



О статусе Источника Поляризованных Ионов для ускорительного комплекса ЛФЭЭ ОИЯИ

В.В. Фимушкин

- *ОИЯИ, Дубна*

А.С. Белов

- *ИЯИ РАН, Москва*



Изучение структуры легких ядер, включая дейтрон и особенности сильных взаимодействий при использовании пучков **поляризованных дейтронов**, ускоренных в **Синхрофазотроне** (10 ГэВ протонный синхротрон) осуществлялось в ЛВЭ ОИЯИ с середины **80-х годов**

С **2003** г. программа поляризационных исследований была продолжена на НУКЛОТРОНЕ (сверхпроводящий синхротрон тяжелых ядер 6A GeV с жесткой фокусировкой)

Особенности НУКЛОТРОНА

- однооборотная инжекция
- короткое время инжекции (8.36 μ сек, для Синхрофазотрона время инжекции 200 μ сек)

Разработка нового высокоинтенсивного источника поляризованных частиц рассматривается в лаборатории в ряду задач высокого приоритета

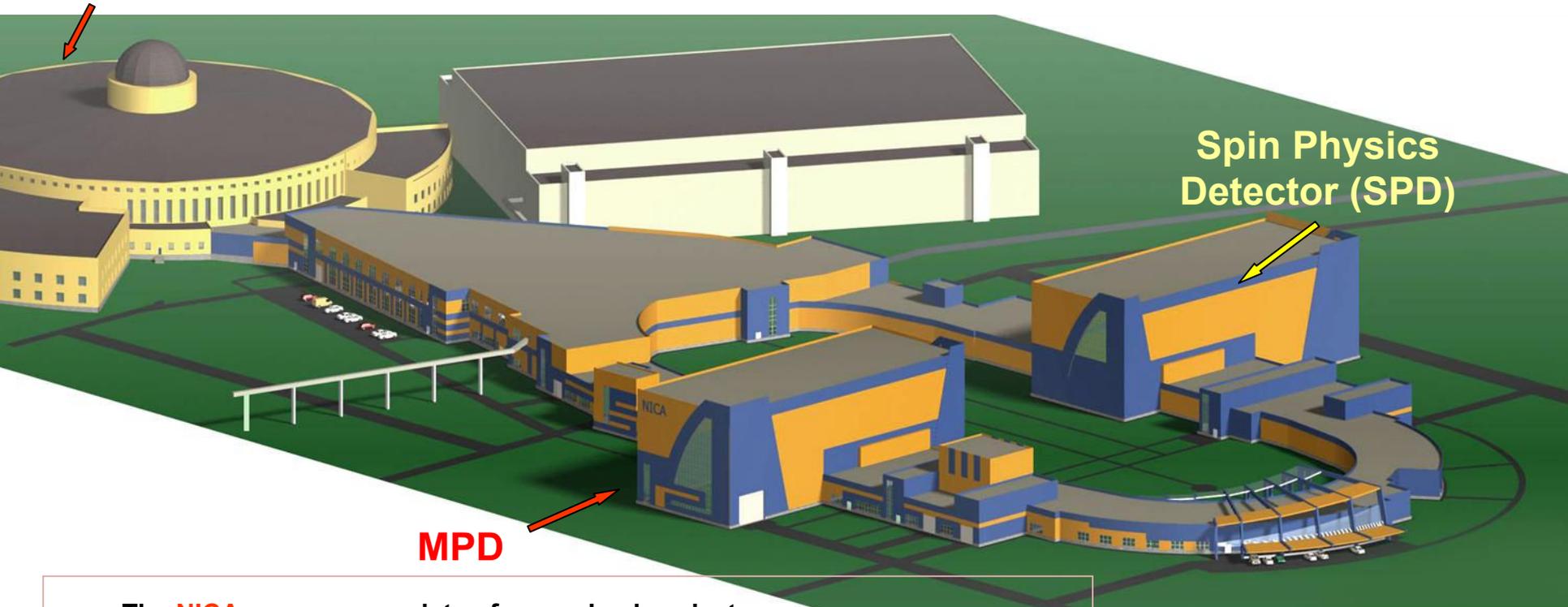


General view of the NICA facility

The new flagship JINR project in high energy nuclear physics, **NICA**

(**Nuclotron-based Ion Collider fAcility**), aimed at the study of phase transitions in strongly interacting nuclear matter at the highest possible baryon density, was put forward in 2006

SPI & linac



**Spin Physics
Detector (SPD)**

MPD

The **NICA** program consists of several subprojects

The one of them is the project **NUCLOTRON-M**, where the **new polarized ion source** is included in, because the existing **0.4 mA \uparrow D⁺ cryogenic source POLARIS** cannot provide some of the key parameters necessary for the new facility

Physics with **polarized light ion beams** is considered as an important part of the **NICA** collider program also

The expected luminosity is planned at the level of **(10^{30} - 10^{31}) cm⁻²·s⁻¹**



- Дальнейшее развитие программы поляризационных исследований на НУКЛОТРОНЕ/NICA предполагает существенное увеличение интенсивности Источника легких поляризованных ядер
- Новый проект по **Источнику поляризованных ионов (ИПИ-проект)** предполагает разработку универсального источника поляризованных дейтронов и протонов высокой интенсивности
- Первый этап – это работа по увеличению интенсивности ускоренного поляризованного пучка дейтронов D^+
- Важный факт - отсутствие деполаризующих резонансов по всему диапазону энергий НУКЛОТРОНА характерно только для D^+

Цель проекта – увеличение интенсивности ускоренных поляризованных пучков на Ускорительном комплексе ЛФВЭ до 10^{10} част/имп



ИПИ-проект предполагает использование зарядообменного ионизатора



- Проектные параметры тока на выходе **SPI**-источника до **10 мА** для **$\uparrow\text{D}^+$** (**$\uparrow\text{H}^+$**)
- **D^+** поляризация - 90% от максимального значения для векторной моды (**± 1**) и тензорной (**$+1, -2$**)



ИПИ-проект частично базируется на оборудовании источника **CIPIOS**, переданном в ОИЯИ в рамках сотрудничества между **JINR&IUCF(Bloomington, USA)**

Cooler Injector Polarized IOn Source (CIPIOS) был разработан при сотрудничестве IUCF&INR RAS для получения поляризованных и неполяризованных пучков H^+ и D^+ ионов с током на выходе до 2 мА с поляризацией до 85% для H^+ и 90% для D^+ ионов

Поляризационная программа исследований в IUCF была прекращена в 2002 г. и некоторые узлы источника **CIPIOS** были перевезены в ОИЯИ

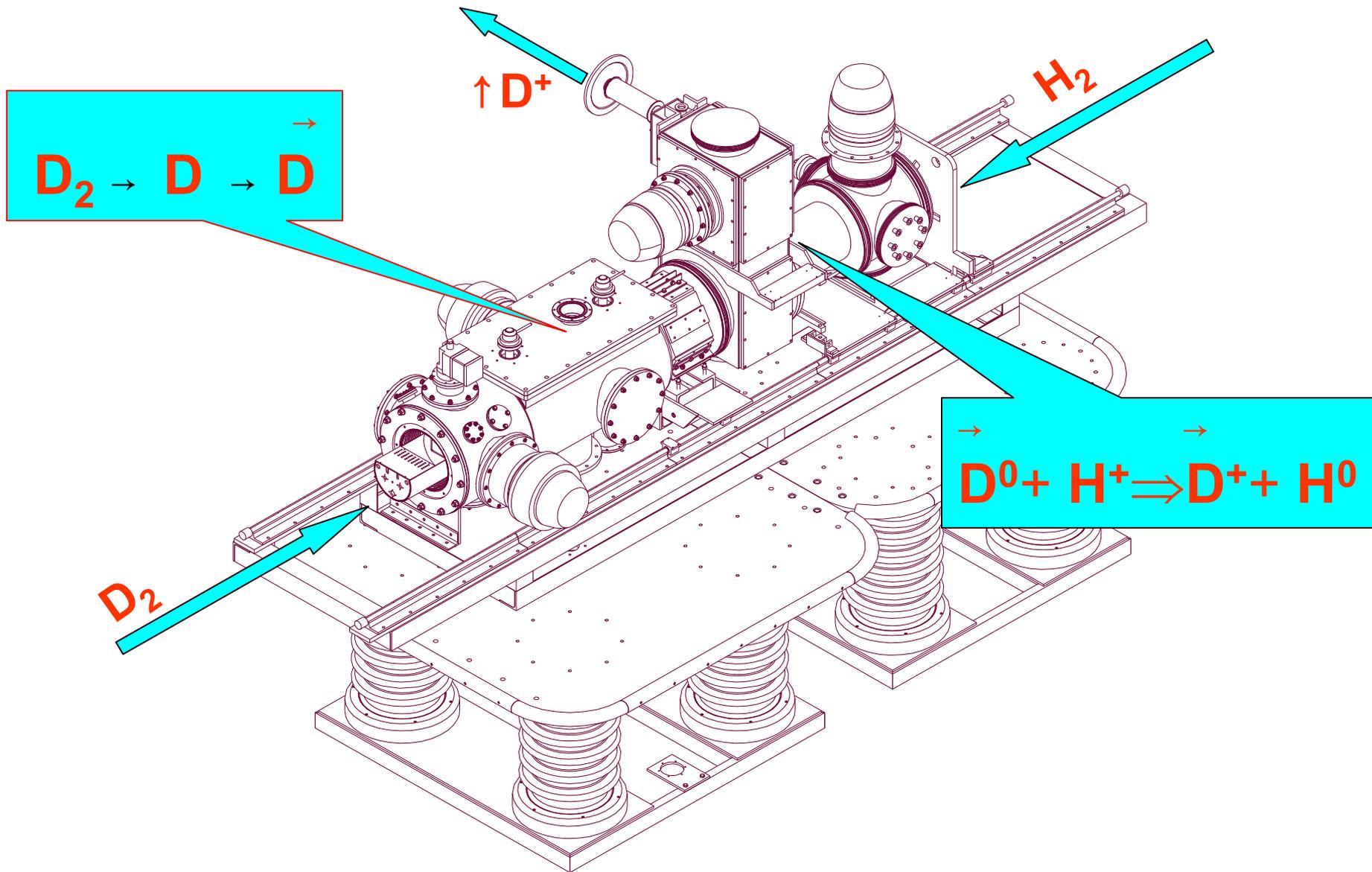
***Настоящий проект** реализуется в тесном сотрудничестве с ИЯИ РАН (Москва)*



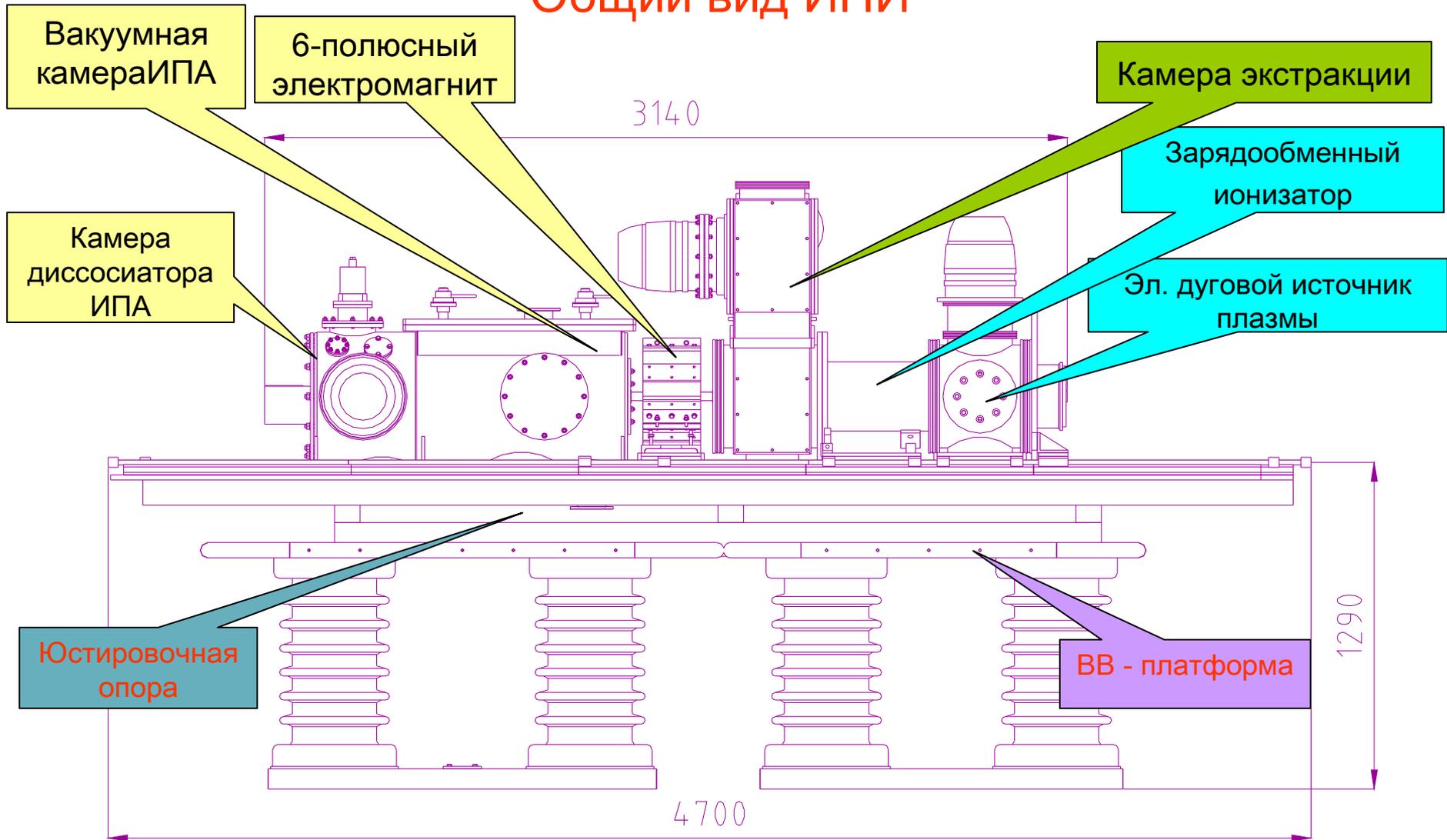
ИПИ – проект предполагает:

- разработку высокоинтенсивного **Источника Поляризованных Ионов** и проведение его комплексных испытаний на стенде
- модифицирование высоковольтной платформы и станции питания на форинжекторе Лу-20
- адаптация существующей системы дистанционного контроля **ИПИ** (пульт Лу-20) на высоком потенциале
- согласование **ИПИ&Лу-20** и проведение совместных сеансов с поляризованным пучком и измерением поляризации на выходе Лу-20

Новый источник поляризованных ионов (дейтронов)



Общий вид ИПИ



Общий вид ИПИ

в RFQ & linac

Соленоид
спинпрецессора

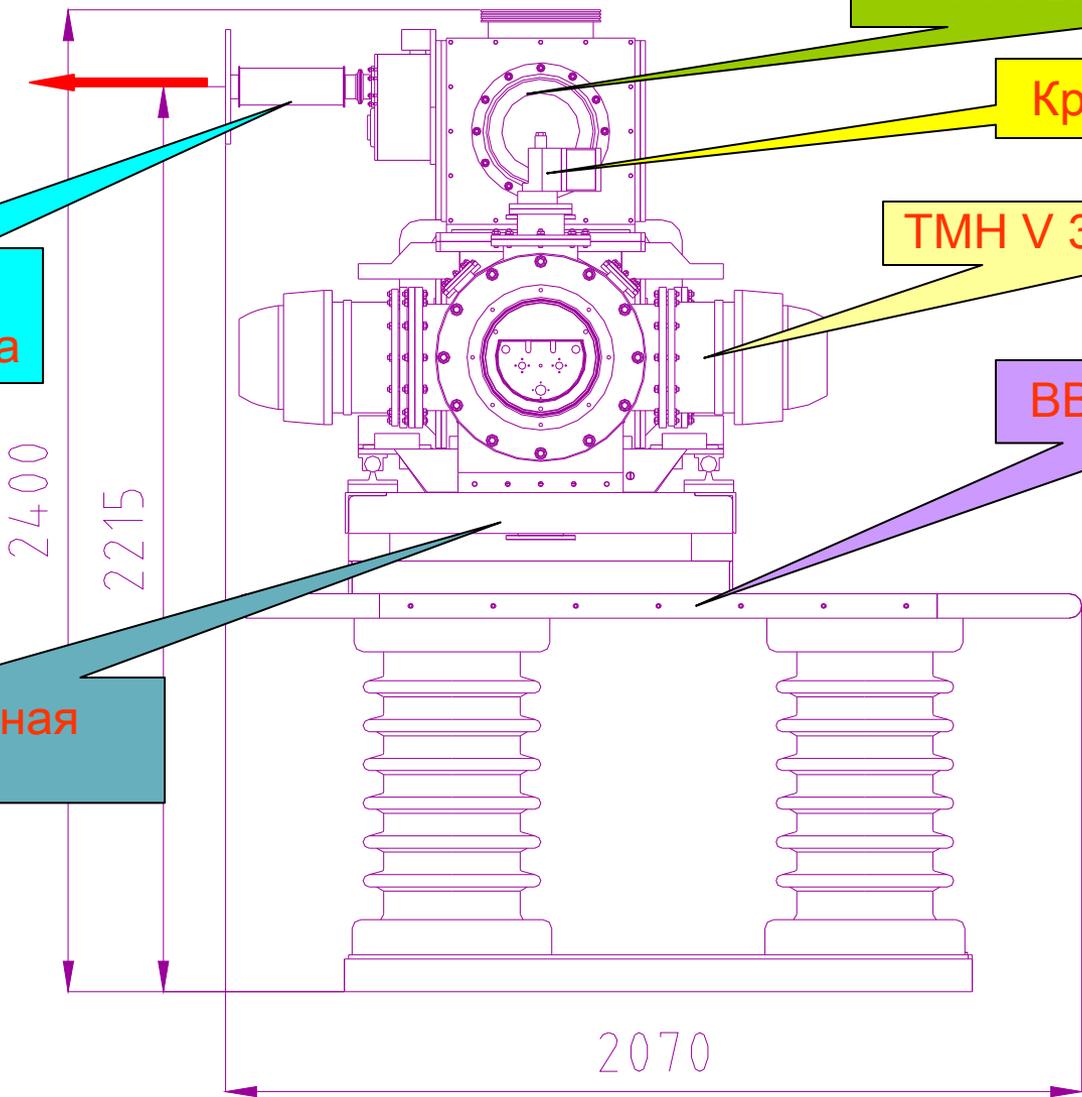
Юстировочная
опора

ТМН V 2К-G, 1600 l/s N₂

Криокулер

ТМН V 3К-T 2300 l/s H₂

ВВ платформа



2070

2400

2215

Базовое оборудование ИПИ:

Pump, Turbo-V 3K-T, 2300 l/s H2 , 2400 l/s He	- 2 item	
Pump, Turbo-V 2K-G, 1600 l/s N2	- 2 item	
Fore pump Dry scroll pump type TriScroll 600 Inverter, 30m³/h	- 2 item	

Cryocooler, Single Stage Cryodyne Refrigeration System, Model 350 will provide 40 watts of heat lift at 77K

Pressure measurement system, MaxiGauge TPG256A controller for 6 gauges



Power supply Sorensen SGI40X375C-1CAA (40V, 375A, 15kW)	- ABS sextupole	
Power supply Sorensen DCS 8-350E (8V, 350A, 3 kW)	} - ionizer solenoid	
Power supply Sorensen DCS 12-250E (12V, 250A, 3 kW)		
Power supply Sorensen XG 8-200 (8V, 200A, 1.6 kW)		
Power supply Sorensen DCS20-150E (20V, 150A, 3 kW)	- bending magnet of the ionizer	
Power supply Sorensen XG 40-42 (40V, 42A, 1680 W)	- ABS arc source	

закуплено

Signal Generator SMB100A with option SMB-B102 9kHz – 2.2 GHz	- 1 item	
High Frequency Generator HG1462C 100kHz-400MHz	- 2 items	
Power amplifier FLG-15CA, 0.7GHz-3GHz	- 1 item	
Power amplifier FLH-20B, 20MHz-1000MHz	- 2 items	
Power Supply ZUP-10-20, 0-10V, 0-20A	- 4 items	RF - units
High voltage power supply HCP350-35000 0-30 kV, 0-10 mA, positive	- 1 item	
High voltage power supply HCP350-35000 0-30 kV, 0-10 mA, negative	- 2 items	

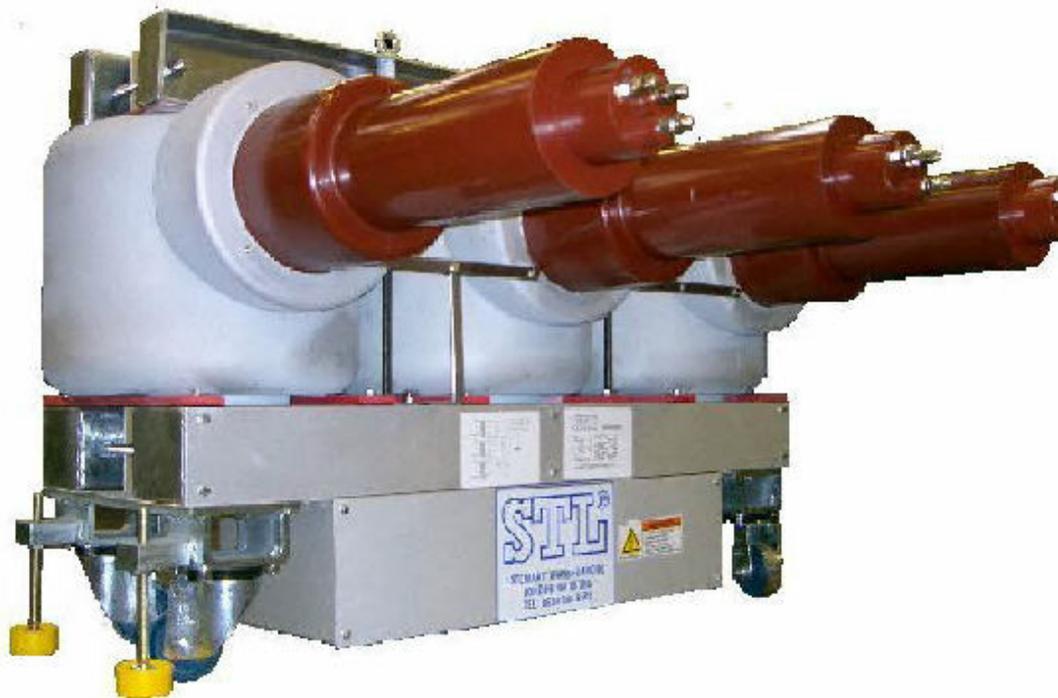


Высоковольтный разделительный трансформатор

Stewart isolation transformer

Electrostatically shielded

50.52 amps/35 kva- 160 kvdc isolation between input and output



Предназначен для электропитания ИПИ на высоковольтном терминале форинжектора ЛУ-20



Особенности НУКЛОТРОНА

- однооборотная инжекция
- положительные ионы

Итог - целесообразность разработки Источника положительно заряженных поляризованных дейтронов

Замечание:

поляризованные источники положительно заряженных ионов достигают наивысшей интенсивности на данный момент

- **ИПИ – проект** предполагает преобразование зарядообменного ионизатора отрицательных ионов **CIPIOS** в ионизатор положительных ионов с использованием накопительной ячейки в случае получения поляризованных дейтронов при зарядовом обмене в водородной плазме



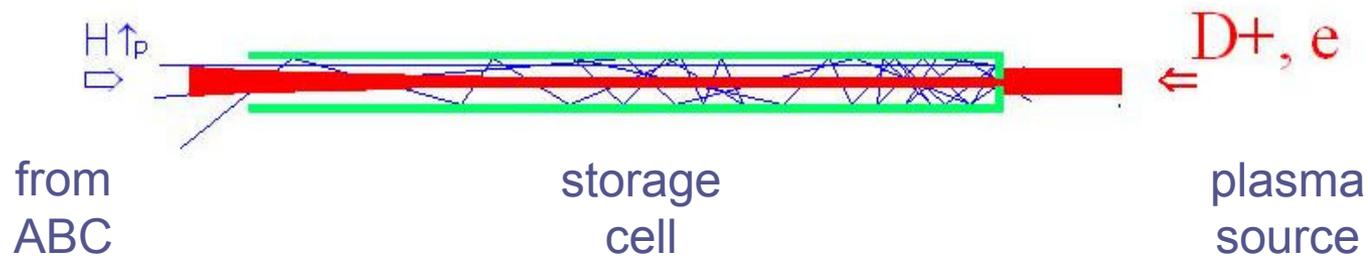
Ионизатор с накоплением поляризованных атомов в ИПИ позволяет

- увеличить интенсивность поляризованного пучка D^+
- уменьшить эмиттанс пучка
- существенно уменьшить ионный ток H_2^+ , который сложно сепарировать от поляризованного D^+ ввиду сходства масс ионов

Источник поляризованных ионов в ИЯИ РАН

- atomic beam-type source with resonant charge-exchange plasma ionizer and with a storage cell in the charge-exchange region

(Belov et. al. INR RAS, 1986, 1999)



11 mA of $\text{H}^+\uparrow$ 80 % polarization has been obtained from the INR source



Разработка и изготовление узлов **ИПА**, оптимизация параметров атомарного пучка дейтерия (водорода) и функциональное тестирование ячеек ядерной поляризации атомов осуществлялось в **ИЯИ РАН (Москва)**

Цель – получение атомарного пучка **D** с плотностью в импульсе до **$2.5 \cdot 10^{10}$** ат/см³ на расстоянии **150** см от охлаждаемого канала сопла диссоциатора с наиболее вероятной скоростью атомов **$1.5 \cdot 10^5$** см/сек

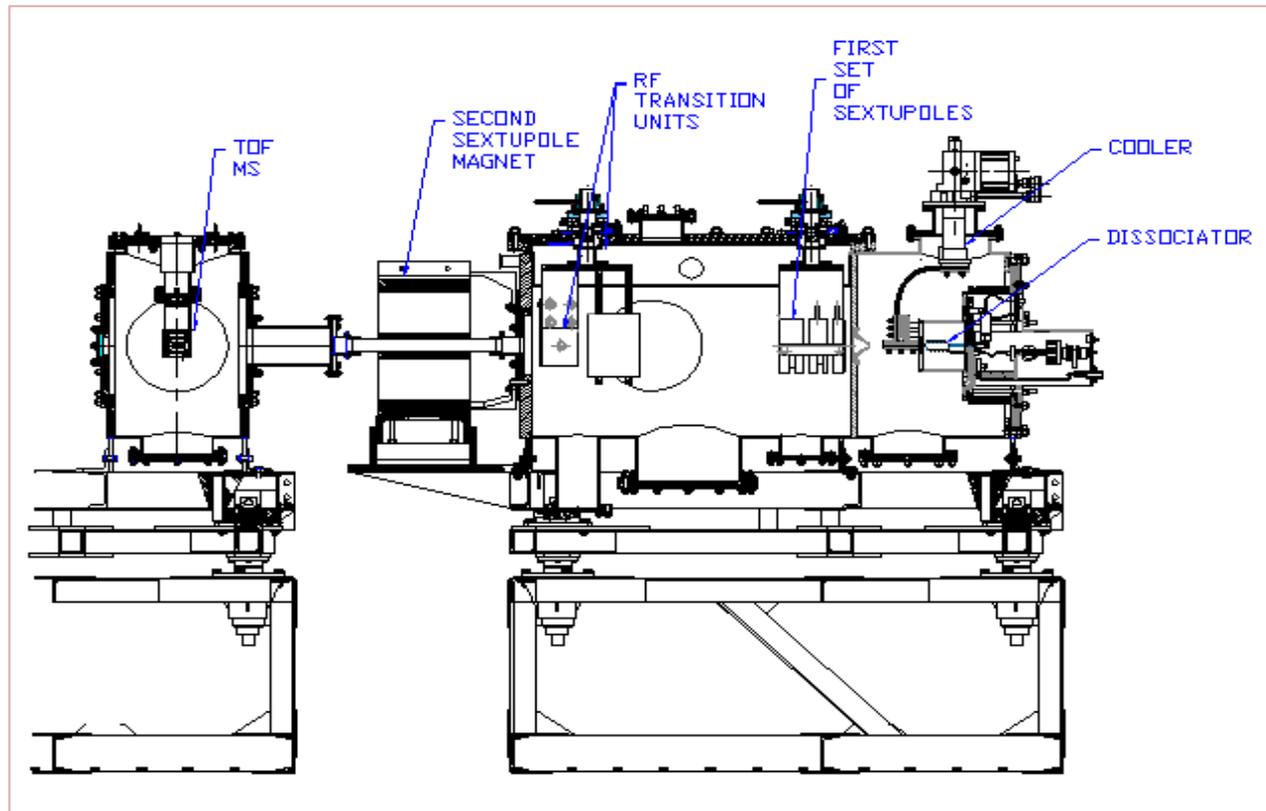
Источник ПОЛЯРИС (ОИЯИ)

Transition	I	P_z	$P_z^2 I$	P_{zz}	$P_{zz}^2 I$
M (1 → 4)	1/2	-2/3	2/9	0	0
M (3 → 6)	1/2	2/3	2/9	0	0
M (2 → 6)	1/2	1/3	1/18	1	1/2
M (3 → 5)	1/2	1/3	1/18	-1	1/2

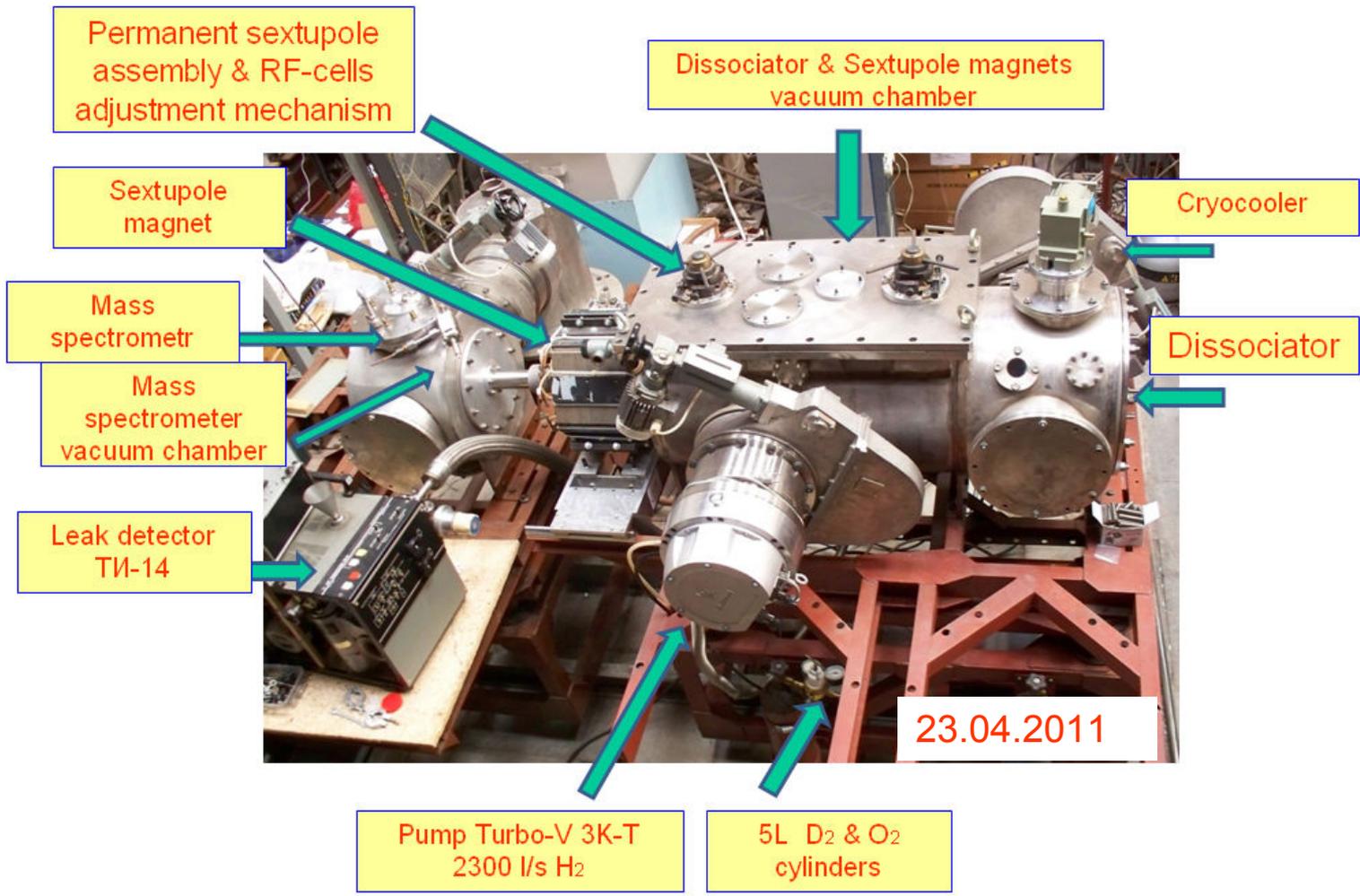
ИПИ (ОИЯИ)

Transition	I	P_z	$P_z^2 I$	P_{zz}	$P_{zz}^2 I$
M (1 → 4) M (3 → 5)	1/3	0	0	-2	4/3
M (1 → 4) M (2 → 6)	1/3	0	0	1	1/3
M (2 → 6) M (1 → 4)	1/3	-1	1/3	1	1/3
M (3 → 5) M (2 → 6)	1/3	1	1/3	1	1/3

Источник Поляризованных Атомов (ИЯИ РАН стенд)

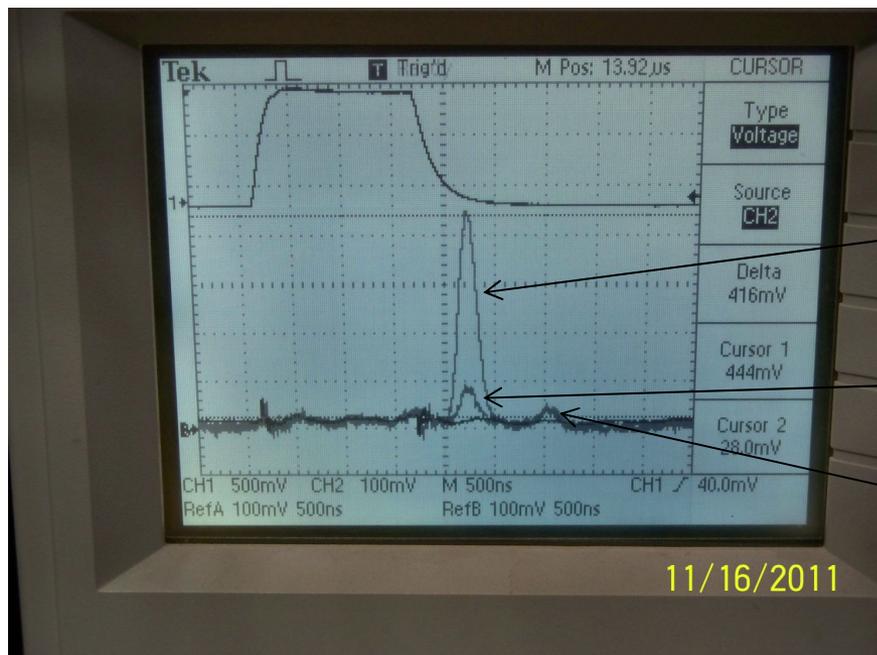


Pulsed dissociator (INR-type), nozzle cooling to 70 K, set of permanent magnet sextupoles and electromagnet sextupole, MFT, WFT and SFT (CIPIOS)



Atomic Beam Source setup general view
(ИЯИ стенд)

Signals of the TOF MS with the sextupole electromagnet “ON” and “OFF”



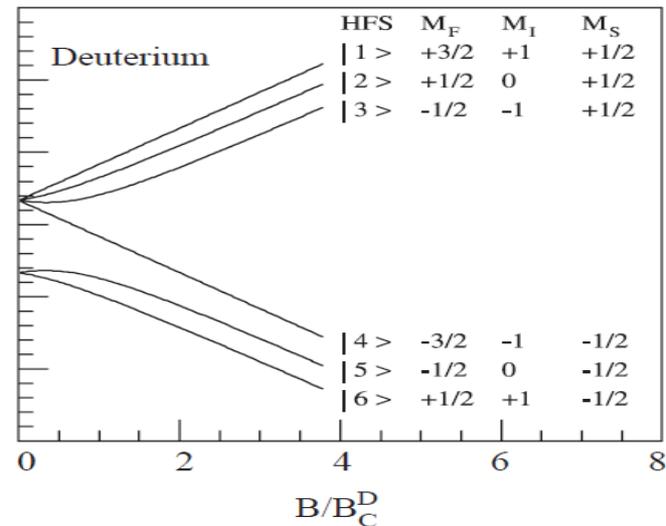
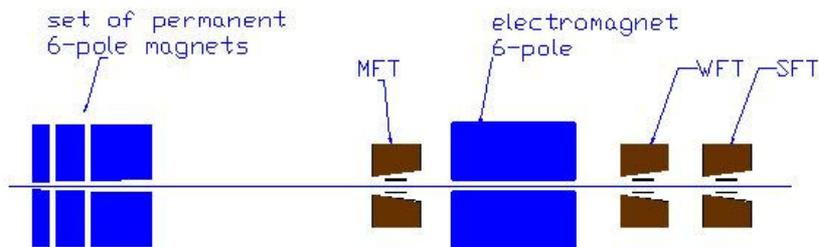
Peak intensity obtained: $D^0\uparrow - 1.0 \cdot 10^{17}\text{sec}^{-1}$, $H^0\uparrow - 1.5 \cdot 10^{17}\text{sec}^{-1}$

Состояние дел по ИПА

Источник Поляризованных Атомов ИПИ собран, протестирован в ИЯИ РАН и перевезен в ОИЯИ

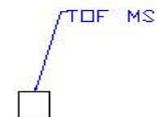
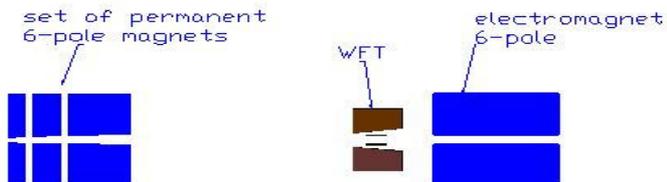
- ✓ Плотность атомарного пучка D в импульсе на расстоянии 150 см от охлаждаемого сопла ($70K$) $2.5 \cdot 10^{+10}$ ат/см³ при наиболее вероятной скорости атомов $1.5 \cdot 10^{+5}$ см/сек
- ✓ Функциональное тестирование WFT&MFT ячеек ядерной поляризации атомов дейтерия и водорода осуществлено

RFT scheme and deuteron polarization

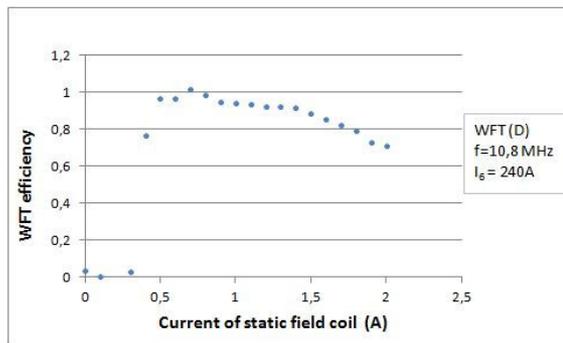
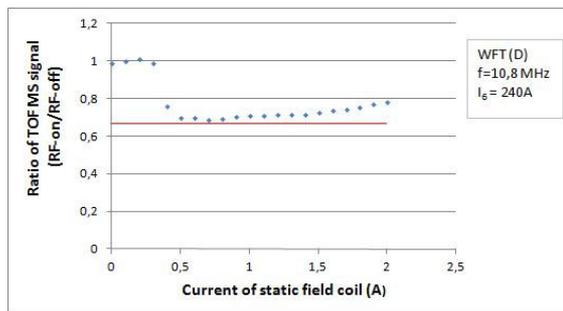


HFT between 6poles	HFT after 6poles	Final D hfs	P_Z	P_{ZZ}
MFT 3 \rightarrow 4	WFT 1 \rightarrow 4, 2 \rightarrow 3	3,4	-1	+1
MFT 3 \rightarrow 4	SFT 2 \rightarrow 6	1,6	+1	+1
MFT 1 \rightarrow 4	SFT 3 \rightarrow 5	2,5	0	-2
MFT 1 \rightarrow 4	SFT 2 \rightarrow 6	3,6	0	+1

Tests of the WFT

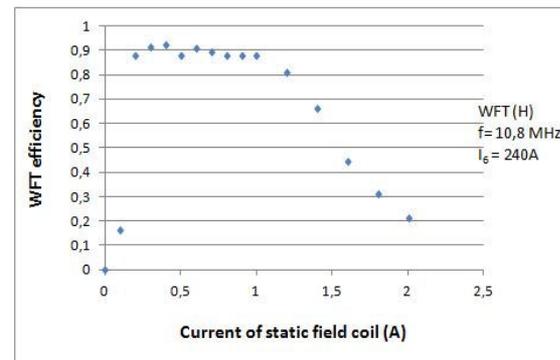
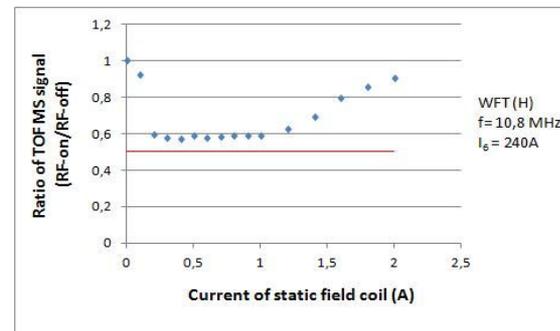


Deuterium atoms



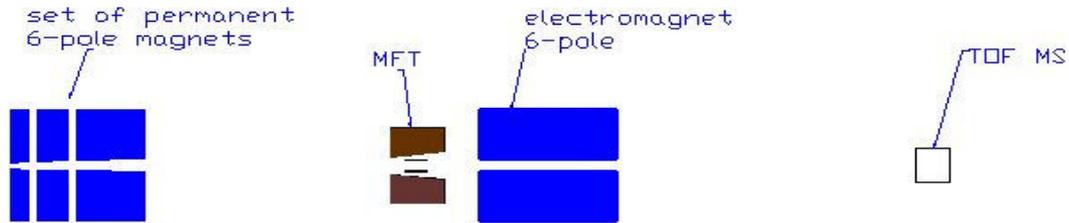
D atoms WFT efficiency – 0.95

Hydrogen atoms

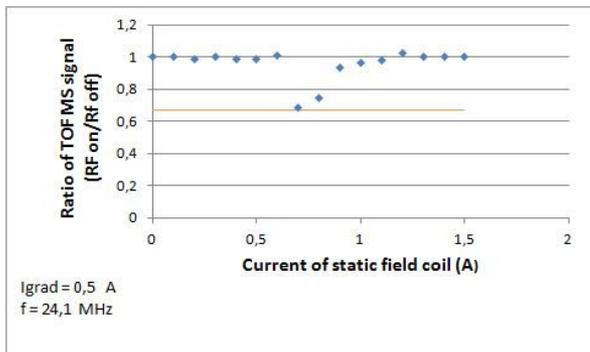


H atoms WFT efficiency – 0.90

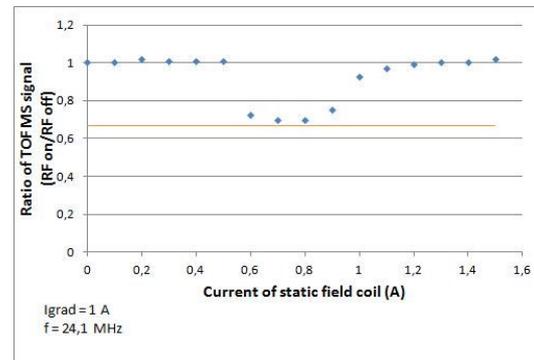
Tests of the MFT



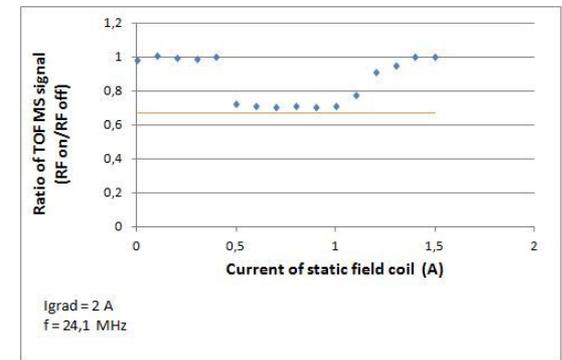
Deuterium atoms



3 → 4 mode



1 → 4 mode



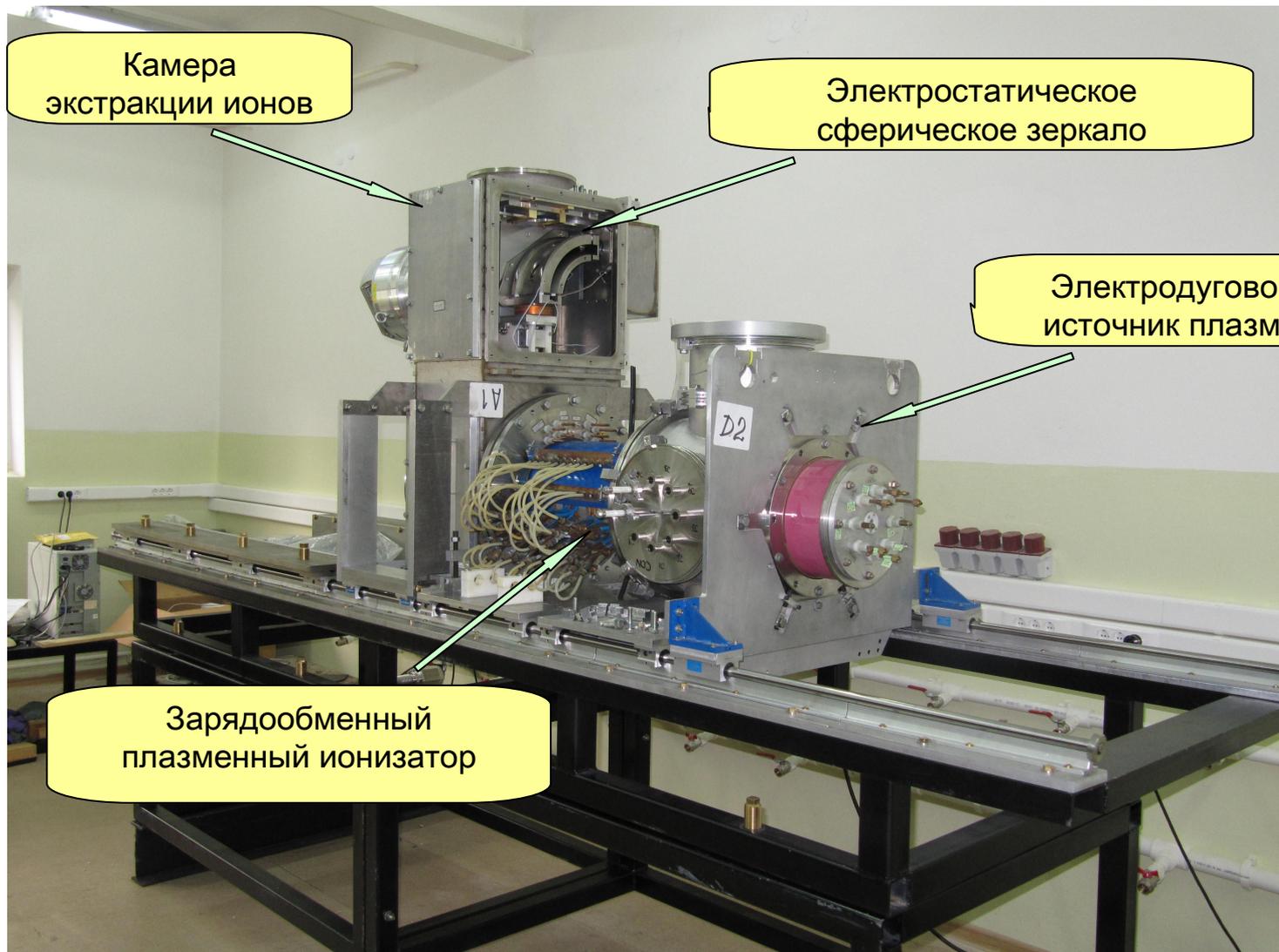


Работы по ИПИ в ОИЯИ включают в себя

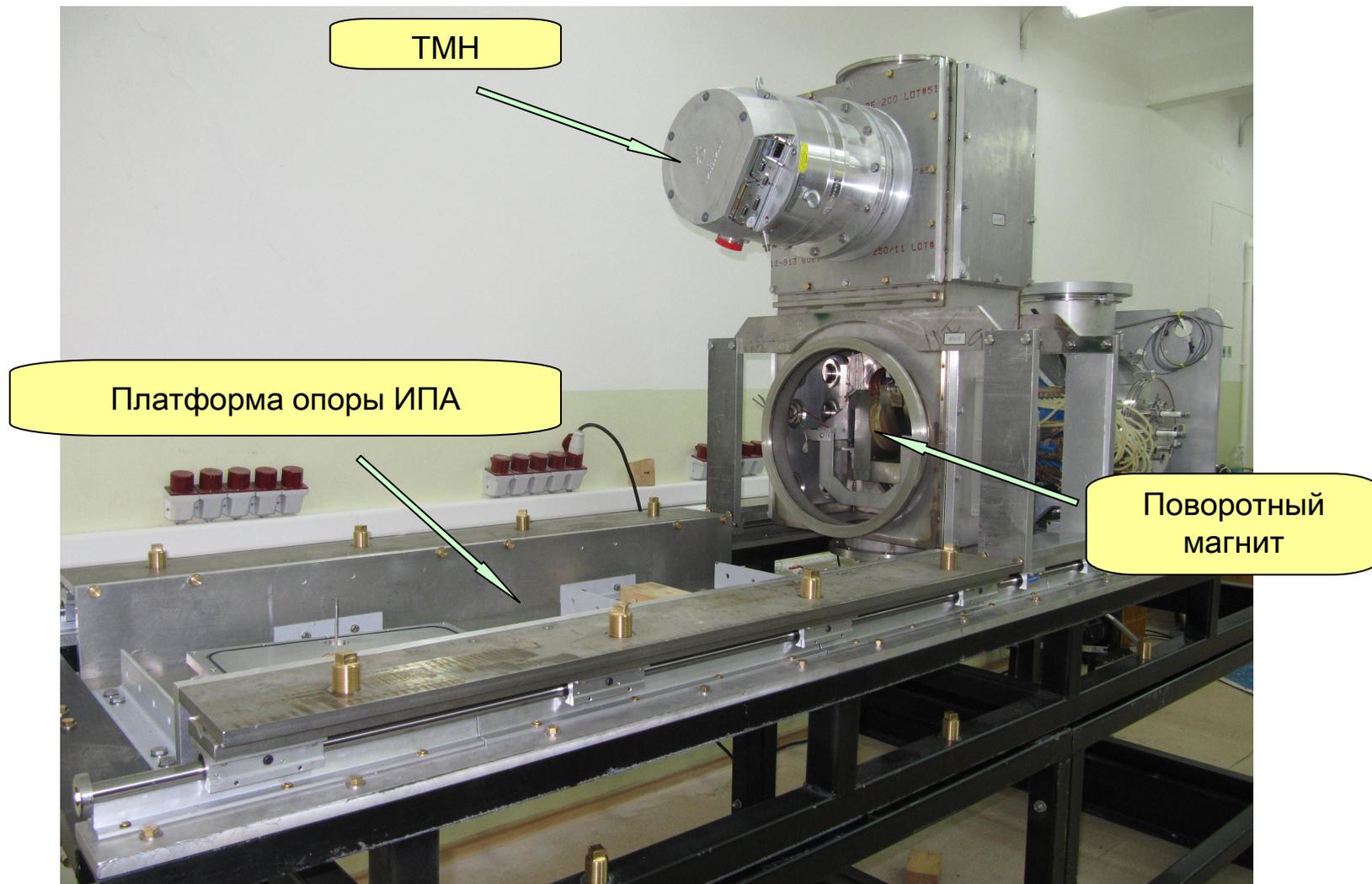
- сборку и тестирование зарядообменного ионизатора в режиме получения протонного и дейтронного пучков с накопительной ячейкой в ионизационном объеме
- оптимизацию ионно-оптической системы при энергии пучков до **25 кэВ** и транспортировки сильнооточных пучков
- долговременные комплексные испытания **ИПИ**, включая Лу-20
- измерение поляризации пучка на выходе Лу-20

необходимо также разработать компоненты системы управления для первичного анализа и сбора данных и волоконно-оптические системы передачи данных с установки на высоком потенциале

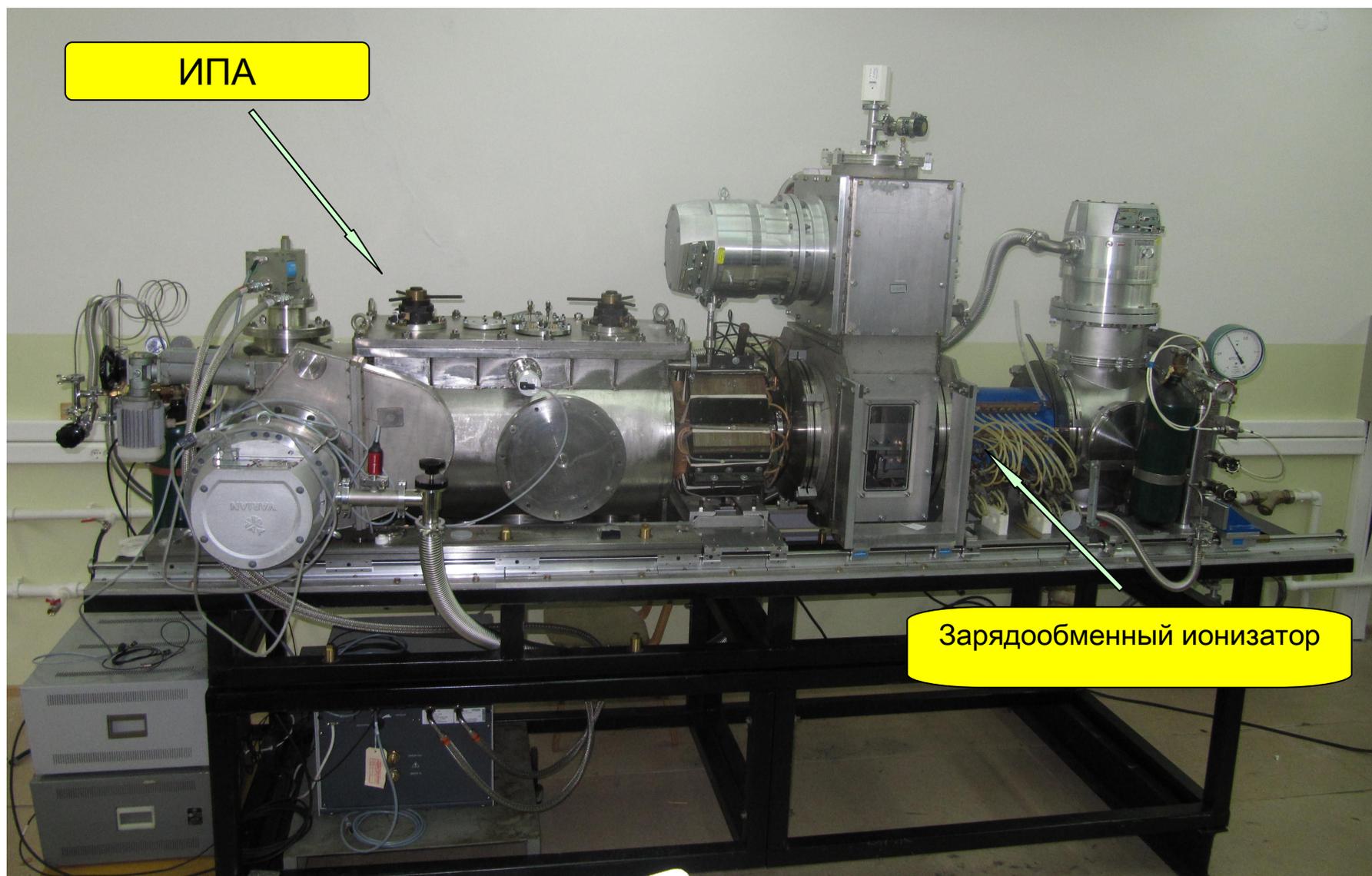
Сборка зарядообменного плазменного ионизатора на стенде ОИЯИ



Вид со стороны ИПА



Общий вид ИПИ на стенде ОИЯИ



Вид ИПИ со стороны диссоциатора



to RFQ

Камера экстракции ионов и
спин-прецессора



Summary & Outlook

- Интенсивные работы по **ИПА** в **ИЯИ РАН** (Москва) завершены в **июле 2012 года**
- В **августе 2012 года** **ИПА** перевезен в ОИЯИ и **ИПИ** собран в окончательной конфигурации на стенде
- Полные испытания **ИПИ** с выходом на проектные параметры будут осуществляться в ОИЯИ (Дубна) в **2012-2013 г.г.**



Спасибо за внимание