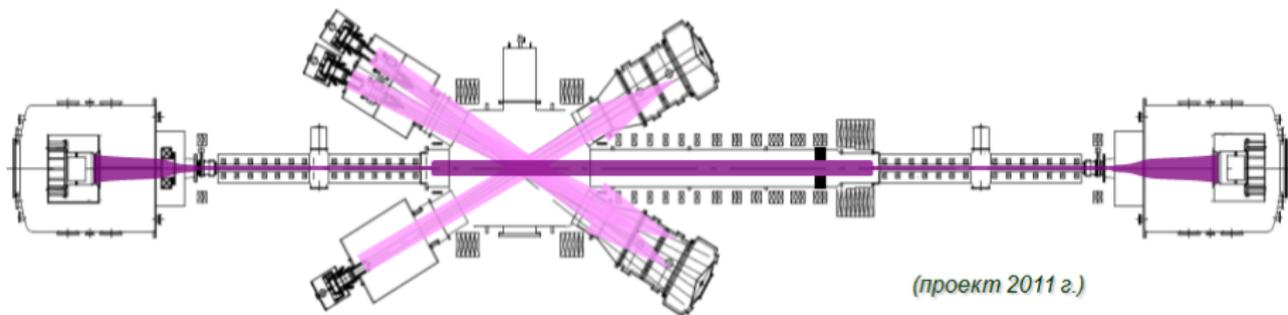


# ГДМЛ (ГазоДинамическая Многопробочная Ловушка)

А.Беклемишев (от имени коллектива)



- Проект ГДМЛ и поддерживающие эксперименты в ИЯФ (2010-2020);
- Перспективы реализации ГДМЛ в рамках термоядерной программы РФ;
- Состояние проектирования “первой стадии” ГДМЛ.

# Цели

Цель – разработка термоядерного реактора на основе открытой ловушки

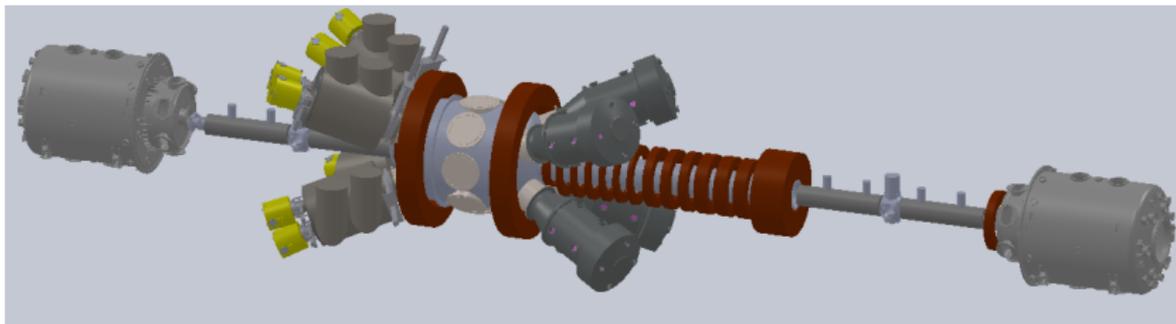
- Разработка и тестирование критических технологий для режимов с длительностью  $\tau \sim 1$  с: пучков, подпитки веществом, магнитной и вакуумной систем, систем управления и контроля;
- Достижение целей проекта “Водородный прототип” ;
- Повышение эффективности удержания плазмы до  $Q_{DT} \sim 10\%$ ;
- Создание базы данных и скейлингов для проектирования прототипа термоядерного реактора;
- Замена существующих установок ИЯФ (ГОЛ-3 и ГДЛ).

## “Граничные условия” (даны “свыше”)

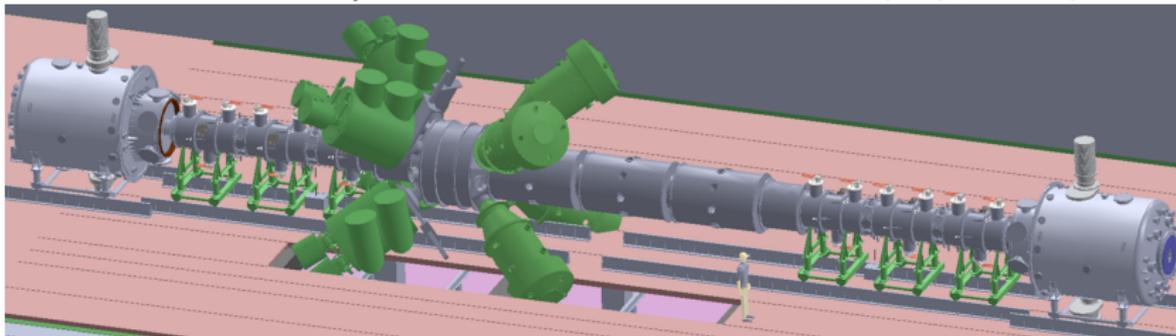
- Бюджет 50 млн. руб./год, время строительства - 5 лет,
- Максимальное использование деталей и инфраструктуры “Водородного Прототипа” и “АМБАЛ”,
- Поле  $\sim 1T$ , плотность  $1 \div 5 \times 10^{14}$ , и время эксперимента  $\sim 1s$ .
- Инжекторы типа 3Alpha: 40keV, 1s,  $1 \div 1.5MW$

Фрагмент первого доклада по ГДМЛ (2010г.)

# Проекты ГДМЛ 2010-12гг и 2012-2015гг.



1) на основе деталей и инфраструктуры ловушки АМБАЛ



2) с НТСП магнитной системой

# Физический и технический базис ГДМЛ

## Технологии ГДЛ:

- Удержание плещущихся ионов с высоким  $\beta$ ;
- Подавление конвекции вихревым удержанием и КЛР;
- Подавление электронных потерь расширителем,  $T_e > 700\text{эВ}$ ;
- Пинчевание быстрых ионов.
- Циклотронный нагрев электронов.

## Технологии ГОЛ-3:

- Многопробочное удержание при низкой плотности;
- Технологии инжекции электронных пучков; - под вопросом
- Турбулентный нагрев электронов и подавление электронной теплопроводности; - под вопросом

## Технологии инжекции атомарных пучков (Лаб.9-0).

# Технические решения

## Реализация преимуществ открытых ловушек:

- Высокое равновесное  $\beta$ ;
- Стационарность равновесия;
- Модульный принцип строительства  $\rightarrow$  гибкий дизайн.

## Основные идеи концептуального проекта

- Совмещение принципов продольного удержания ГОЛ-3 и ГДЛ: электроны удерживаются электростатическим потенциалом как в ГДЛ, а ионный поток подавляется многопробочной системой;
- Инжекция, накопление и удержание популяции плещущихся ионов;
- Дизайн зоны удержания быстрых ионов для оптимизации или полной термоядерной мощности или плотности потока нейтронов.

## Развитие ГДМЛ

В 2015-16гг были предложены новые способы улучшения удержания плазмы в открытых ловушках,

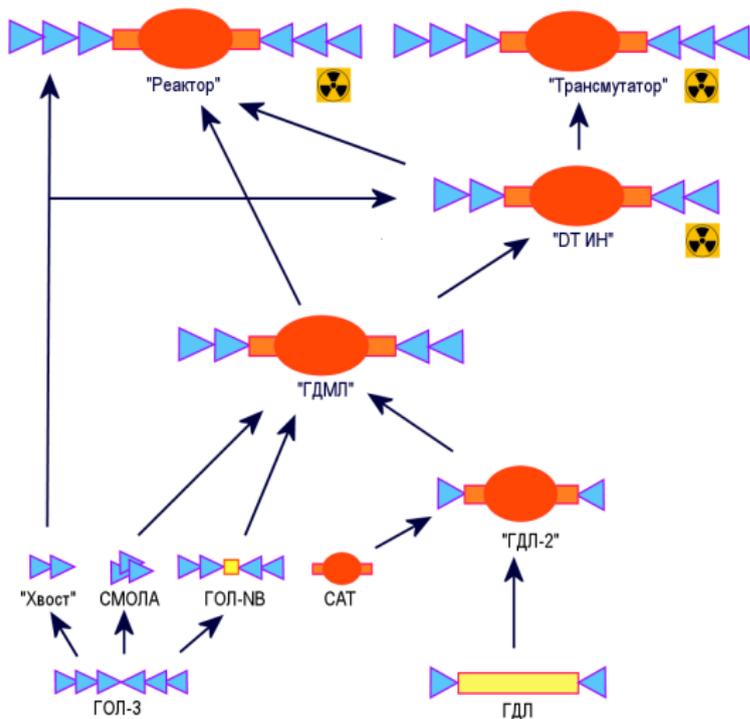
- винтовые магнитные пробки - активный вариант многопробочной системы;
- диамагнитный режим - с предельным давлением плазмы;

которые могут быть инкорпорированы в проект ГДМЛ (с использованием модульности).

Модификация концепции ГДМЛ:

ГДМЛ - комплекс по разработке новых термоядерных технологий

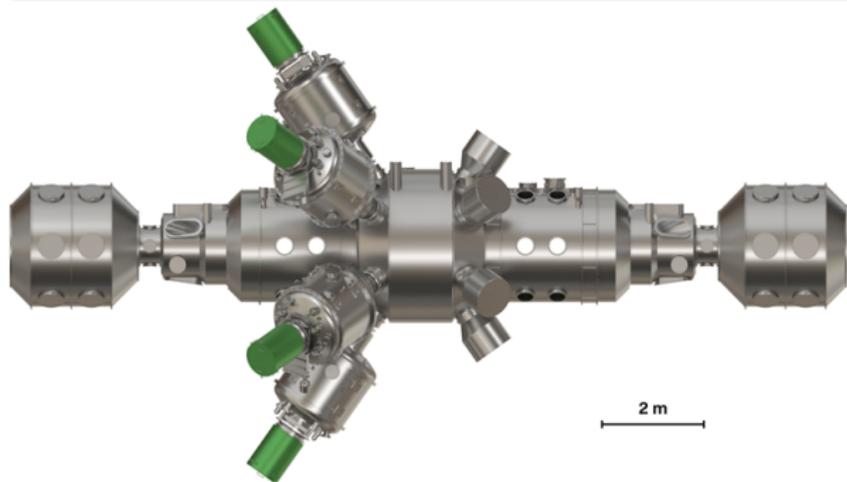
## Поддерживающие эксперименты, ГДМЛ и путь к термояду



2016г

## “Первая стадия” ГДМЛ в термоядерной программе РФ

- Есть вероятность получить ок. 7 млрд. руб. в 2021-24 гг на строительство “комплекса ГДМЛ”;
- В этих рамках обещано построить инфраструктуру комплекса и ловушку в усечённом виде - без многопробочной части (ГДЛ-2).
- Многопробочная часть может быть добавлена позже.



# Параметры стартовой конфигурации

## Системы нагрева плазмы:

Атомарные пучки – 30–40 кэВ, 10 МВт, 2–5 с.

ЭЦР-нагрев – 90–140 ГГц, до 6 МВт, 1 с.

## Магнитная система:

Осесимметричный сверхпроводящий соленоид с магнитными пробками.

Полная энергия магнитного поля – 80 МДж.

Возможность изменения профиля поля в широких пределах.

Магнитное поле в объёме от 0.3 до 3 Тл, в магнитной пробке – 20 Тл.

Высокая однородность магнитного поля – 3% при  $R = 0.3$  м.

Импульсный подъем поля от 0.3 до 3 Тл за 5 с.

Максимальный диаметр плазмы – 0.6 м при магнитном поле 1 Тл.

## Система откачки:

Поток плазмы – до  $3 \cdot 10^{22} \text{ с}^{-1}$  в течении 5 с.

Скорость откачки – не менее  $300 \text{ м}^3/\text{с}$ .

# Особенности магнитной системы

Модульная система позволяет проводить реконфигурацию объема удержания и концевых секций

В основе системы лежит сильноточный кабель на основе лент ВТСП\* второго поколения, который позволяет:

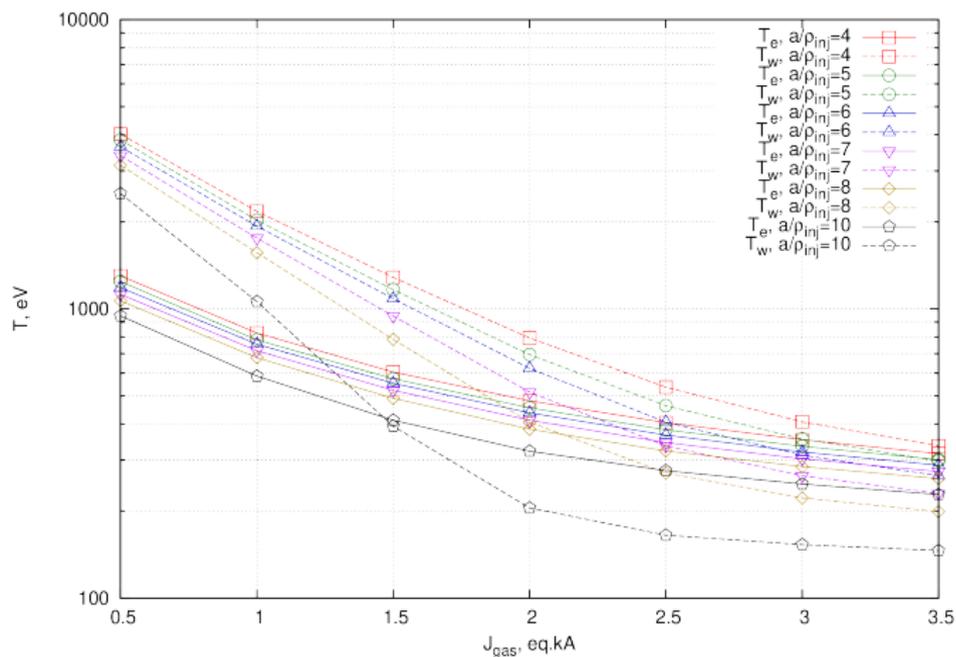
- Повысить рабочую температуру всех магнитов до 20К для увеличения эффективности криогенной системы.
- Реализовать импульсный режим работы соленоида.
- Создать магнитную пробку с полем 20 Тл в апертуре диаметром 240 мм.

\*ЗАО СуперОкс, г. Москва: [www.superox.ru](http://www.superox.ru)

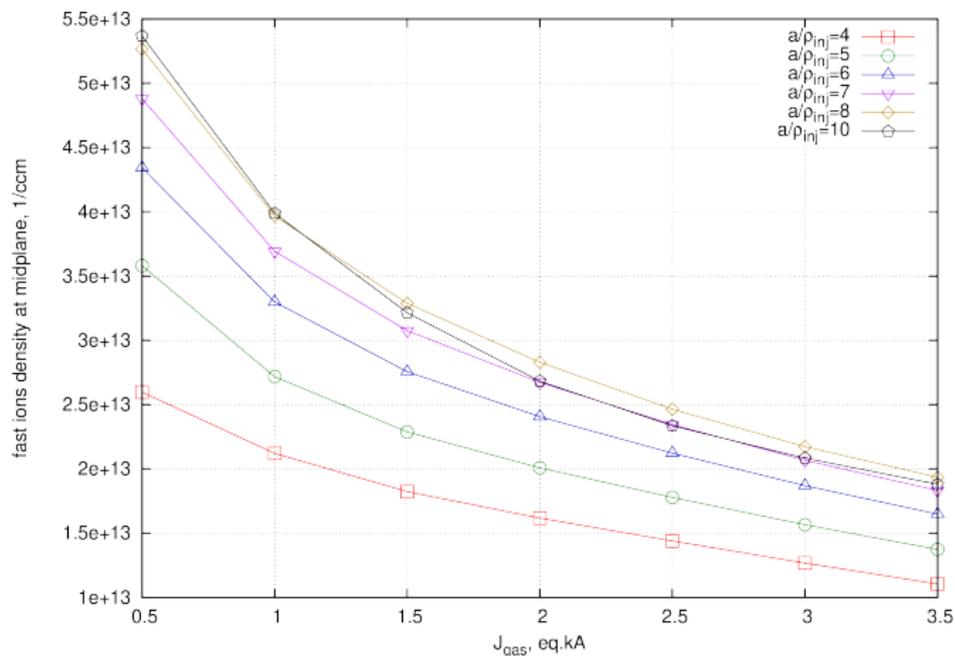


# Расчётные параметры первой фазы в режиме НИ

## Температура (без ЭЦР-нагрева)



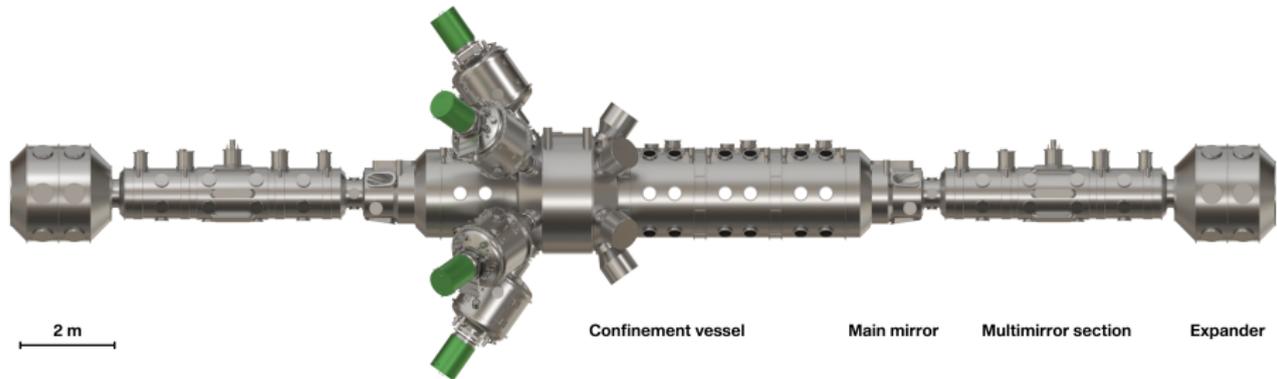
## Плотность



Задачей для режима нейтронного источника будет продвижение в область кинетического удержания до порога неустойчивости.

# Возможное расположение комплекса ГДМЛ на площадке ИЯФ





Спасибо за внимание!