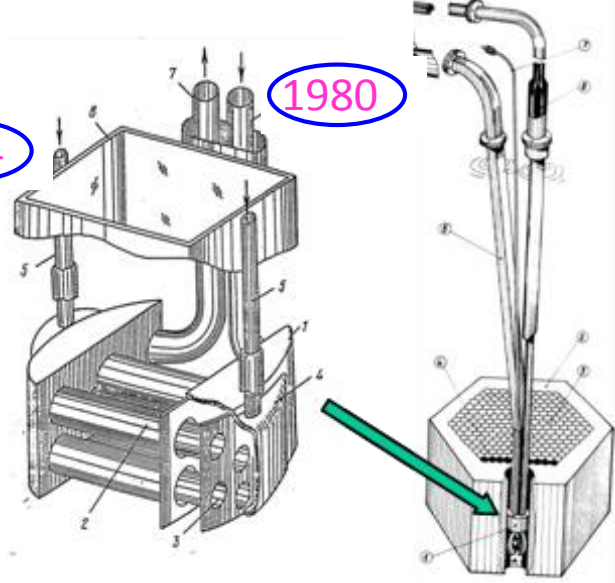
Немного Истории



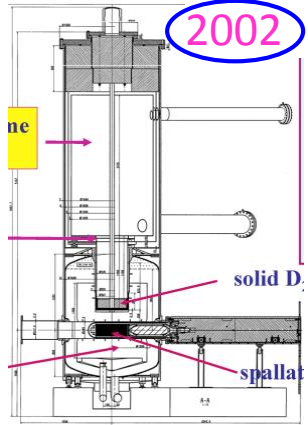
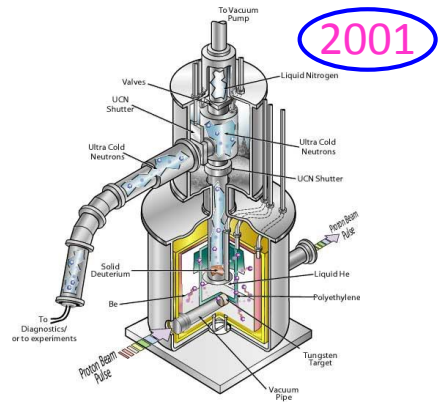
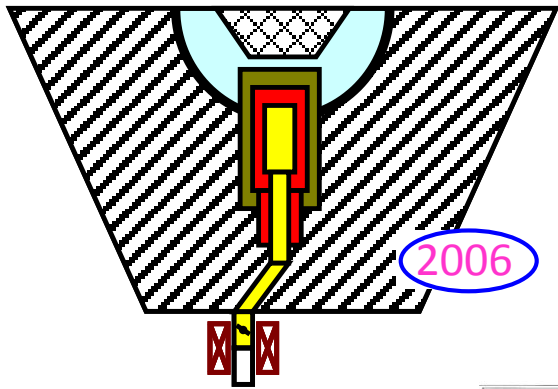
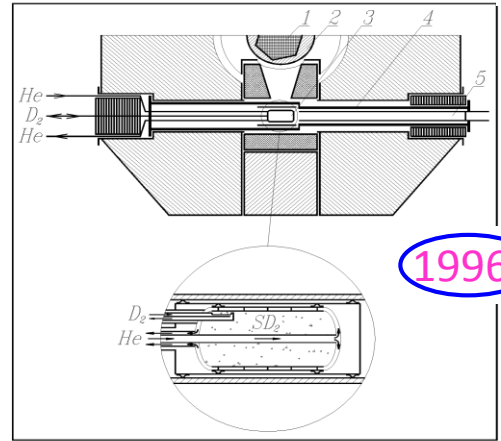
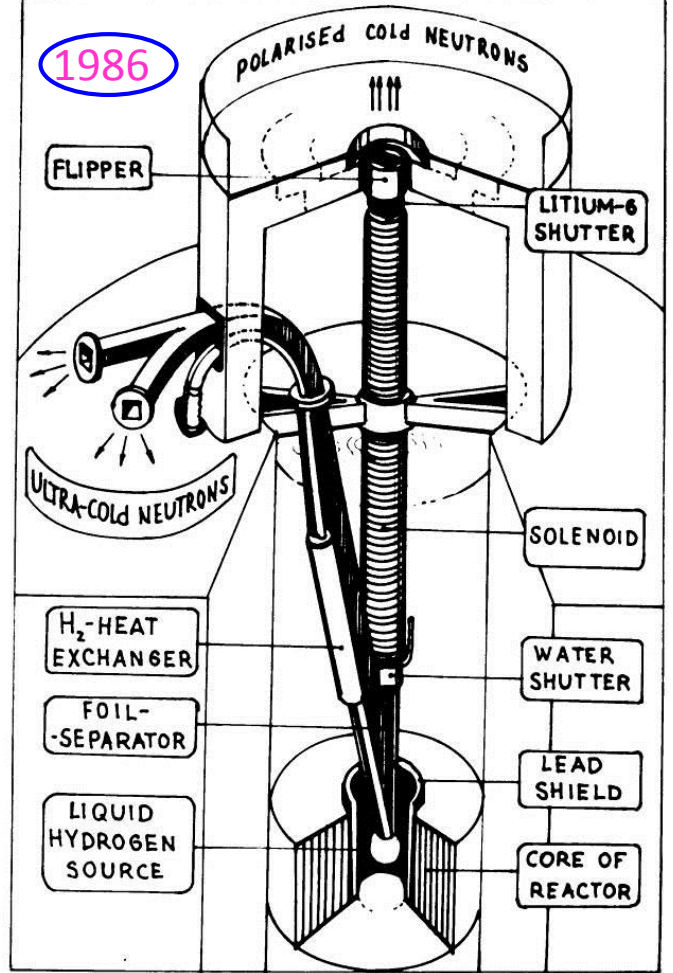
Прогресс в развитии источников УХН. Последняя точка этой диаграммы относится к проектным параметрам нового источника на реакторе ВВР-М ПИЯФ на основе сверхтекучего гелия, где указана возможная плотность УХН в ловушке ЭДМ спектрометра. Другими кружками с треугольниками внутри отмечены: проект на основе твердого дейтерия в Швейцарии в PSI (пока интенсивность на два порядка величины меньше ожидаемой) и проект в ИЛЛ на основе сверхтекучего гелия и магнитной ловушки УХН (стадия тестовых экспериментов).



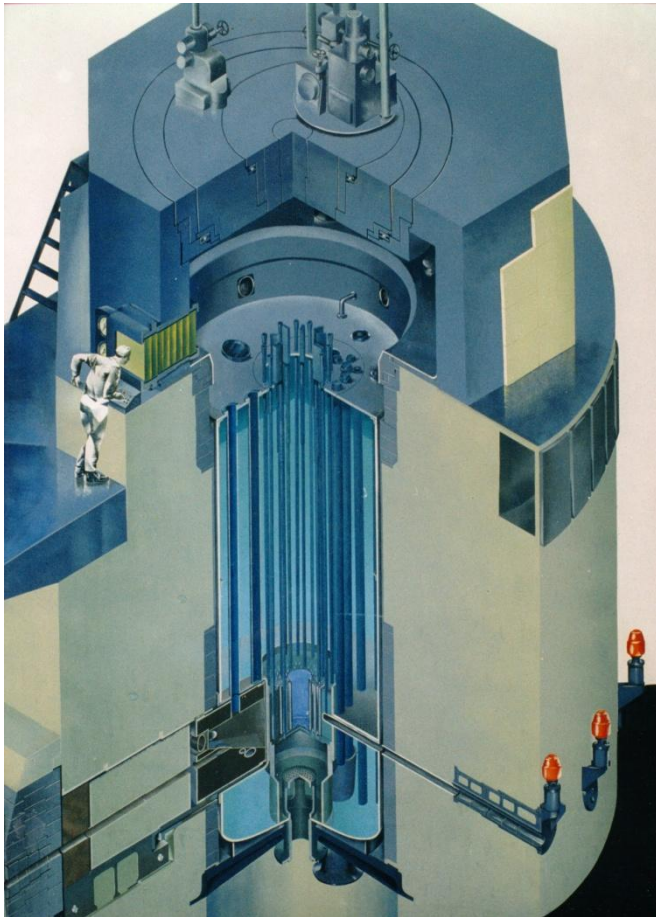
1974



1980



Перспективы



Срок действия лицензии на эксплуатацию реактора – 31.12.2015 г.

Ресурс основных элементов реактора обеспечивает его дальнейшую эксплуатацию в течение 25 лет.

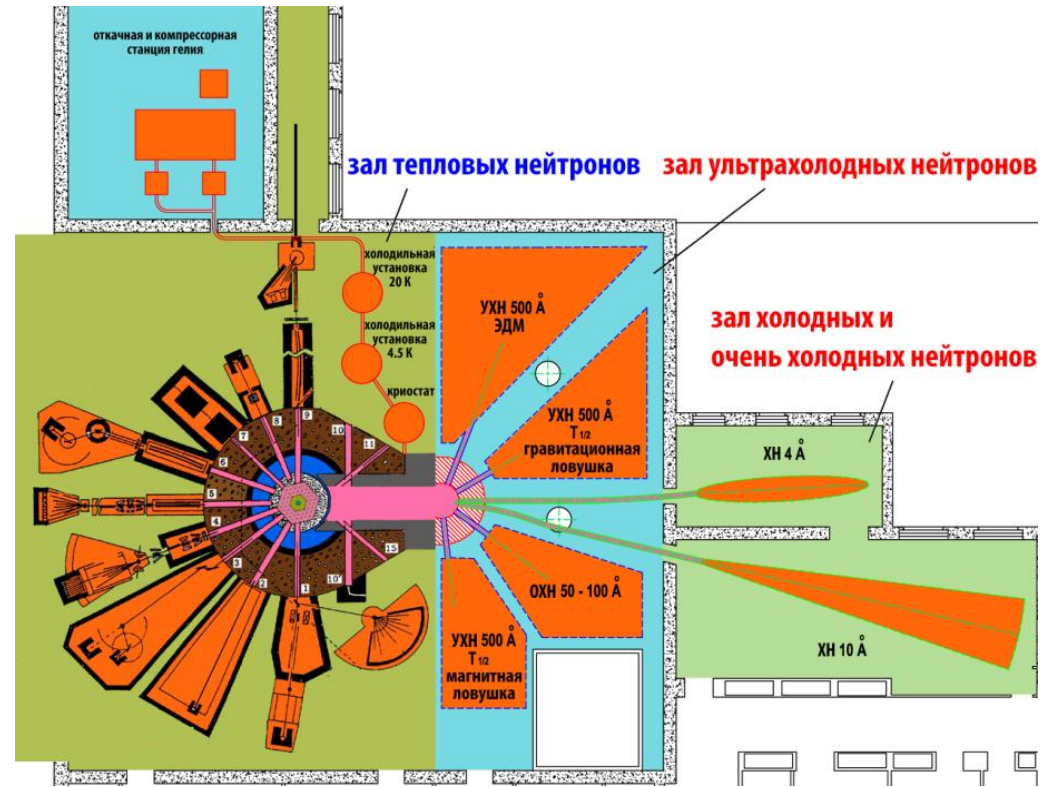


Схема экспериментальных установок на реакторе ВВР-М после установки в тепловой колонне реактора источника ультрахолодных нейтронов со сверхтекучим гелием при температуре 1.2 К.

На чём основана идея нового источника?

Рассеяние нейтронов в жидком гелии

И.Я.Померанчук
“Избранные труды”



О РАССЕЯНИИ НЕЙТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ НЕСКОЛЬКО ГРАДУСОВ В ЖИДКОМ ГЕЛИИ II *

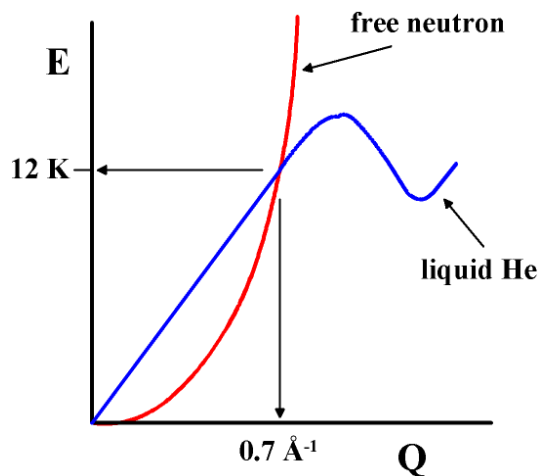
Совместно с А. Ахиезером

Рассматривается рассеяние медленных нейтронов в гелии II. Принято, что спектр энергии гелия II имеет вид, даваемый теорией Ландау. Доказывается, что при температурах ниже, чем температура точки перехода, рассеяние ничтожно мало.

* ЖЭТФ, 1946, 16, 391; J. Phys. USSR, 1945, 9, 461.

Суперисточник УХН на сверхтекучем He-II

R. Golub, J.M. Pendlebury, Phys. Lett. A 62 (1977) 337



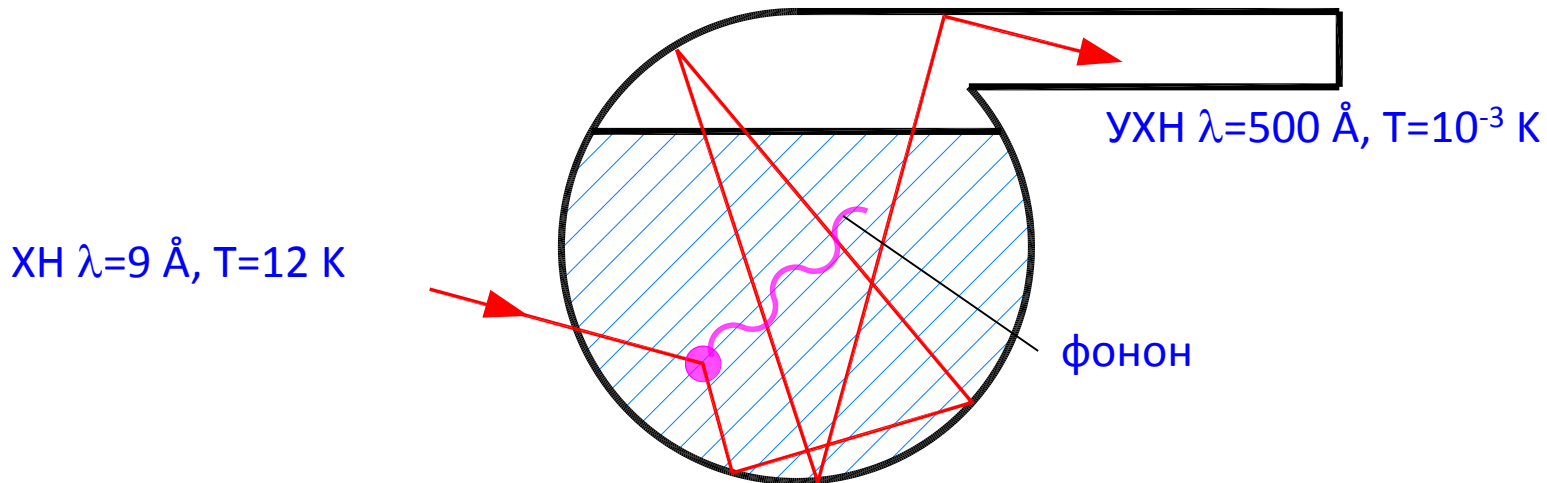
$$E_{\text{нач}} = 12 \text{ K} \rightarrow E_{\text{УХН}} \approx 10^{-3} \text{ K}$$

$$\lambda = 9 \text{ \AA}$$

Принцип работы источника

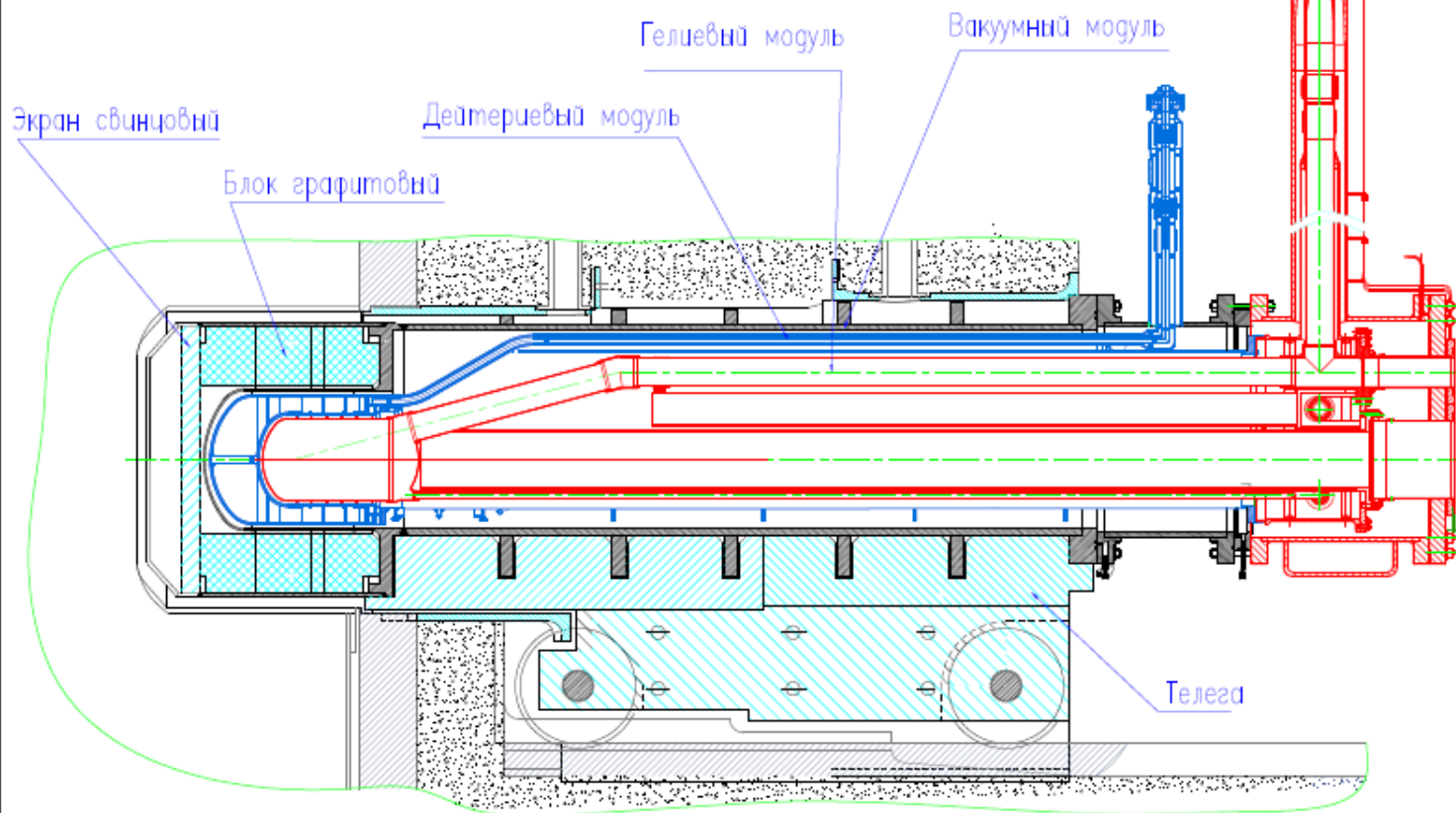
Ультрахолодные нейтроны “рождаются” в гелии из холодных нейтронов с длиной волны 9 \AA или энергией 12 K , которая как раз равна энергии фонона, т.е. холодный нейтрон возбуждает фонон и сам практически останавливается, становясь ультрахолодным. УХН могут “жить” в сверхтекучем гелии до поглощения фонона десятки и сотни секунд.

Холодные нейтроны (9 \AA) проникают через стенку ловушки, а ультрахолодные (500 \AA) отражаются, поэтому возможен эффект накопления УХН до плотности определяемой временем хранения в ловушке с гелием.



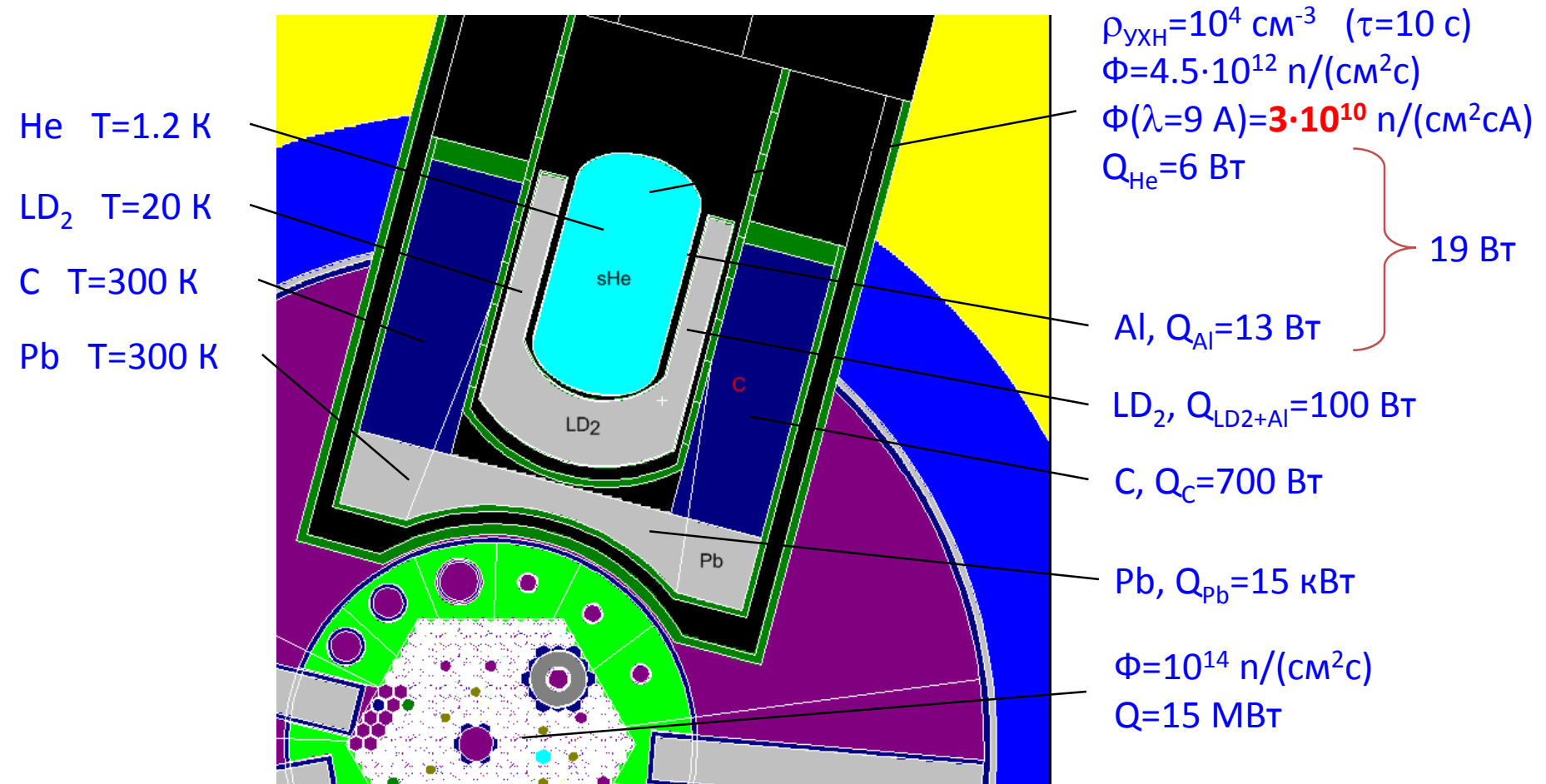
Источник УХН внутри тепловой колонны реактора ВВР-М

ЦЭТО ПИЯФ готово начать изготовление



ИД: 00.00.000005	
Исполнитель: ИИ	Л.П.
000 "ПИЯФ"	

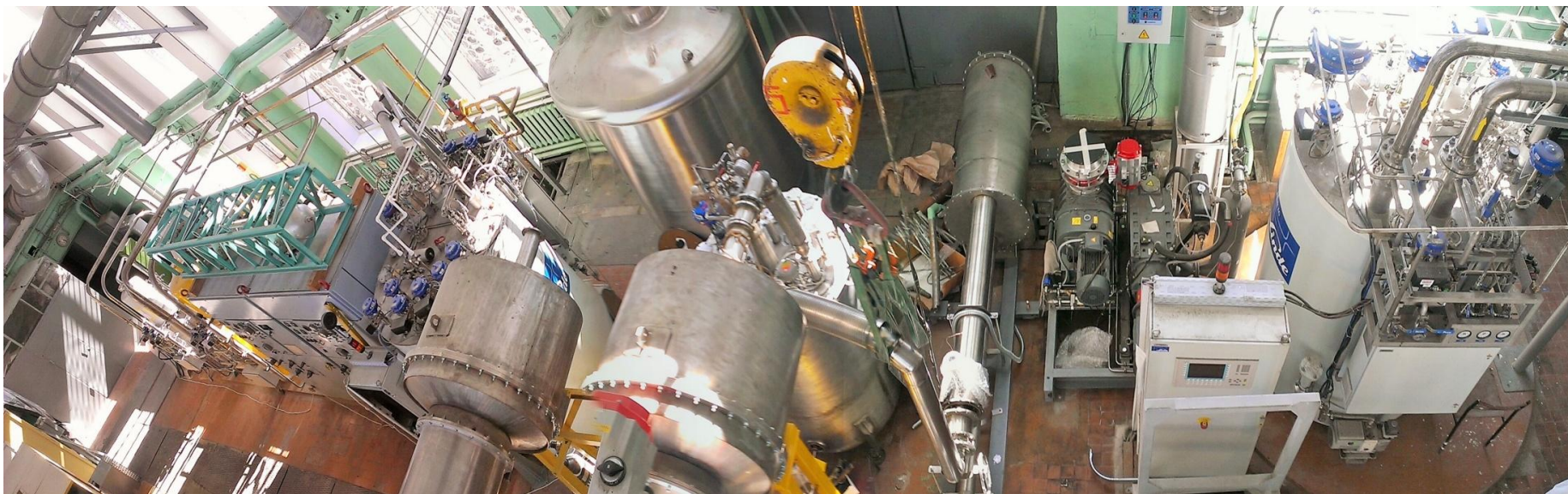
Расчеты по MCNP нейтронных потоков и тепловыделения в тепловой колонне реактора ВВР-М при мощности 15 МВт



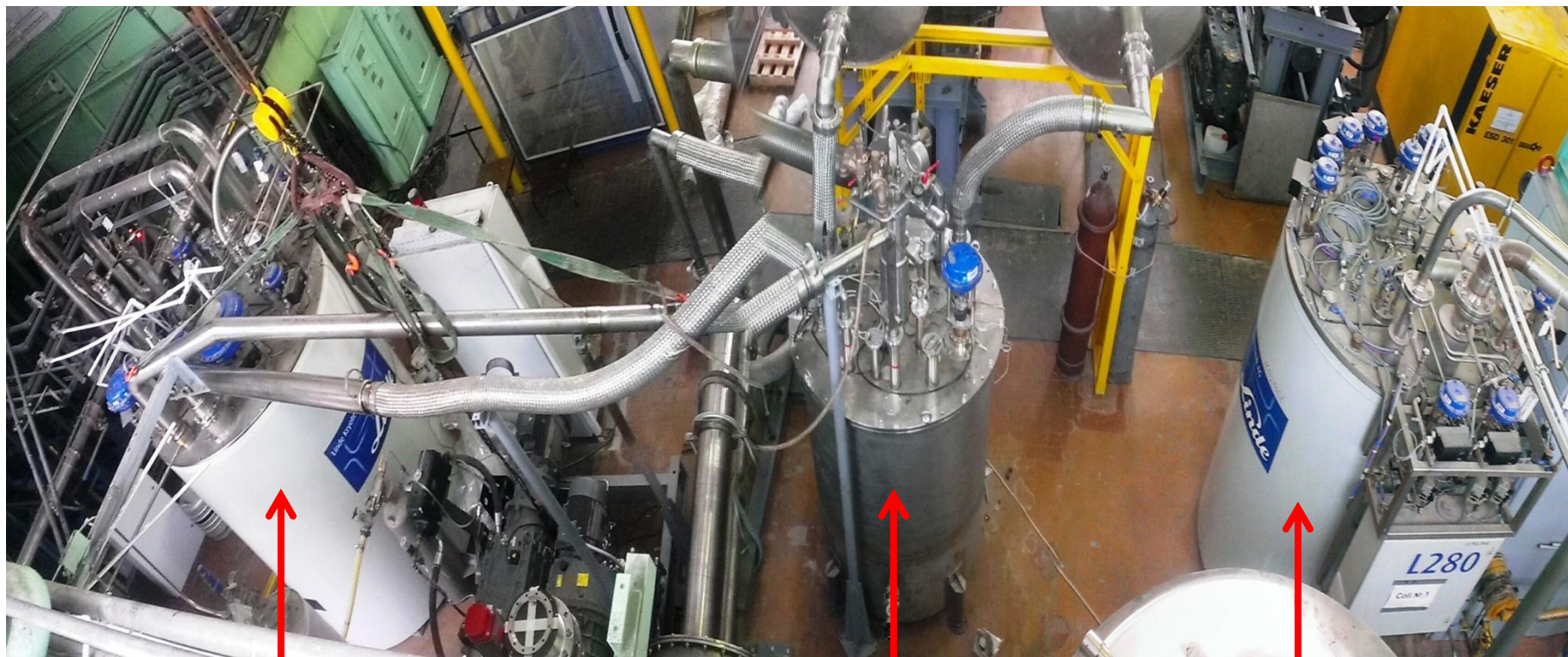
Криогенный корпус на реакторе ВВР-М
Полномасштабная технологическая модель источника ультрахолодных нейтронов со сверхтекучим гелием смонтирована



Полномасштабная технологическая модель источника ультрахолодных нейтронов со сверхтекучим гелием смонтирована



Полномасштабная технологическая модель источника ультрахолодных нейтронов со сверхтекучим гелием смонтирована



ожижитель

Криостат

рефрижератор

Первый этап взаимодействия с фирмой Linde (подготовка к пуску ожижителя)



Второй этап взаимодействия с фирмой
Linde
(пуск ожижителя)

Получено 900 литров
жидкого гелия ,
скорость ожижения
87 литров/час



**Получена температура
сверхтекучего гелия
1.08 К
в ванне криостата**

**Получена температура
сверхтекучего гелия
1.3 К
в источнике УХН при нагрузке 15 Вт**



Это важнейший результат, который демонстрирует возможность реализации проекта и возможности применения сверхтекучего гелия в атомных технологиях.

Реализация проекта со сверхтекучим гелием на реакторе ВВР-М позволит сделать в России лучший в мире источник ультрахолодных нейтронов с интенсивностью приблизительно в 100 раз больше, чем сейчас на лучшем источнике УХН в международном нейтронном центре на реакторе ИЛЛ в Гренобле. С высокоинтенсивным источником УХН реактор ВВР-М может претендовать на международный центр исследований с УХН.

**План размещения оборудования
на высокоинтенсивном источнике УХН
реактора ВВРМ-М НИЦ КИ**

Комплекс экспериментальных установок на источнике УХН реактора ВВР-М

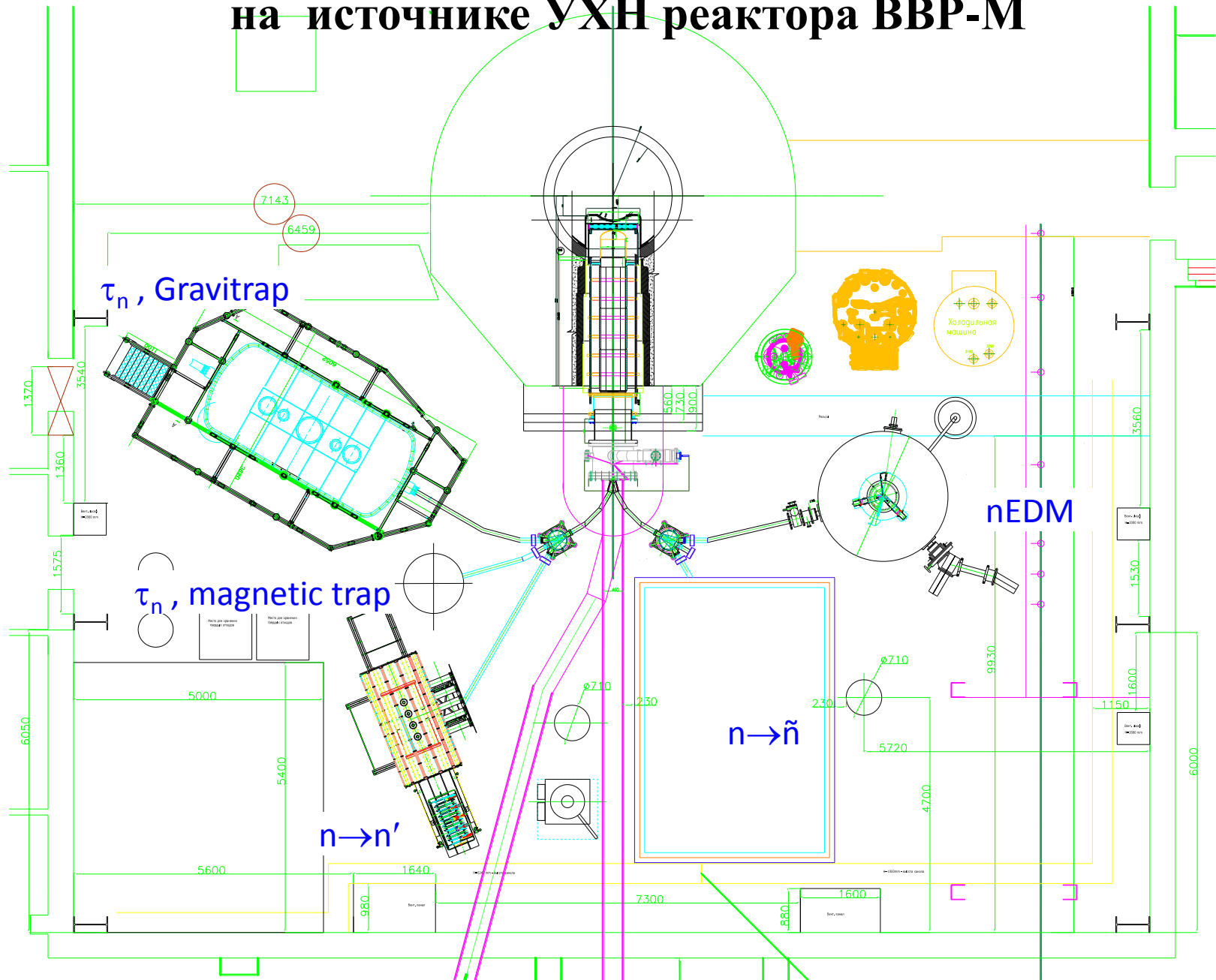


Схема нейтроноводной системы УХН

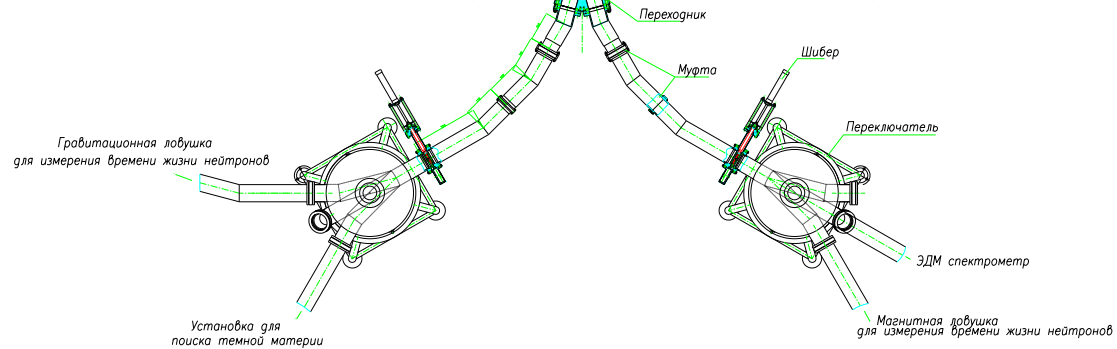
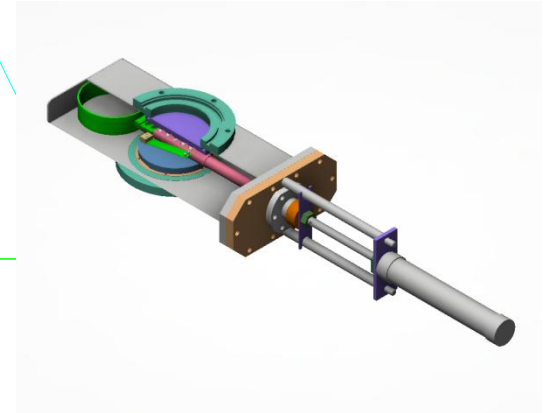
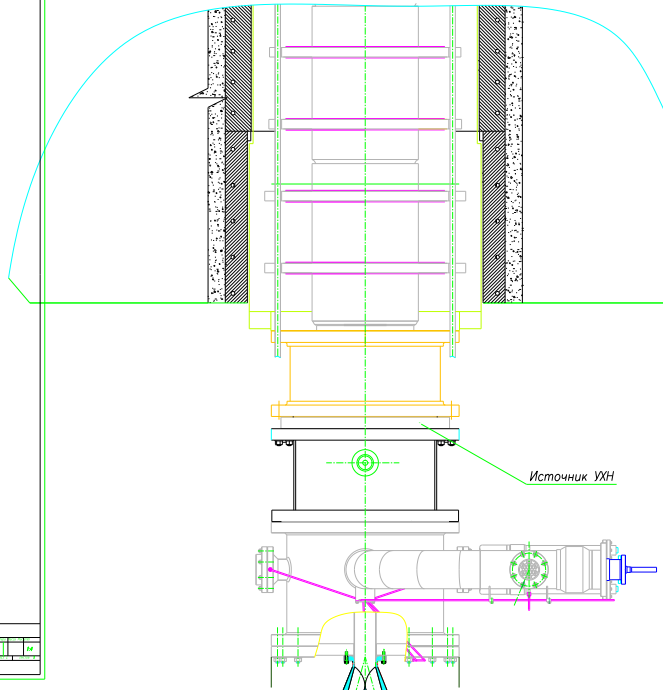
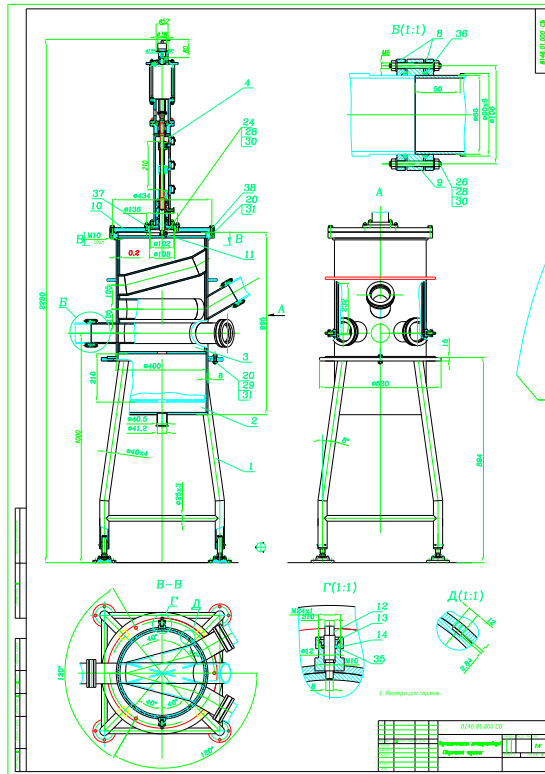
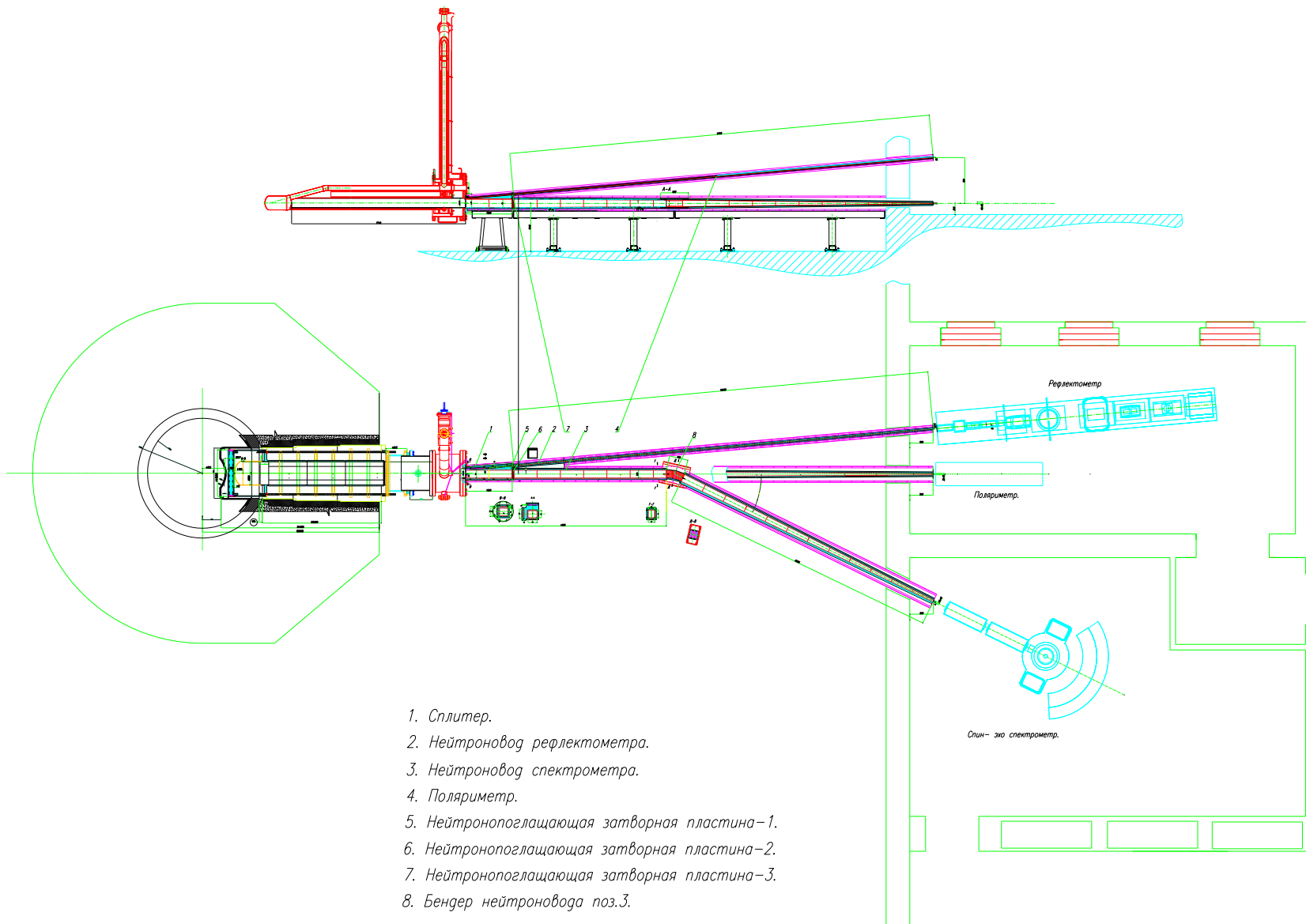
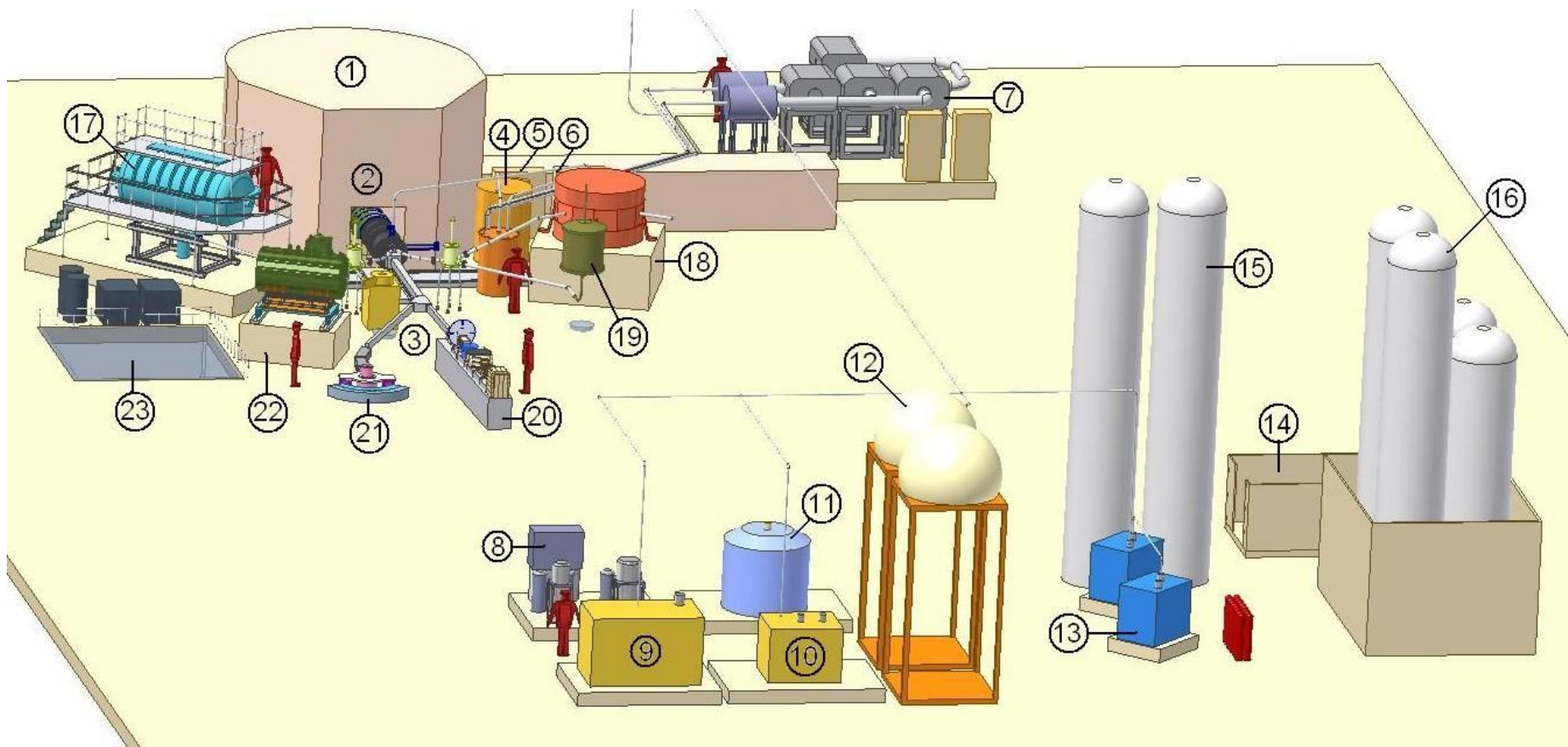


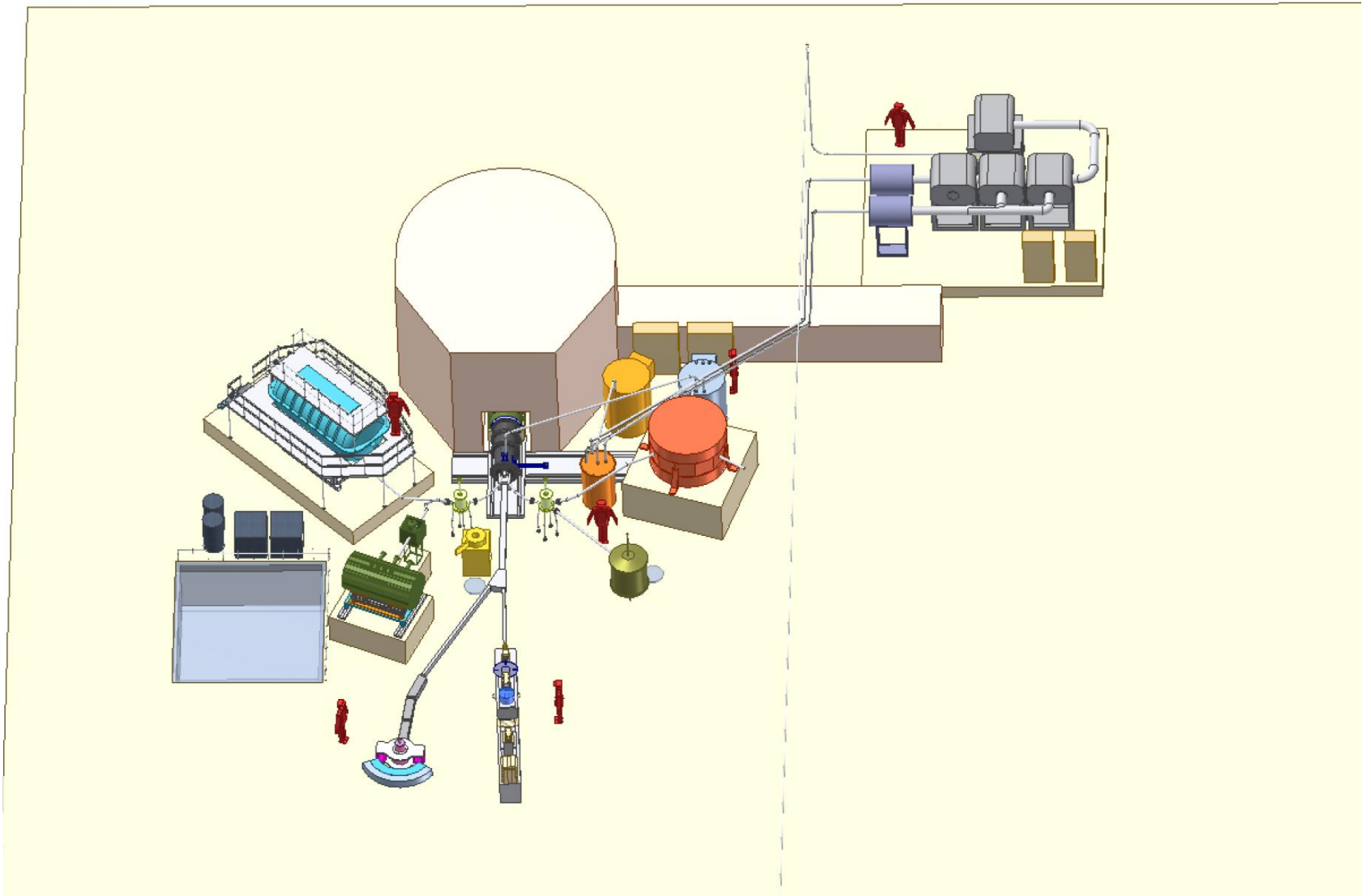
Схема нейтронной системы очень холодных нейтронов и холодных нейтронов

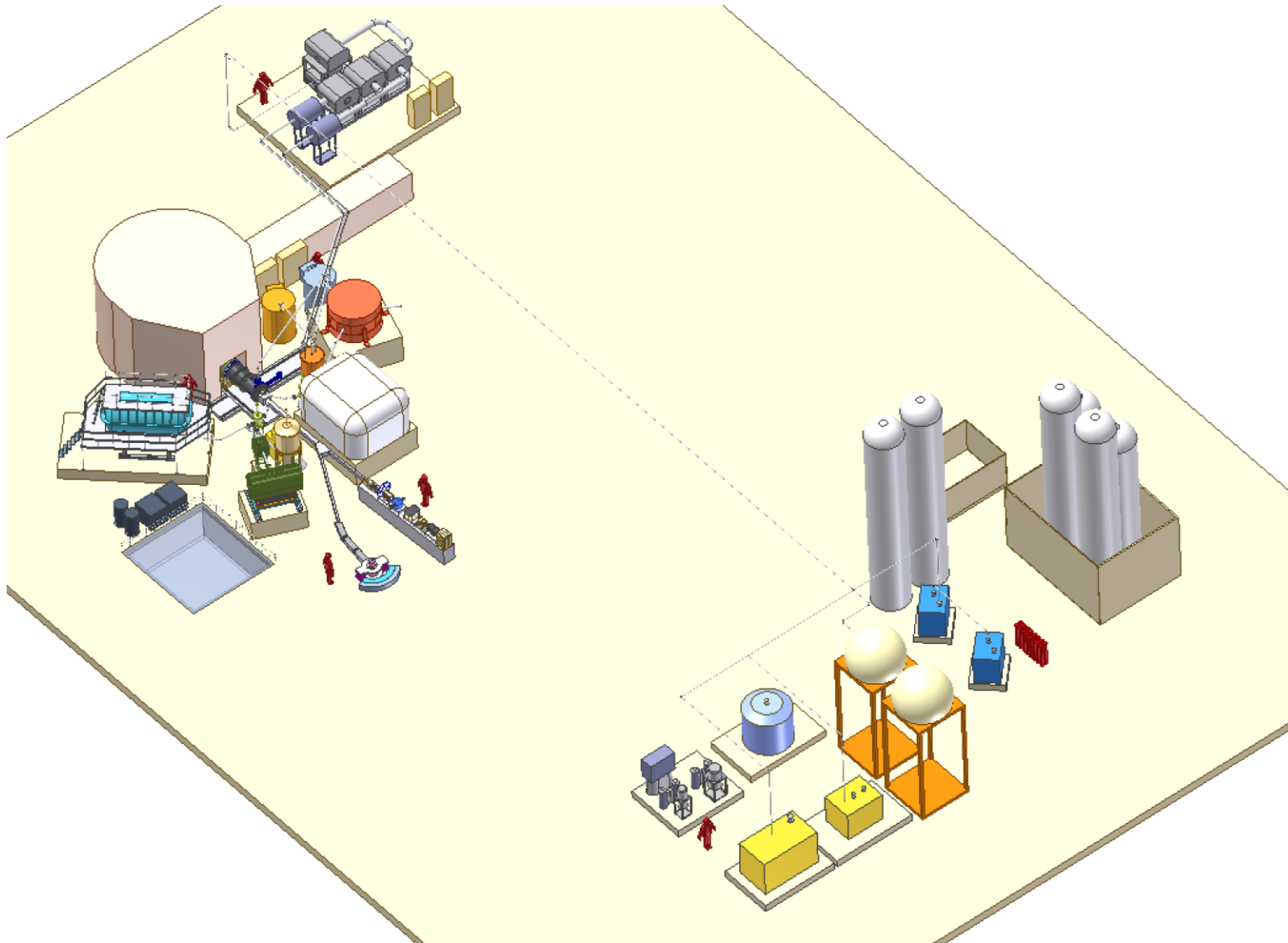


Комплекс имеющегося оборудования для источника УХН на реакторе ВВР-М и комплекс имеющихся экспериментальных установок.



1. Реактор ВВР-М. **2.** Внутриканальная часть источника УХН в тепловой колонне реактора. **3.** Нейтронотводная система. **4.** Криостат для сверхтекучего гелия. **5.** Не-рефрижератор на 15К. **6.** Не-ожижитель. **7.** Система вакуумной откачки. **8.** Блок очистки Не. **9.** Компрессор рефрижератора. **10.** Компрессор Не-ожижителя. **11.** Не-дьюар. **12.** Не-газгольдер. **13.** Компрессоры заправки Не в баллоны. **14.** Баллонная. **15.** Не-ресиверы. **16.** Дейтериевые ресиверы. **17.** Гравитационная ловушка для измерения времени жизни нейтрона. **18.** ЭДМ спектрометр. **19.** Магнитная ловушка для измерения времени жизни нейтрона. **20.** Рефлектометр. **21.** Спин-эхо спектрометр с ОХН. **22.** Установка для поиска зеркальной темной материи. **23.** Пандус реактора ВВР-М.





**Научная программа исследований на
высокоинтенсивном источнике УХН
реактора ВВРМ-М НИЦ КИ
по физике фундаментальных
взаимодействий**

Барионная асимметрия Вселенной, проблема нарушения временной инвариантности и теорема А.Д.Сахарова.

Baryon Asymmetry in our Universe

Electroweak SM
expectation:

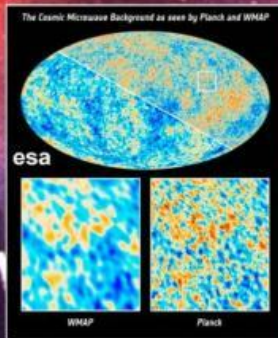
$$\frac{n_B - n_{\bar{B}}}{n_\gamma} \approx 10^{-18}$$

vs.

Observed*:

$$\frac{n_B - n_{\bar{B}}}{n_\gamma} \approx 6 \times 10^{-10}$$

Connection between Cosmology and SM of Particle Physics !



Sakharov criteria for Baryogenesis
in the-early universe:

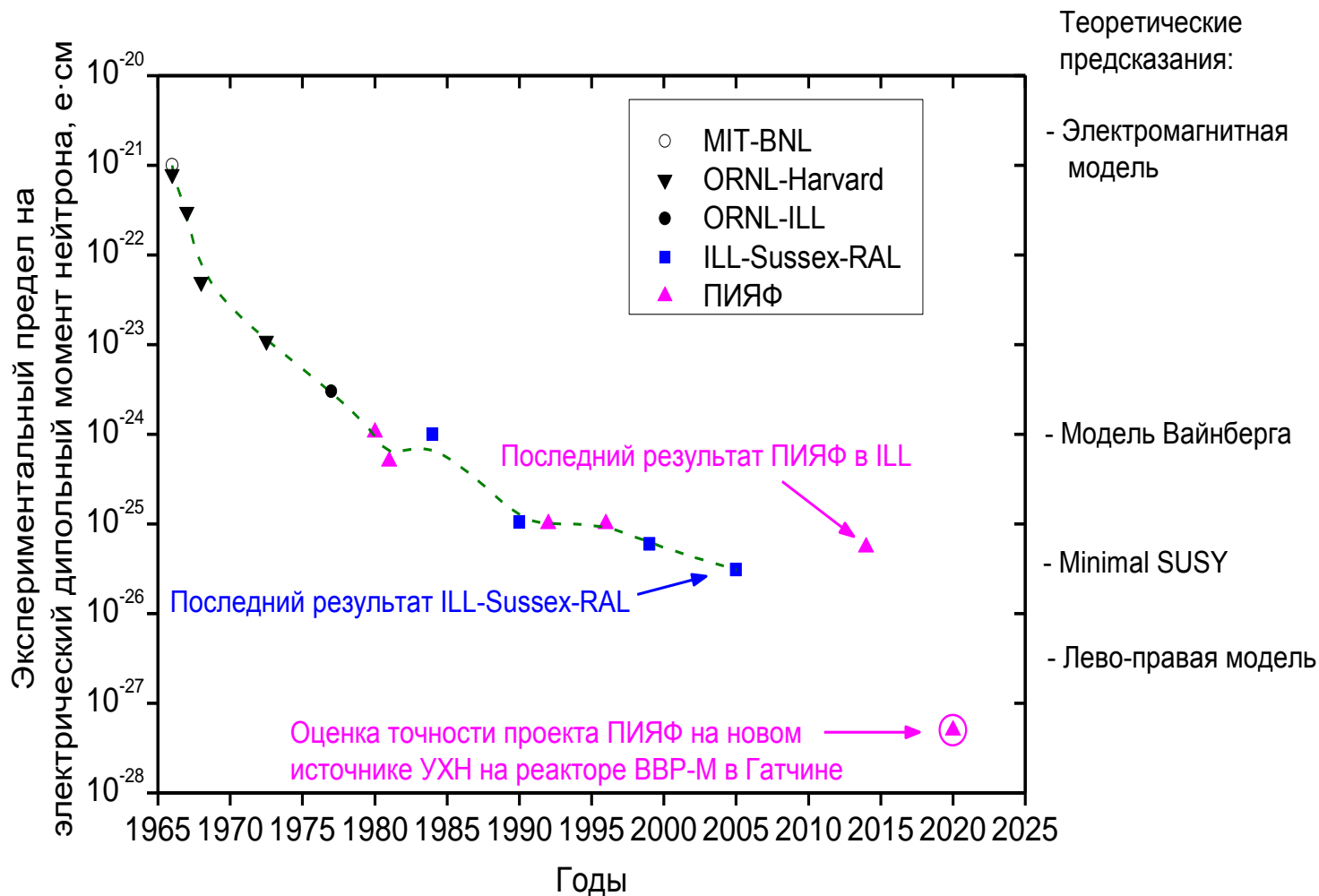
1. *Baryon number violation*
2. *C and CP violation*
3. *Thermal non-equilibrium*

JETP Lett. 5, 24 (1967)



* e.g. WMAP, COBE, Planck

История понижения экспериментального предела на ЭДМ нейтрона и перспективы увеличения точности в ПИЯФ НИЦ КИ на новом источнике и УХН на реакторе ВВР-М



Проекты и научные центры, нацеленные на поиск ЭДМ нейтрона



**TRIUMF (Vancouver) – LANL (Los Alamos) – SNS (Oak Ridge) – RAL (Oxford) – ILL (Grenoble) –
PSI (Villigen) – FRM2/TUM (Munich) – PNPI/PIK (St. Petersburg) – RCNP (Osaka) – ...**

Подготовка экспериментальной аппаратуры на реакторе ИЛЛ



Общий вид дифференциального спектрометра ПИЯФ в экспериментальном зале ИЛЛ.



Завершение монтажа большой гравитационной ловушки.

Подготовка экспериментальной аппаратуры на реакторе ИЛЛ

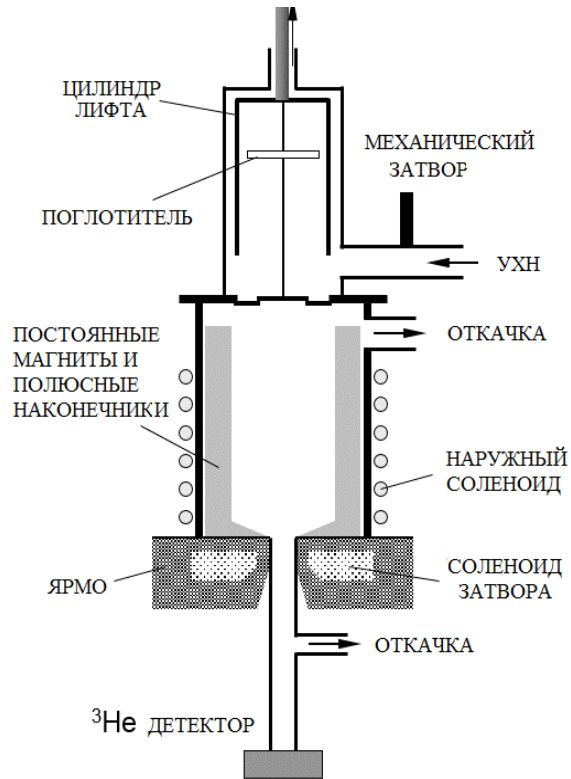


Схема магнитной ловушки и первый этап подготовки измерений.

Подготовка экспериментальной аппаратуры на реакторе ИЛЛ

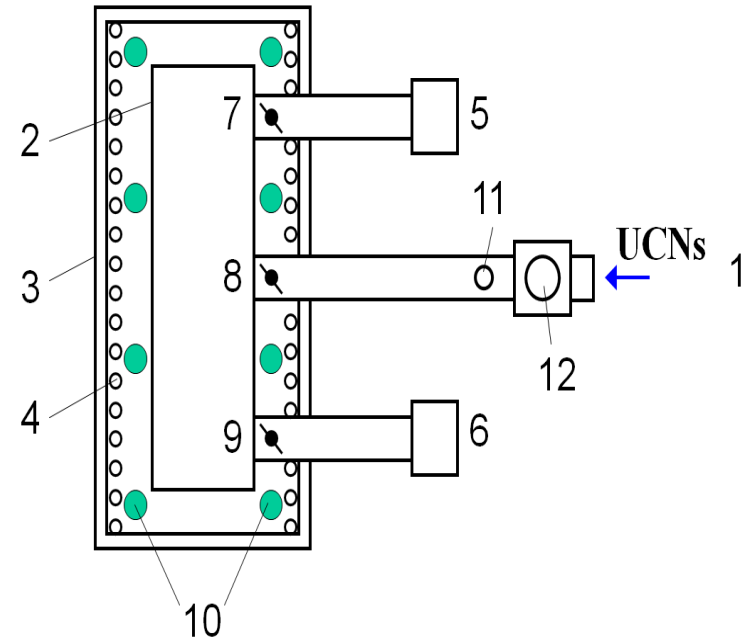
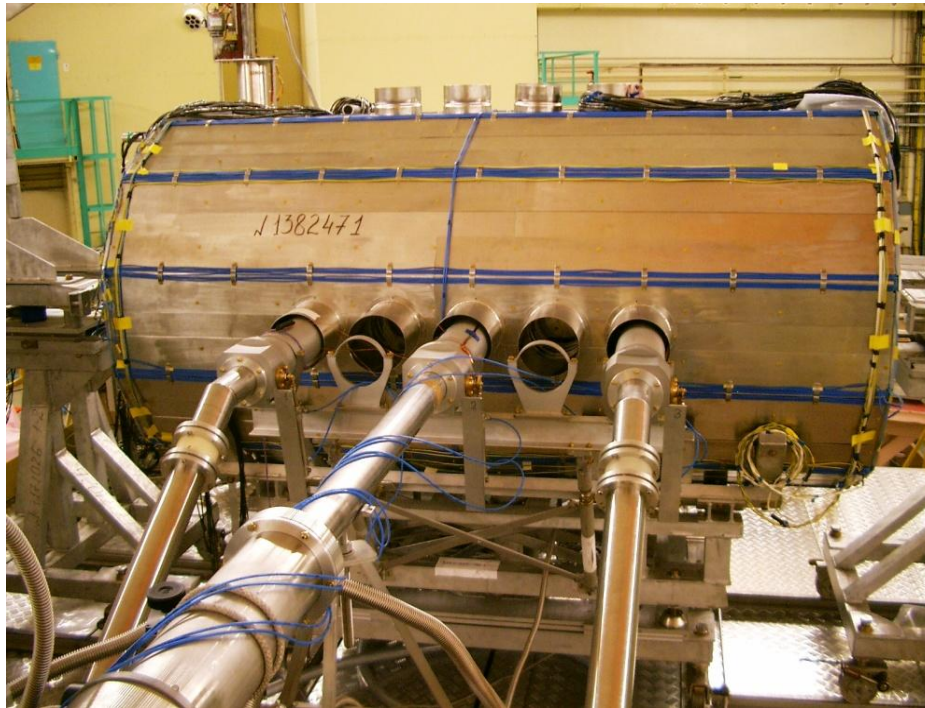
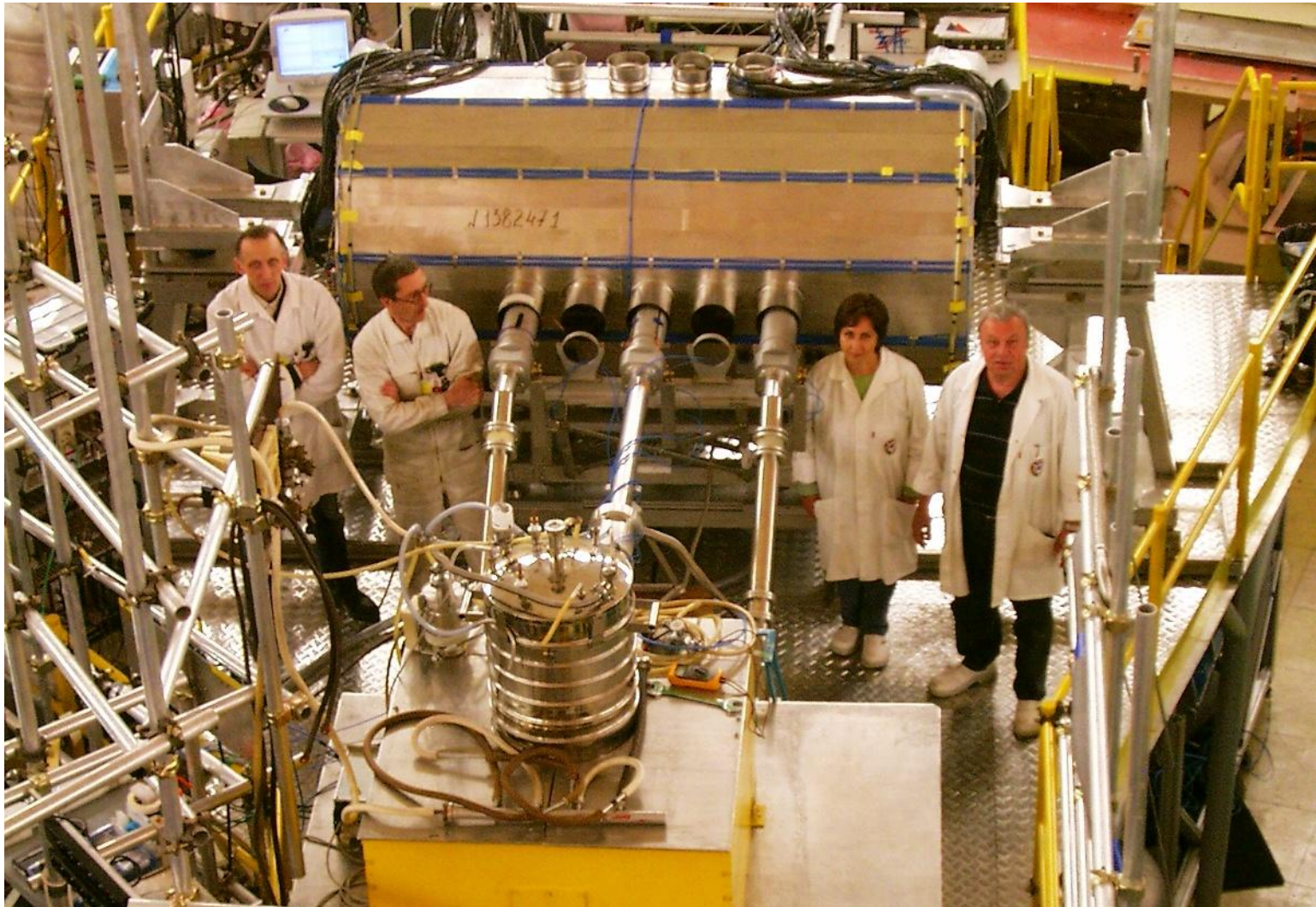


Схема установки для осцилляций нейтрон - зеркальный нейтрон и её размещение на пучке УХН реактора ИЛЛ.
1: входной нейтроновод УХН; 2: камера хранения УХН; 3: магнитный экран; 4: соленоид; 5-6: детекторы УХН; 7-9: клапаны; 10: Cs-магнетометры, 11: мониторинг детектор, 12: входной нейтроновод.

Experimental installation search for n - n' oscillation and some members of PNPI-ILL-PTI collaboration



Dependence of V_{ud} from neutron β -decay

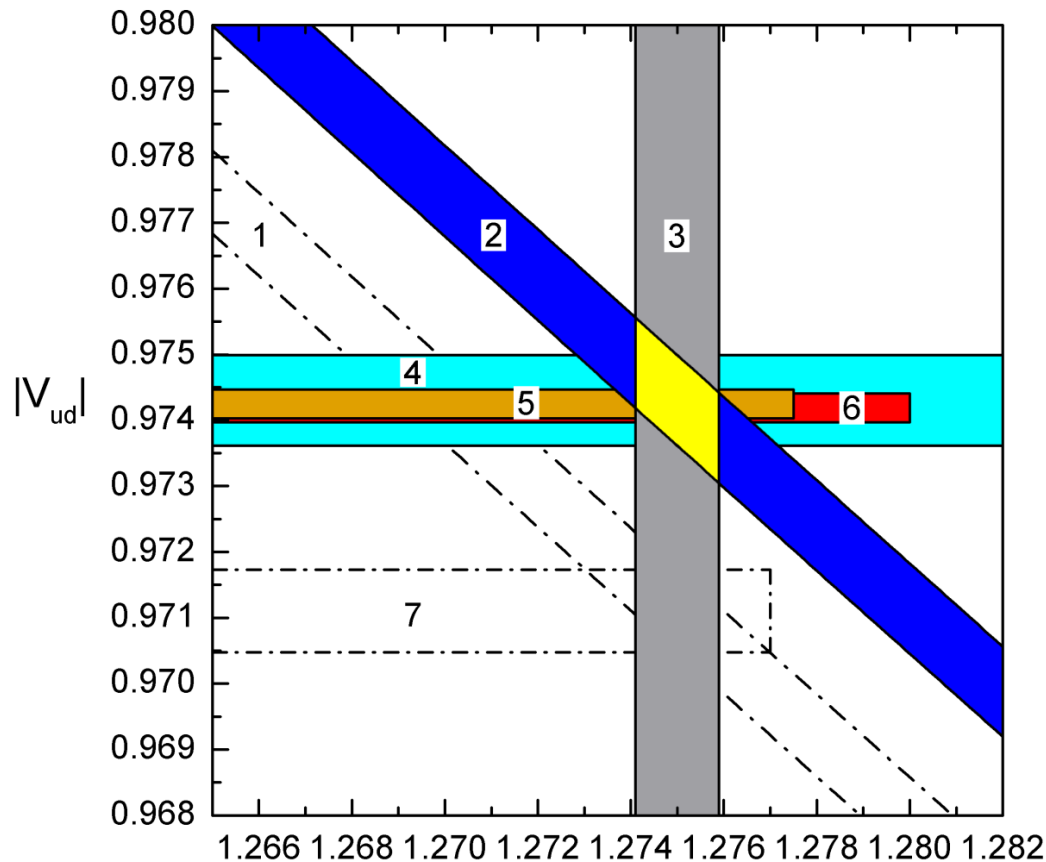
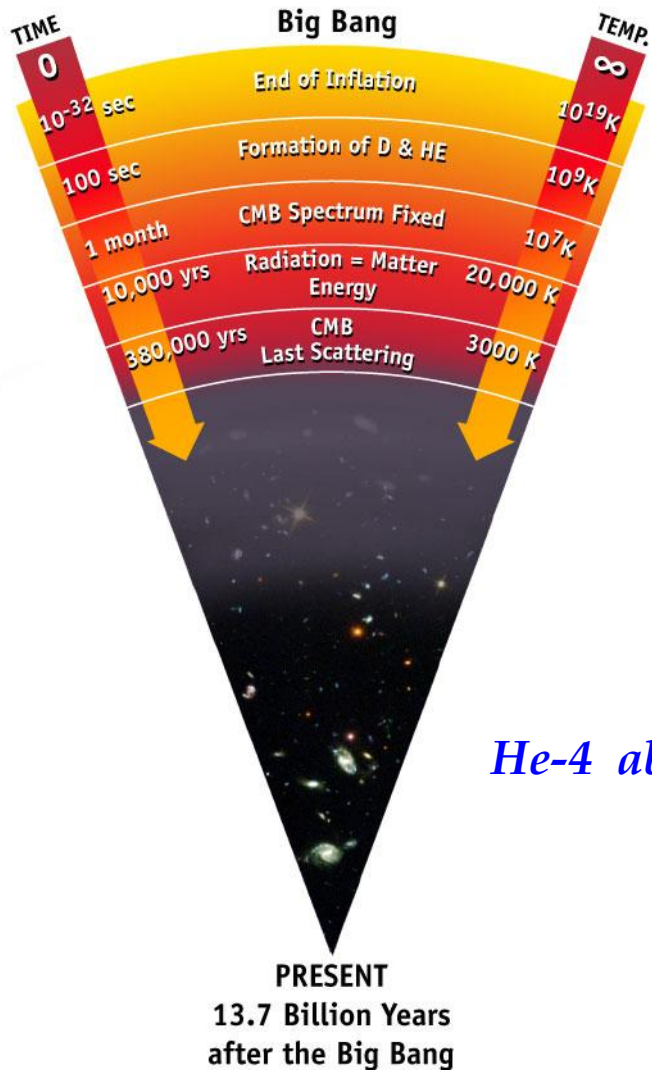
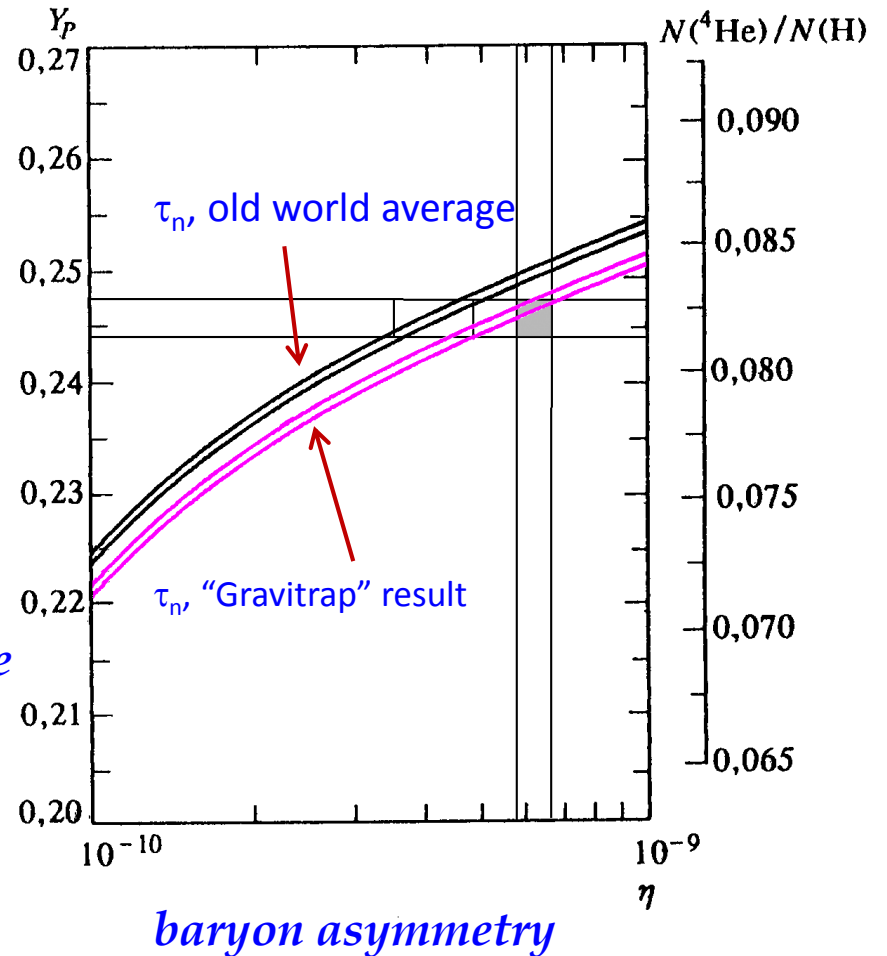


FIG. 13. Dependence of the CKM matrix element $|V_{ud}|$ on the values of the neutron lifetime and the axial coupling constant g_A . (1) Neutron lifetime (PDG 2006); (2) neutron lifetime (this article); (3) neutron β asymmetry (Perkeo 2007); (4) neutron β decay (this article + Perkeo 2007); (5) unitarity; (6) $0^+ \rightarrow 0^+$ nuclear transitions; (7) neutron β decay (PDG 2006 + Perkeo 2007).

Neutron lifetime and baryon asymmetry of the Universe



He-4 abundance



Барионная асимметрия Вселенной, проблема нарушения временной инвариантности и теорема А.Д.Сахарова.

Baryon Asymmetry in our Universe

Electroweak SM
expectation:

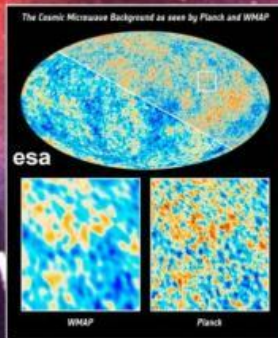
$$\frac{n_B - n_{\bar{B}}}{n_\gamma} \approx 10^{-18}$$

vs.

Observed*:

$$\frac{n_B - n_{\bar{B}}}{n_\gamma} \approx 6 \times 10^{-10}$$

Connection between Cosmology and SM of Particle Physics !



Sakharov criteria for Baryogenesis
in the-early universe:

1. *Baryon number violation*
2. *C and CP violation*
3. *Thermal non-equilibrium*

JETP Lett. 5, 24 (1967)



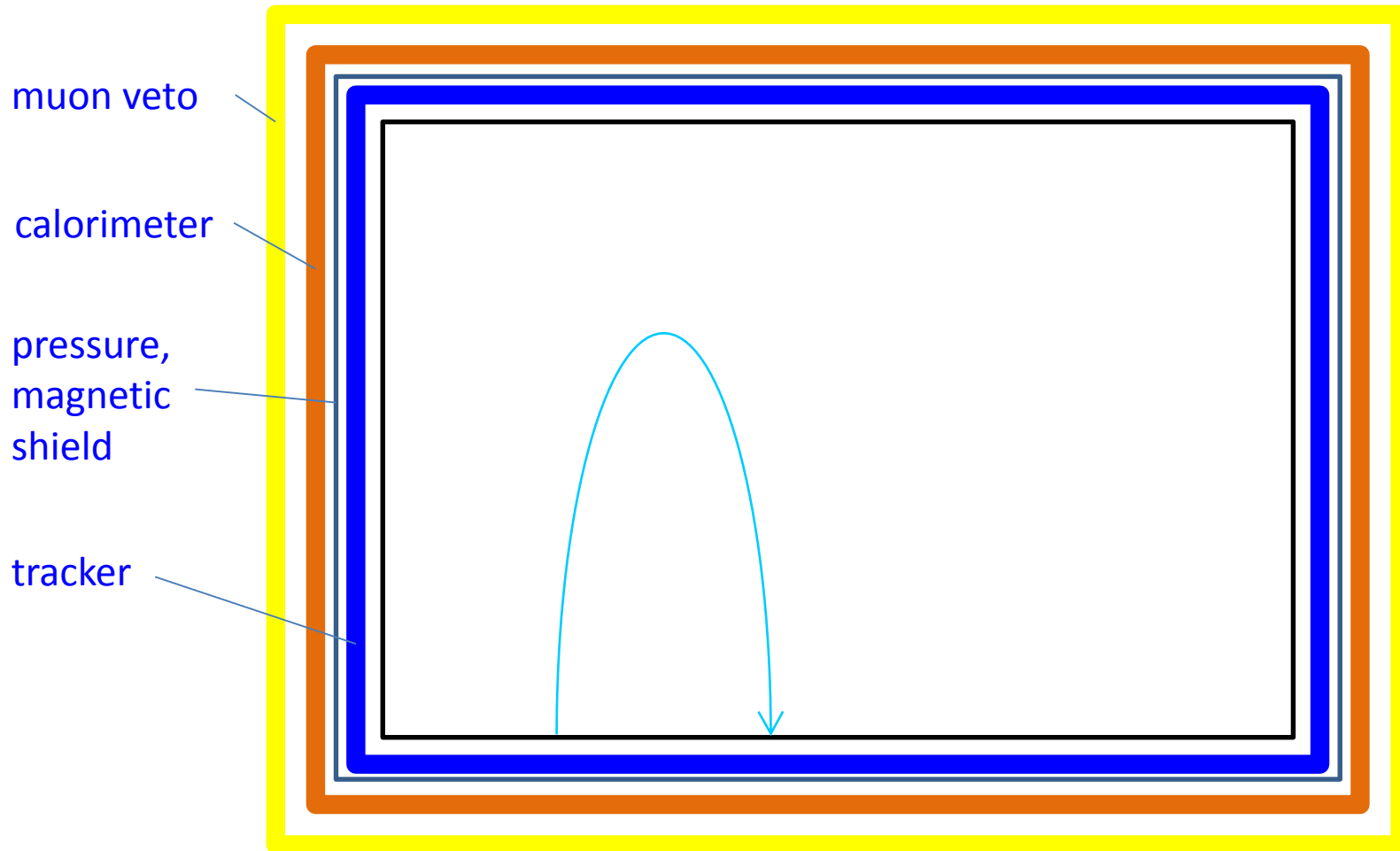
* e.g. WMAP, COBE, Planck

Neutron-Anti-Neutron Oscillations at ESS

Chalmers, Aug 27-28, 2015



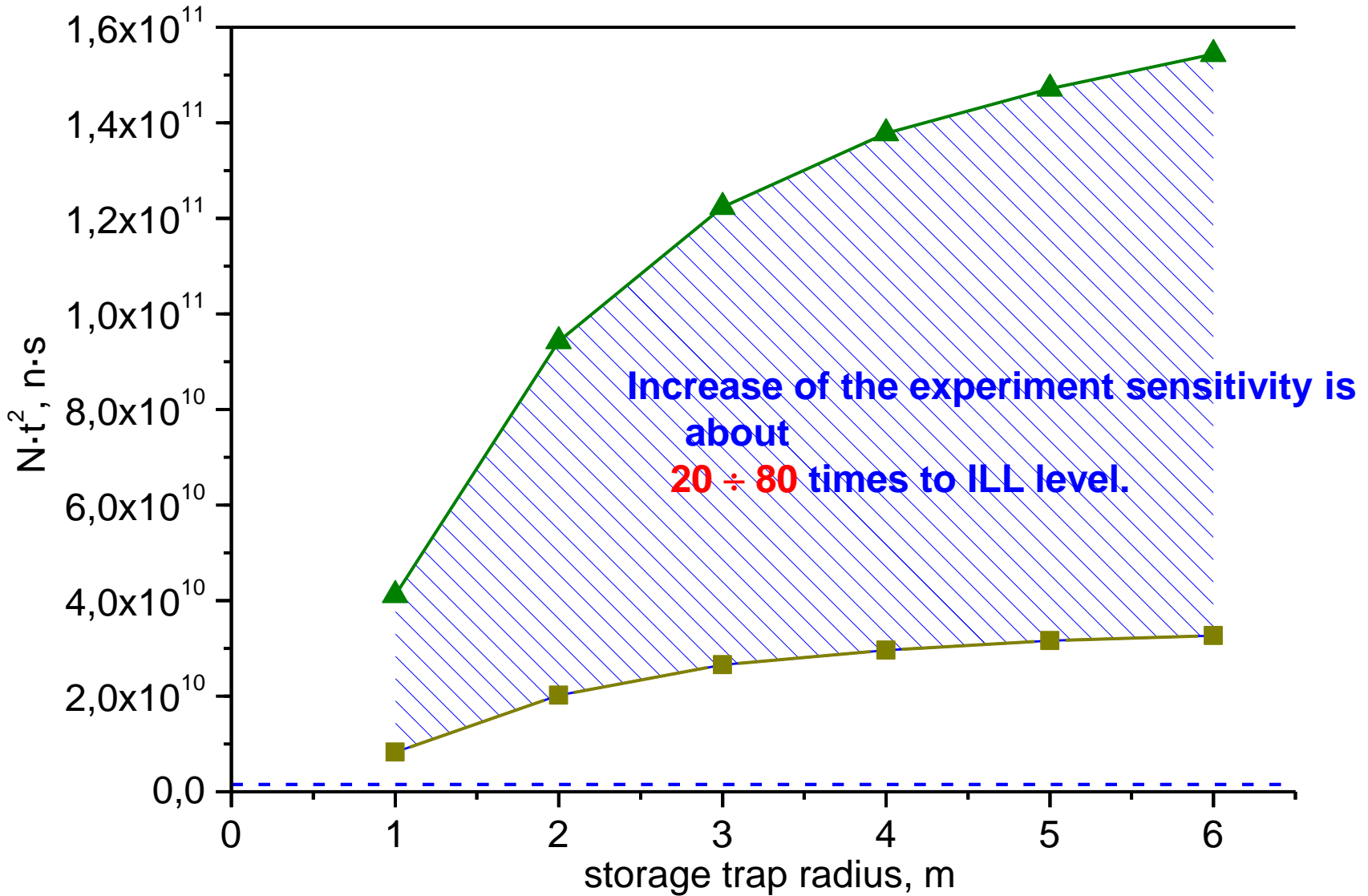
NNbar via UCN



$N \cdot t^2$ – discovery potential

Storage trap: height 2.5 m, $v_{\text{boundary}} = 6.8$ m/s, diffusion 90 %, abs. in walls $3 \cdot 10^{-5}$

$N \cdot t^2$ for different storage trap radius



Storage trap: height 2.5 m, $v_{\text{boundary}} = 6.8$ m/s, diffusion 90 %, abs. in walls $3 \cdot 10^{-5}$

Оценка стоимости проекта и график реализации

Смета расходов и график реализации проекта - высокоинтенсивный источник УХН на реакторе ВВР-М

1. Демонтаж платформ и оборудования в северной части главного зала реактора ВВР-М -	8 млн. руб. (2016 г.)
2. Создание временного хранилища р/а и демонтаж тепловой колонны –	56 млн. руб. (2016 -2017 г.)
3. Изготовление внутриканальной части источника –	50 млн. руб. (2016 -2017 г.)
4. Создание участка откачки гелия и перемонтаж вакуумного оборудования –	15 млн. руб. (2017 г.)
5. Монтаж вакуумного и криогенного оборудования в главном зале реактора совместно с внешними системами -	15 млн. руб. (2017 г.)
6. Изготовление нейтроноводной системы УХН -	10 млн. руб. (2017 г.)
7. Изготовление нейтроноводной системы ОХН и ХН -	20 млн. руб. (2018 г.)
8. Изготовление и монтаж биологической защиты источника и нейтроноводов –	20 млн. руб. (2018 г.)
9. Дополнительные расходы при монтаже оборудования -	16 млн. руб.
-	-----

Итого 210 млн. руб.

По годам: 2016 г. - 60 млн. руб., 2017 г. - 100 млн. руб., 2018 г. – 50 млн. руб.

Справка о статусе реактора ВВР-М на декабрь 2015 года

Реактор ВВР-М с 31.12.2015 переводится в режим длительного останова, в связи с исчерпанием ресурса элементов системы управления и защиты (СУЗ). В этот временной интервал временного останова реактора (3 года) планируется установить в тепловой колонне реактора источник УХН и затем произвести запуск реактора.

Новая аппаратура СУЗ уже была изготовлена в 2011-2012 г.г. на 65-70%. Для завершения работ по оснащению реактора ВВР-М аппаратурой СУЗ в течение 2016-2017 г.г. требуется около 70 млн. руб.

Общая стоимость работ по модернизации систем электропитания составит около 25 млн. руб. в течение 2016-2017 г.г.

Остаточный ресурс элементов бака реактора, изготовленных из сплава САВ-1, составляет 25 лет.

Итого в течение трёх лет для создания высокоинтенсивного источника УХН потребуется 210 млн. руб., для модернизации реактора совместно с закупкой ТВС потребуется 155 млн. руб., т.е. в сумме 365 млн. руб..

График финансирования совместных задач по годам:

2016 г. – 98 млн. руб., 2017 г. – 175 млн. руб., 2018 г. – 92 млн. руб.

Реактор ВВР-М является универсальной установкой, Номенклатура облучений включает: наработку изотопов для радиофармпрепаратов (Мо-99, I-125 и др.), Ir-192 для производства источников, материаловедческие ампулы, электронные блоки и активационный анализ. При выполнении этих работ годовой доход может составить 35-40 млн. руб.

Спасибо за внимание

Этапы создания полномасштабной модели

Демонтаж старого оборудования от универсального канала



Общий вид с новым оборудованием



Гелиевый рефрижератор
15 К, 300 Вт



Гелиевый ожижитель
50 л/ч



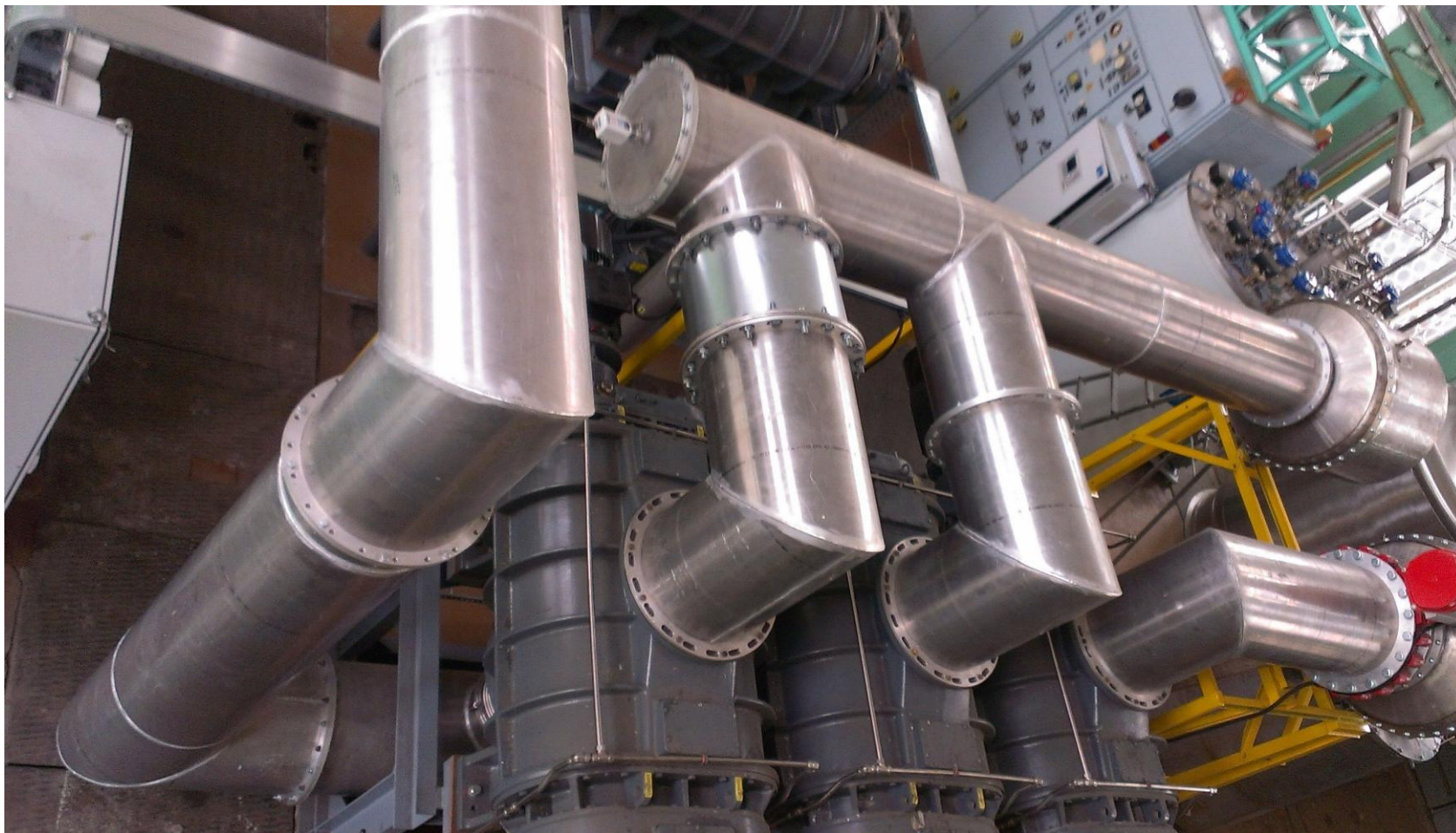
Вакуумное оборудование для откачки He



Компрессора высокого давления



Насосная группа





Ресиверы

для

хранения

гелия

**Сооружена баллонная на 60 баллонов обычного гелия
и 60 баллонов изотопно-чистого гелия**



Разработка нестандартного оборудования

Вакуумный тест полномасштабной модели источника УХН



Криогенный тест полномасштабной модели источника УХН



Изготовление криостата для сверхтекучего гелия



Экран 20 К для криостата на 1 К



Процесс полировки



Производство нагревателей паров гелия



Изготовление систем для нагрева He при низком давлении



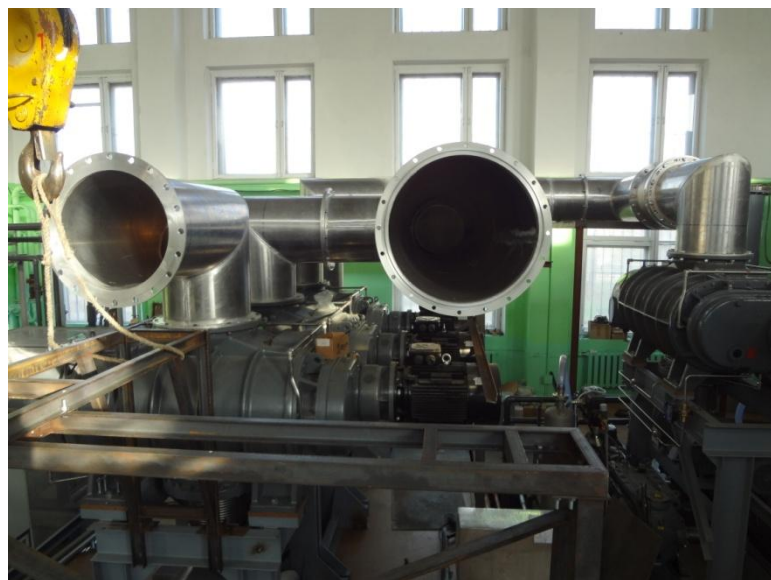
Производство откачных труб большого диаметра



Вакуумный тест откачных труб большого диаметра



Установка откачных труб большого диаметра



Установка Не нагревателей в систему вакуумной откачки

