

# Установки проекта NICA в ОИЯИ



**А. Бутенко** *от имени команды*

Сессия-конференция секции ядерной физики ОФН РАН, посвящённая 70-летию со дня рождения В.А. Рубакова.

1. Введение (комплекс NICA, установки)
2. Два линейных ускорителя & источники
  - *Лу-20 (легкие и поляризованные ионы)*
  - *НИЛАС / ЛУТИ (тяжелые ионы)*
3. Бустерный синхротрон
4. Синхротрон Нуклотрон
5. Кольцо коллайдера
6. Инфраструктура комплекса

## Создание ускорительной базы ЛФВЭ ОИЯИ:

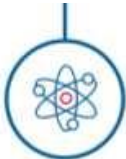
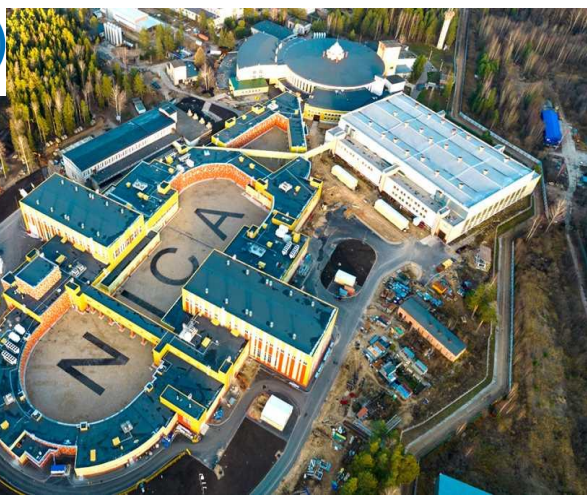
- 1993: под руководством акад. А.М. Балдина создан Нуклотрон – **первый** в мире СП синхротрон тяжелых ионов (4,5 АГэВ) на основе передовой технологии «Дубненских» СП магнитов, востребованных как для ускорительных центров, так и для прикладных целей;

- 2009: решением КПП ОИЯИ началась реализация проекта **NICA – Nuclotron based Ion Collider Facility**:

- 2016: подписано Соглашение между ОИЯИ и Правительством РФ о создании и эксплуатации **Комплекса NICA**



НУКЛОТРОН



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ  
НАУКА



ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РАСПОРЯЖЕНИЕ  
от 27 апреля 2016 г. № 713-р  
МОСКВА

О подписании Соглашения между Правительством Российской Федерации и между партией «Единая Россия» и научной-исследовательской организацией Общественным институтом ядерных исследований в создании и эксплуатации комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA

3. Определить вклад Российской Федерации в создание базовой конфигурации комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA до 2020 года в размере 8800 млн. рублей (в ценах 2013 года) на счет средств федерального бюджета.  
4. Министру России выделить в 2016 году 4837,9 млн. рублей на уплату вклада Российской Федерации и международную междопартийственную научно-исследовательскую организацию Общественный институт ядерных исследований в целях финансового обеспечения создания комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA за счет бюджетных ассигнований, предусмотренных Министром России Федеральным законом "О федеральном бюджете на 2016 год", в том числе за 2016 год в объеме 1490 млн. рублей, за 2017 год в объеме 2340 млн. рублей за 2018 год в объеме 1007,9 млн. рублей.

5. Министру России, Министру России начать с формирования проекта федерального бюджета за 2018 год и последующие периоды предусматривать ежегодно дополнительные бюджетные ассигнования федерального бюджета на увеличение объема финансирования государственной программы Российской Федерации "Развитие науки и технологий" на 2013 - 2020 годы в целях обеспечения вклада Российской Федерации в создание базовой конфигурации комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA до размера, указанного в пункте 3 настоящего распоряжения.



Д.Маслов

- 2018: Мегасайенс проект Комплекс **NICA** вошел в состав Национального проекта РФ НАУКА



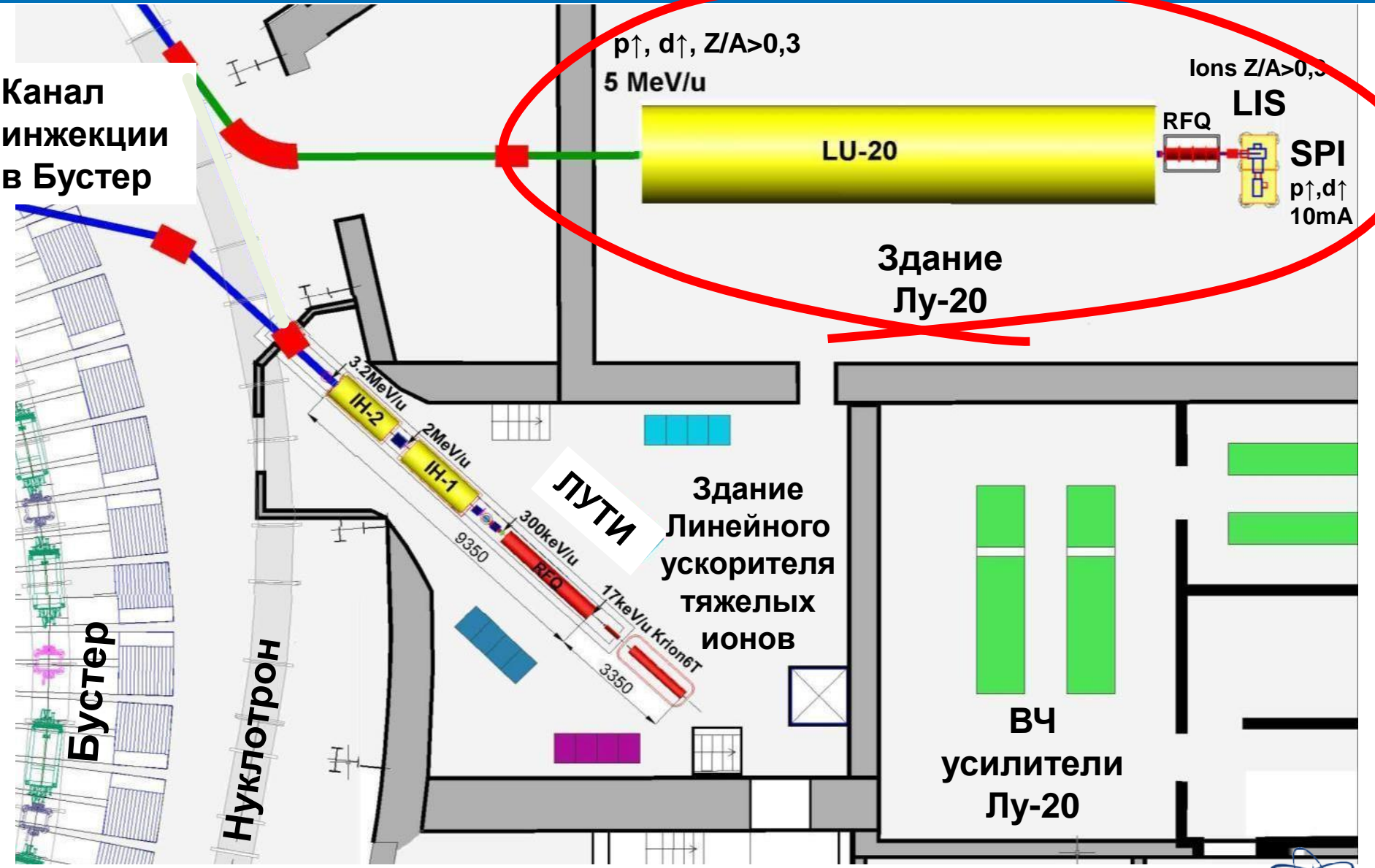
К реализации мегапроекта **Комплекс NICA** привлечено около **2000** ученых и специалистов из **90** институтов **России** и **26** стран мира.  
От **России** участвуют более **1300** сотрудников из следующих организаций:

*НИЦ КИ,  
ИФВЭ КИ  
ИТЭФ КИ,  
ПИЯФ КИ,  
ИЯФ СО РАН,  
ИЯИ РАН,  
НИИЯФ МГУ,  
НИЯУ МИФИ,  
ФИАН РАН,  
МФТИ,  
СПБПУ,  
СПбГУ,  
ВШЭ,  
Самарский университет,*

*Томский ун-т,  
Белгородский ун-т,  
Санкт-Петербургский политехнический ун-т,  
СОГУ,  
ИМБП РАН,  
ИОНХ РАН,  
ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России,  
ФИЦ ХФ РАН,  
ИТЭБ РАН,  
МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России,  
ОИВТ РАН,  
и др.*

*После ввода в эксплуатацию **коллайдера NICA** в 2025 г. число участников заметно возрастет.*





В 2012г. начато проектирование,  
а в 2014 изготовление нового форинжектора

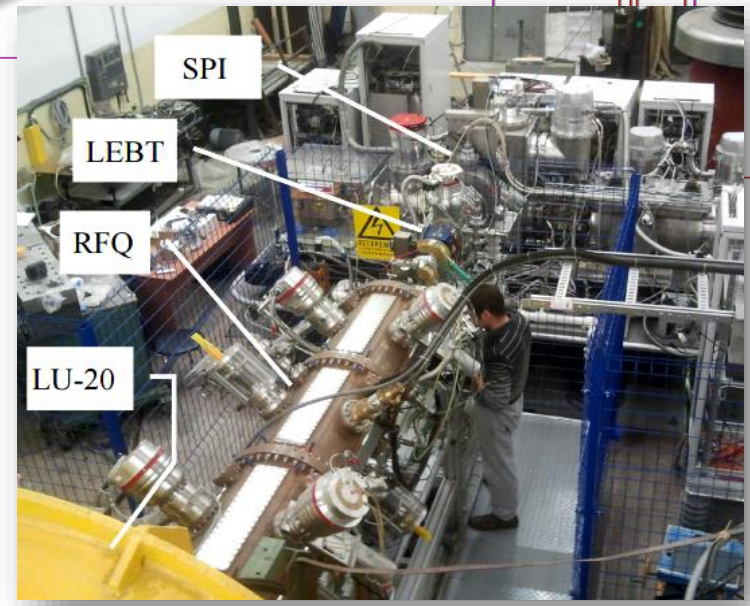
Источник SPI



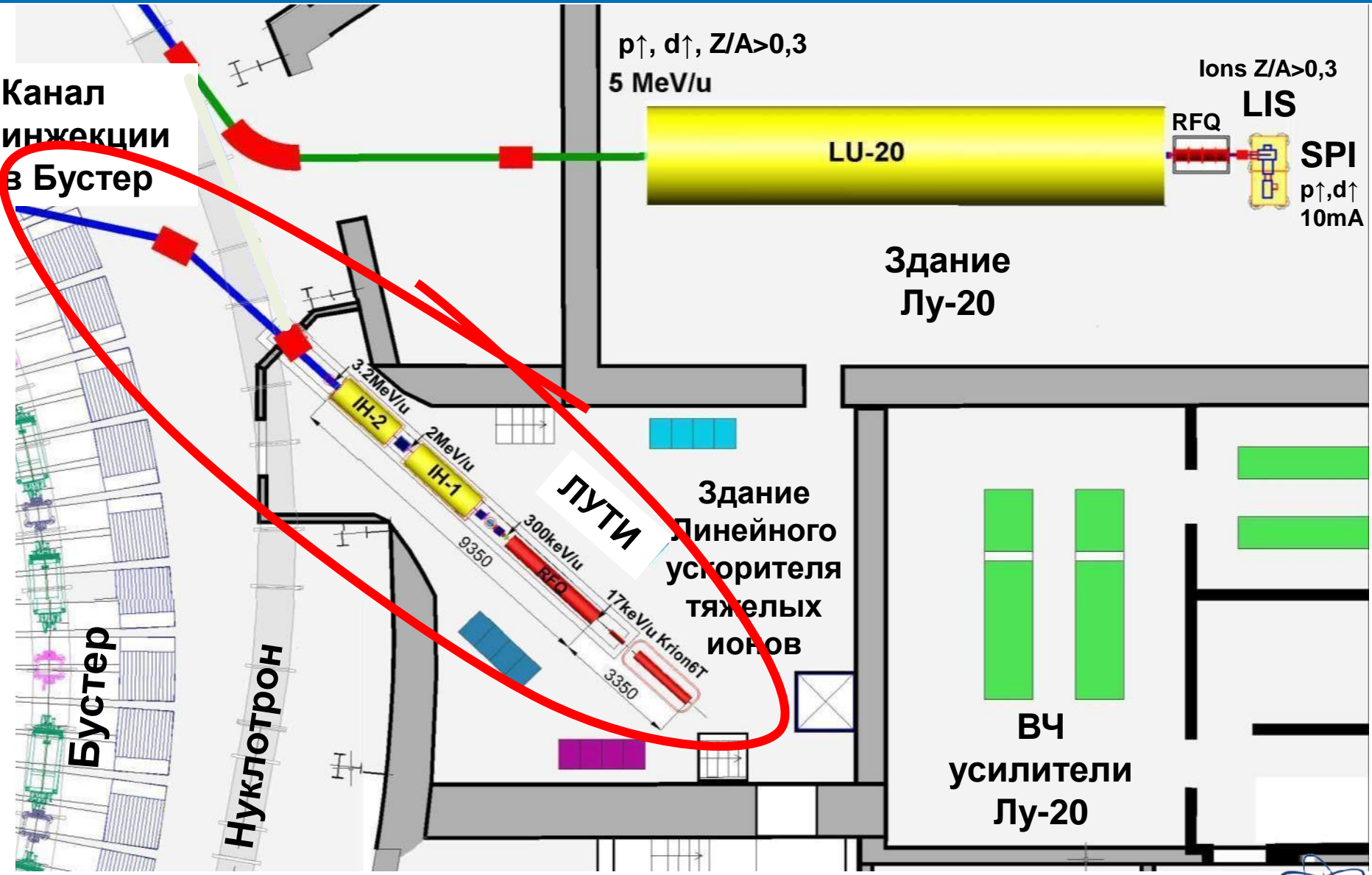
Проект SPI (Source of Polarized Ions) начинался в конце 2000-х.

Задача – обеспечение комплекса поляризованными ионами (D+,H+) интенсивностью до 10<sup>10</sup> p/pulse

Пучки поляризованных d & p из SPI ускорялись на Нуклотроне в ходе 4х сеансов в 2016-17 г.







**Стабильная и надежная работа входе 4х сеансов ПНР Бустера и Нуклотрона с пучками ионов  $Fe^{14+}$  и  $Xe^{28+}$**



Линейный ускоритель тяжелых ионов



Линия инжекции в Бустер

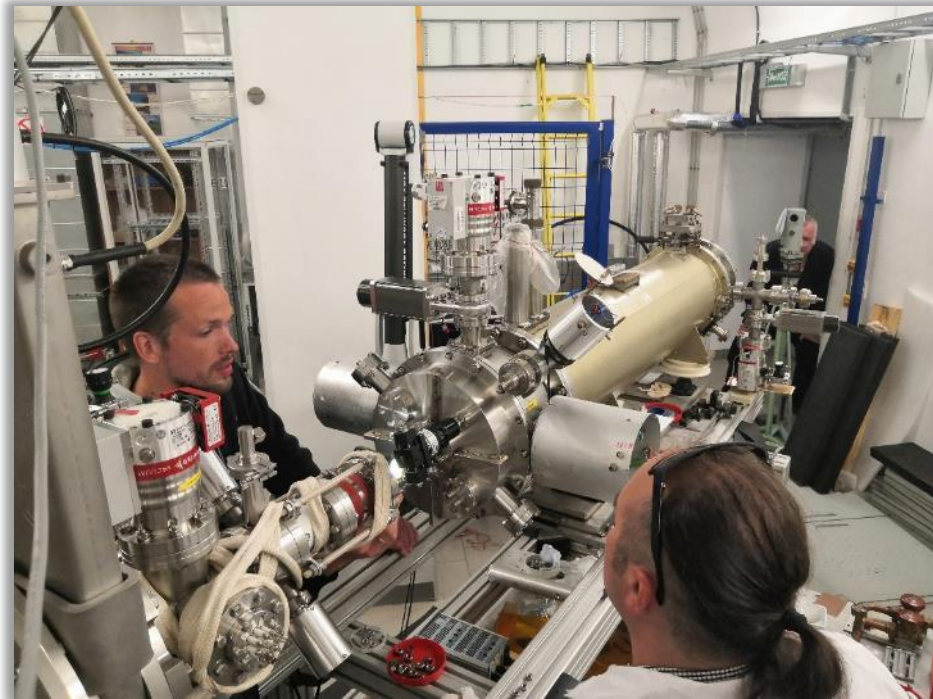
**Введен в строй  
в 2018**

<b>A/q (Целевой пучок <math>Au^{31+}</math>)</b>	<b>6.25</b>
<b>Ток пучка</b>	<b>&lt; 10 mA</b>
<b>Частота посылов</b>	<b>&lt; 10 Hz</b>
<b>Энергия на выходе</b>	<b>3.2 MeV/u</b>

**Трансмиссия 2mA пучка ионов  $Fe^{14+}$  до 75% от RFQ до выхода ЛУТИ, 3.2 МэВ/нуклон**



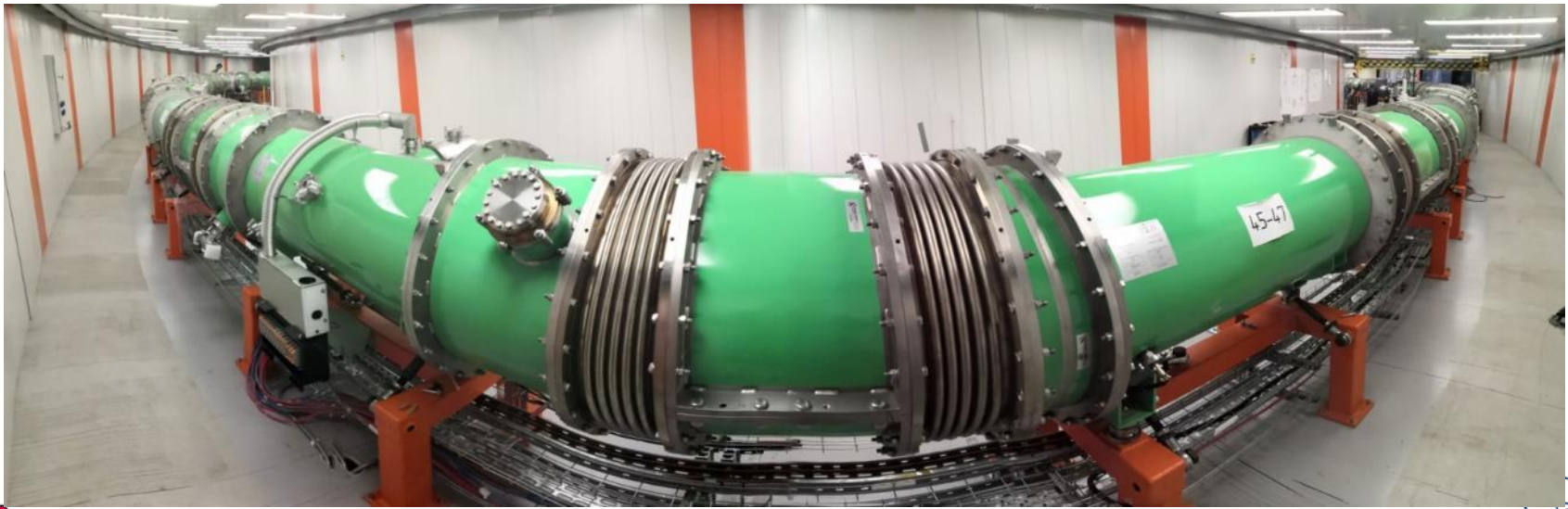
В 2022 КРИОН-6Т был установлен на ЛУТИ и обеспечил самый длинный ускорительный сеанс с ионами Ar и Xe.  
Модернизирован и оптимизируется для обеспечения накопления ионов в Бустере.



*КРИОН-6Т в ходе юстировки на ЛУТИ после замены структуры ловушки для сокращения длины импульса до 4 мкс*

*С целью эффективного накопления пучка в Бустере все системы ЛУТИ и КРИОНа модернизированы и работают с частотой повторения 10 Hz.*

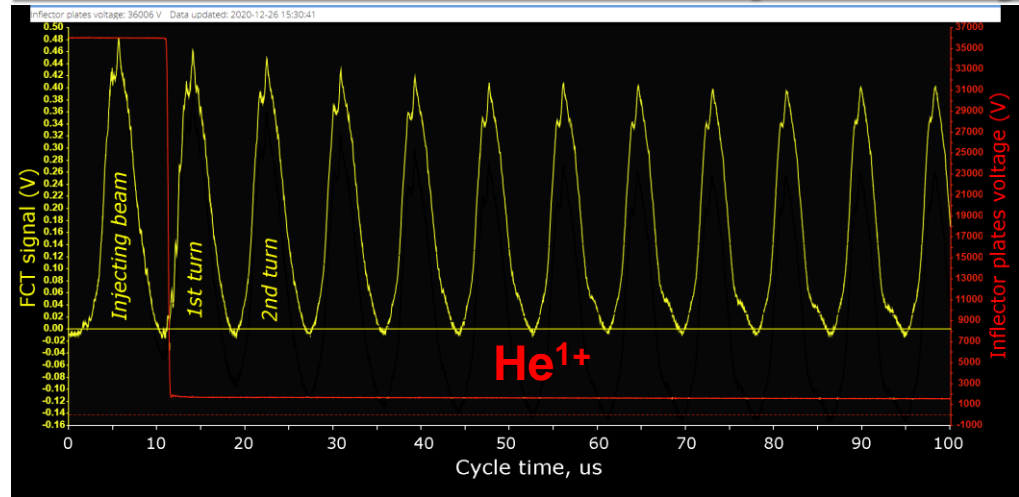
1. Введение (комплекс NICA, установки)
2. Два линейных ускорителя & источники
  - Лу-20 (легкие и поляризованные ионы)
  - NICA / ЛУТИ (тяжелые ионы)
3. Бустерный синхротрон



Параметр	
Периметр, м	210
Структура	DFO
Энергия инжекции, МэВ/нуклон	3.2
Максимальная энергия, МэВ/нуклон	578
Поле в диполях, Тл	1.8
Магнитная жесткость, Тл·м	25.0
Сорт ионов (проектный)	$^{197}\text{Au}^{31+}$ $^{209}\text{Bi}^{35+}$



## 19.12.2020, 19:56 - Первый пучок в кольце Бустера.



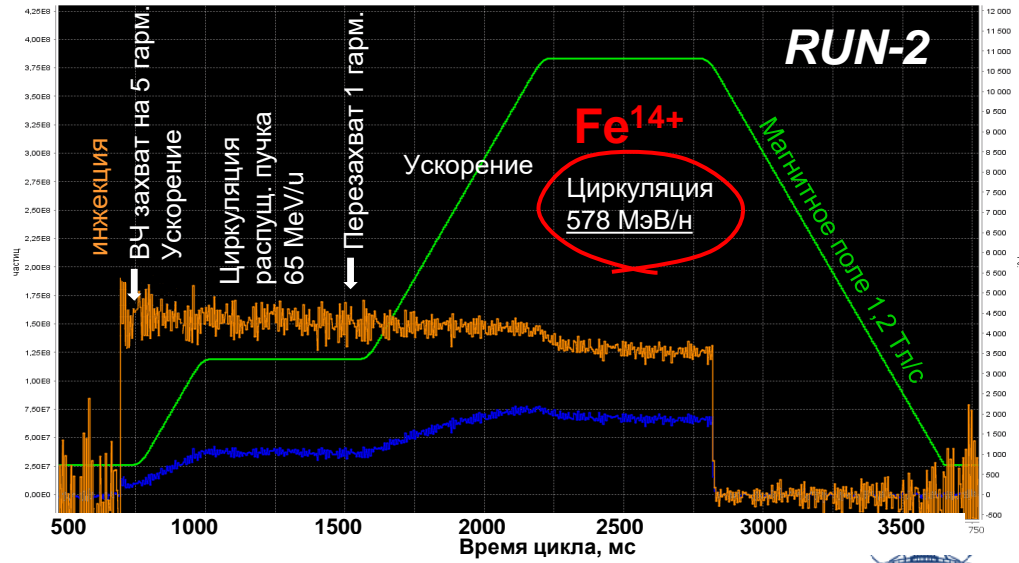
Сигнал с быстрого трансформатора тока пучка (FCT)

26.12.2020

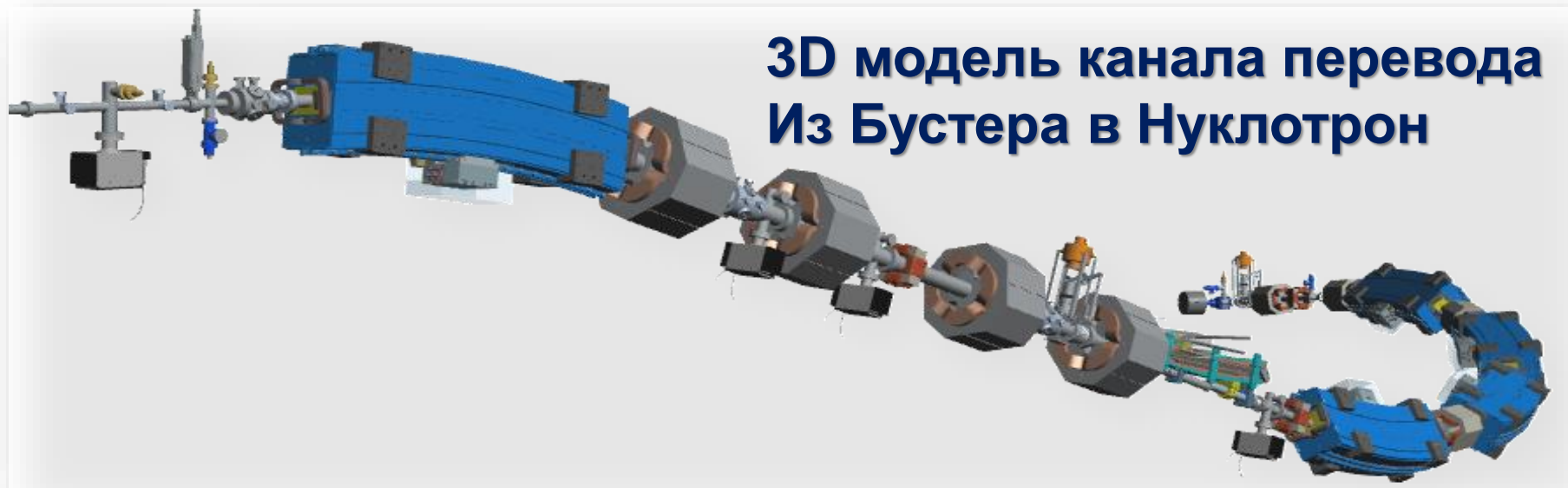
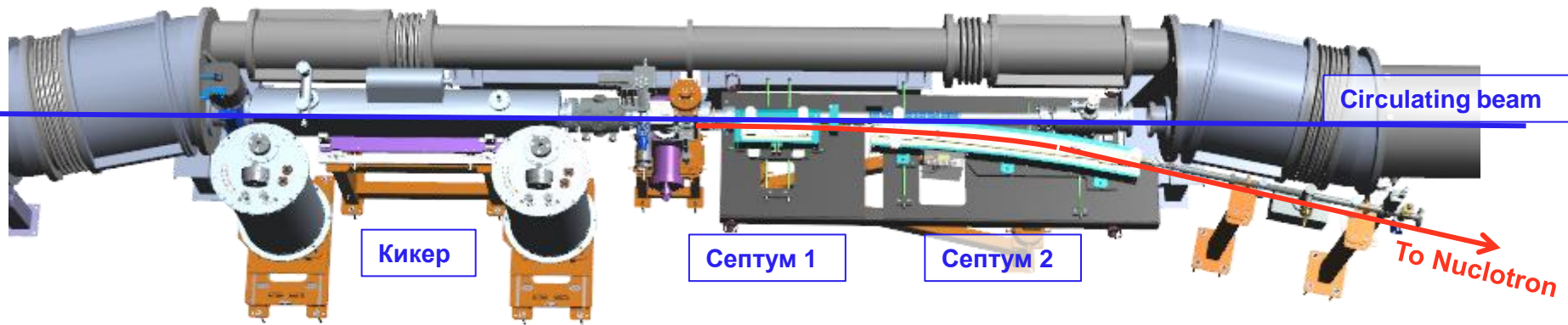
✓ Потери пучка He<sup>1+</sup> < 10% на первых пяти оборотах, далее практически без потерь.

### Сентябрь 2021 Fe<sup>14+</sup>

- Инжекция с адиабатическим захватом на 5 гармонике ВЧ (>95%),
- Ускорение до 65 MeV/u,
- Перезахват в 1 гарм. (близко к 100%)
- Ускорение до 578 MeV/u с проектной dB/dt = 1.2 Тл/с



## Секция быстрого вывода пучка прямолинейный промежуток 3



## 3D модель канала перевода Из Бустера в Нуклотрон

# Канал перевода & инжекция

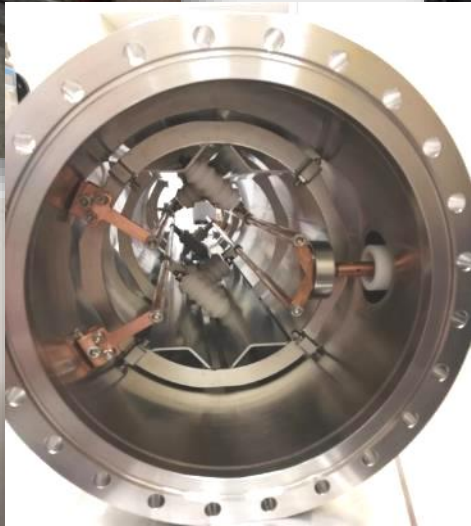
**Весна 2022 RUN-3 впервые пучок переведен из Бустера в Нуклотрон и ускорен.**



**Канал перевода пучка в Нуклотрон**



**СП магнит Ламбертсона**

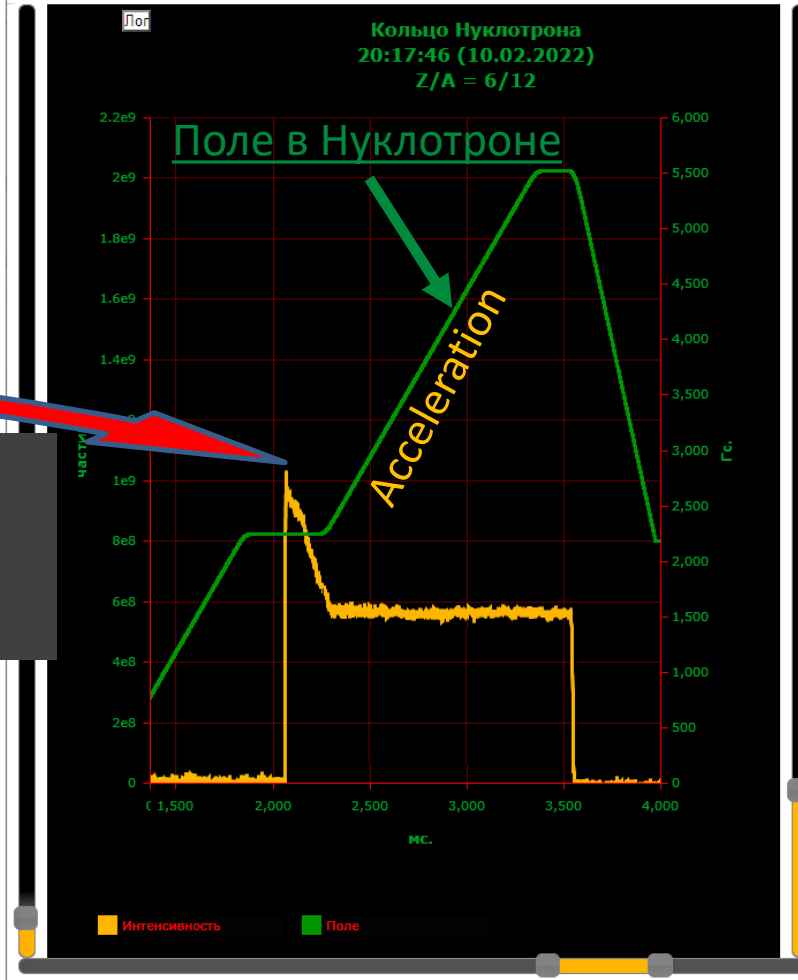
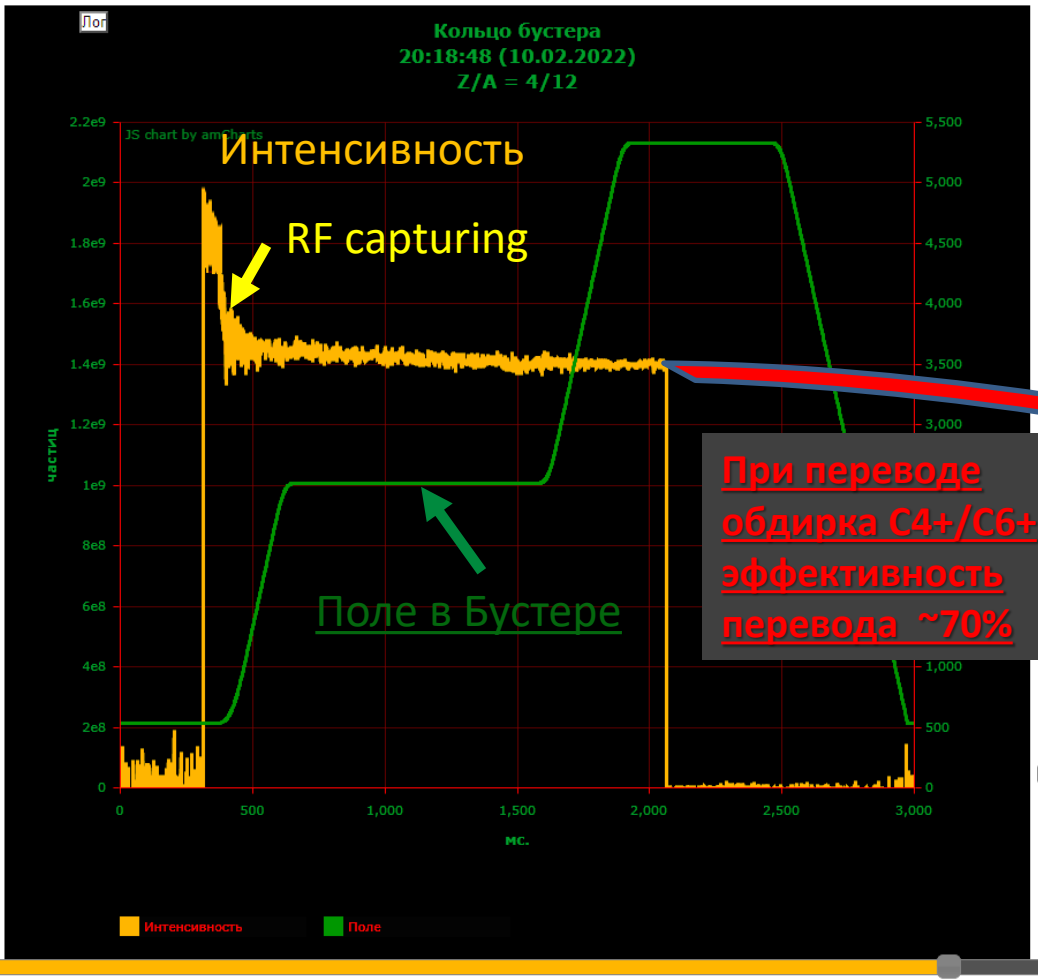


**4х стержневой кикер**



## Интенсивность пучка в Бустере

## интенсивность в Нуклотроне



Сигналы с DC трансформаторов тока в Бустере и Нуклотроне

## Циркуляция $^{124}\text{Xe}^{28+}$ при энергии инжекции

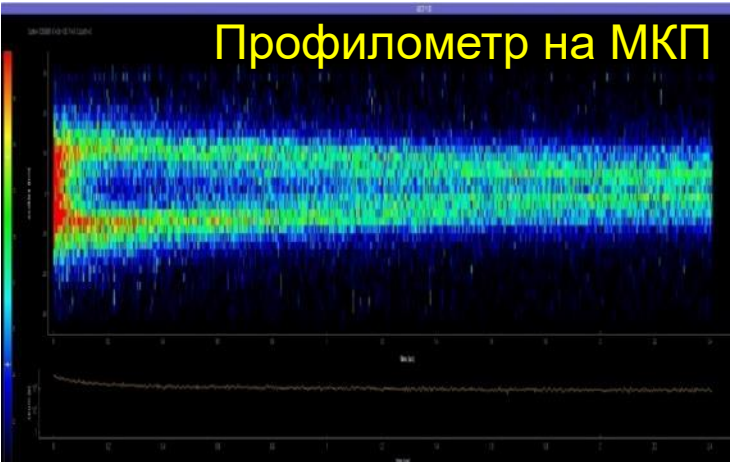
## Продольное охлаждение

Электронное охлаждение  
в поперечной плоскости

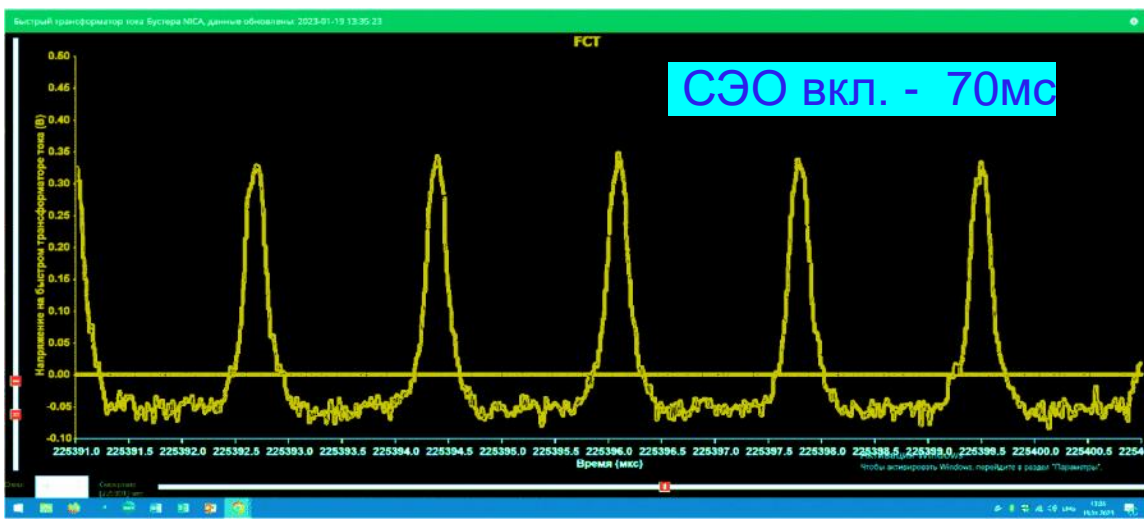
Энергия электронов 1,93 keV  
Ток электронов 150 mA



## Профилومتر на МКП



Сигнал с МКП-профилометра  
при охлаждении ионов на  
энергии 3.2 МэВ/нуклон



1. Введение (комплекс NICA, установки)
2. Два линейных ускорителя & источники
  - *Лу-20 (легкие и поляризованные ионы)*
  - *НИЛАС / ЛУТИ (тяжелые ионы)*
3. Бустерный синхротрон
4. Синхротрон Нуклотрон
5. Кольцо коллайдера
6. Инфраструктура

## Сверхпроводящий синхротрон (магниты «Дубна»: 1.8Тл, 2Тл/с)

**В работе  
с марта 1993 года**

**Периметр ~ 251м**

**М. жесткость < 43Тлм**

**Медленный вывод  
пучка: в 2000г.**

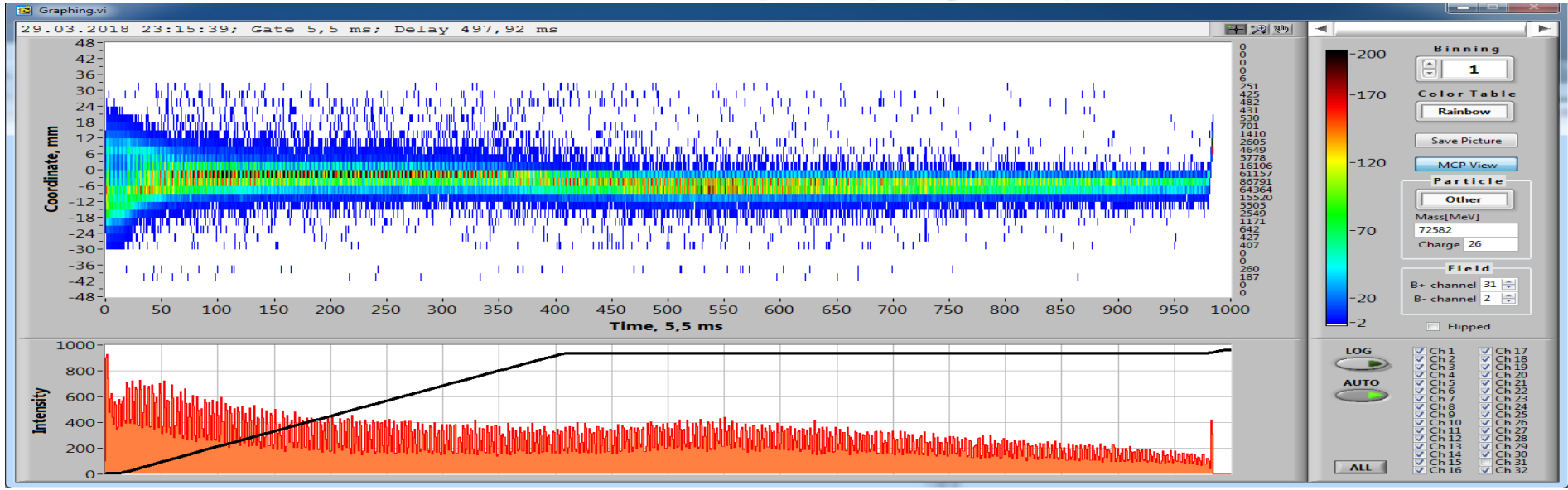
**59 сеансов работы**



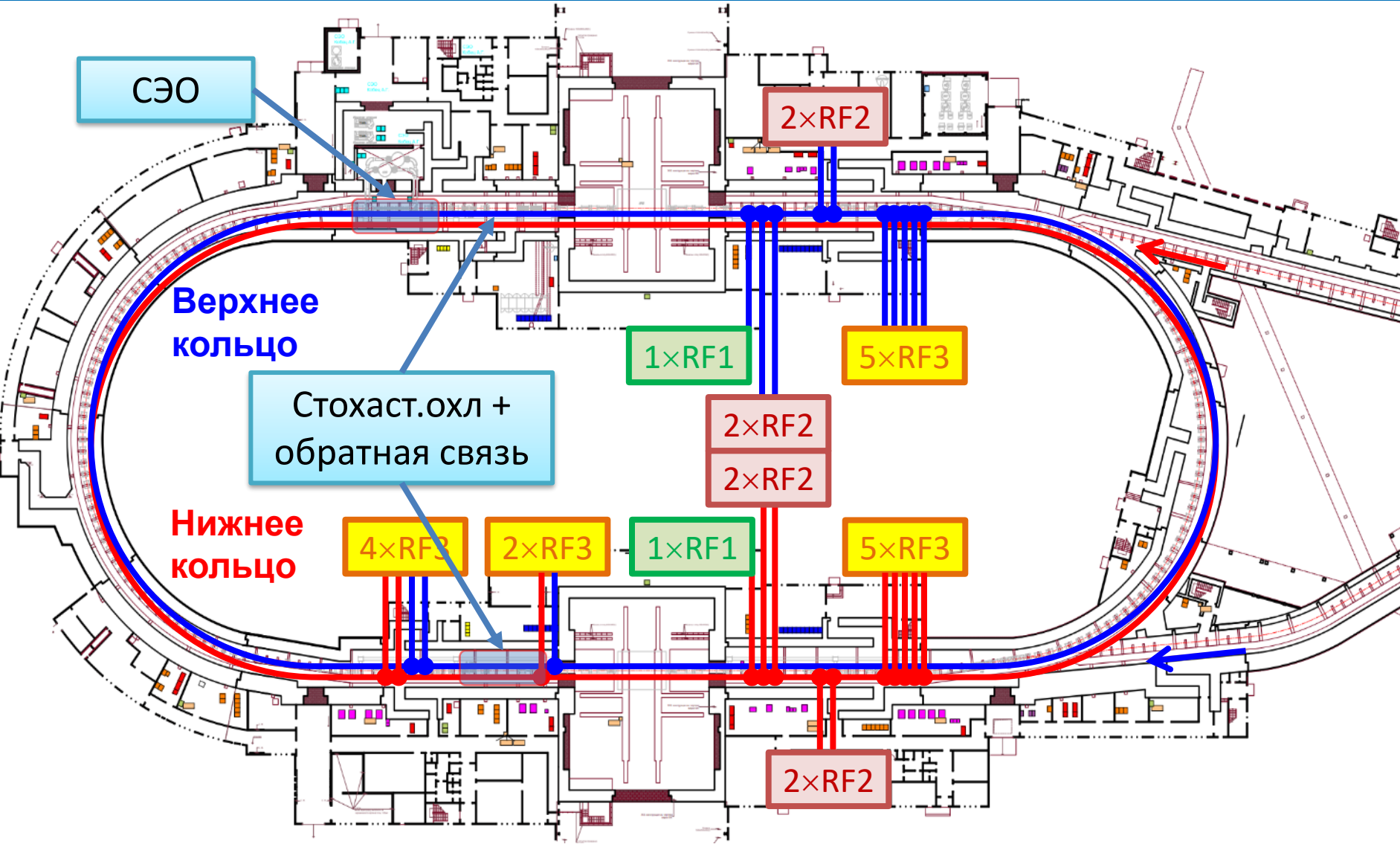
**Ускорены пучки:  
Ионы от p до Xe (C, Mg, Fe, Ar, Kr)  
Поляризованные p & d**

**Энергия p max 12 GeV  
Лёгкие ионы max 6 GeV/u  
Тяжелые ионы max 4.5 GeV/u**

## $^{124}\text{Xe}^{+54}$ ионы на МКП мониторе при ускорении до 3,9ГэВ/н



1. Введение (комплекс NICA, установки)
2. Два линейных ускорителя & источники
  - *Лу-20 (легкие и поляризованные ионы)*
  - *НИЛАС / ЛУТИ (тяжелые ионы)*
3. Бустерный синхротрон
4. Синхротрон Нуклотрон
5. Кольцо коллайдера
6. Инфраструктура



## Стартовая конфигурация

- RF-1 (барьерная) для накопления
- RF-2 в сокращенной комплектации:  
по 2 резонатора на кольцо (50%)
- 1 канал Стох. охлаждения на кольцо  
(продольное охлаждение)

## Базовая конфигурация

- RF-1 (барьерная) для накопления
- RF-2 (22h) восемь резонаторов (по 4)
- RF-3 (66h) проектная = 16 рез.
- Сток. охлаждения полная конф.
- СЭО
- Обратные связи

22 сгустка длиной  $\sigma \sim 2$  м  
в каждом кольце  
светимость  $L \sim 5 \times 10^{25} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$

22 сгустка в каждом кольце  
длиной  $\sigma \sim 0.6$  м  
светимость  $L \sim 1 \times 10^{27} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$





Все регулярные сверхпроводящие магнитные элементы смонтированы на своих местах и отъюстированы для криогенных испытаний.

**В рамках «Технологического цикла» идет поэтапная проверка всех подсистем включая высоковакуумную, криогенную, питания, защит, термометрии, АСУ и др...**

Продолжаются испытания и монтаж элементов байпасов, ввода токов и криогенных жидкостей, переходов «тепло/холод».

**В апреле запланированы поочередные криогенно-магнитные испытания полуколец**



## RF1 & RF2 станции смонтированы в тоннеле



**Две RF1 станции  
(барьерные)  
Установлены и  
протестированы**

**4 RF2 резонатора в  
стартовой конфигурации  
Установлены в тоннеле и  
испытаны на «холостых»**

## RF3 тестируется в ИЯФ



**RF3 в ИЯФ СО РАН  
(Новосибирск)**

**16 RF3 станций  
в полной конфигурации,  
Доставка - 2025,  
Пучковые тесты – 2026**

Каждое кольцо коллайдера запитывается тремя источниками: диполи +  $\Phi$  + Д линзы

**Главные источники:**  
3 ед.  
(10,4 кА; 1кА; 0,8кА)

**Дополнительные ИП:**  
88 ед. (10V x 300A)

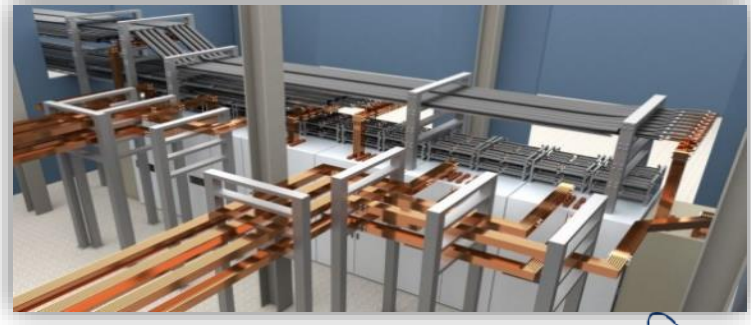
**ИП корректоров:**  
280 ед. (10V x 150A)

**ВТСП токовводы:**  
24 x 12кА;  
166 x 300А  
280 x 150А

**12 ключей системы эвакуации  
энергии из магнитов  
испытаны и смонтированы**



**Системы шинопроводов  
смонтированы и готовы к работе**



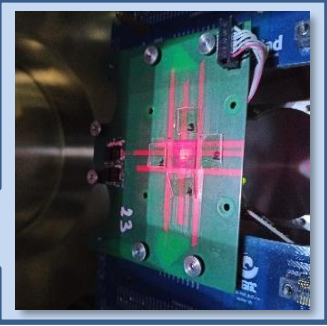
Коллаборация ARIADNA + инфраструктура NICA  
**СОЧИ + ИСКРА + СИМБО + СИЯЭТ**

НИЦ КИ ИТЭФ, АО  
«ЭНПО СПЭЛС», МИФИ,  
ООО «ВСТ», «ГИРОПРОМ»



Станция Облучения ЧИпов

**СОЧИ**



СИЯЭТ = Стенд Исследований Ядерной Энергетики и Трансмутации

ИСКРА = Исследовательский Стенд Компонентов РАдиоэлектроники



**ИСКРА**

**СИМБО**

СИМБО = Станция Исследований Медико Биологических Объектов

Возможность работы в широчайшем диапазоне сортов ионов, энергий и интенсивностей.  
Ионы от p до Bi,  
Энергии от 3.2 до 4500 МэВ/н  
Интенсивности от 10<sup>4</sup> до 10<sup>10</sup> ионов в сек.

Казань, Гелиймаш, Криогенмаш

Гелиевые газгольдеры  
1000 куб.м

Рабочая температура,	<i>K</i>	<b>4,5</b>
Мощность на 4,5 К,	<i>Вт</i>	<b>10000</b>
Производит-ть компрессоров	<i>Нм³/ч</i>	<b>28680</b>
Потребляемая мощность	<i>кВт</i>	<b>7200</b>
Расход хладагента	<i>кВт</i>	<b>390</b>
Полная холодная масса	<i>т</i>	<b>290</b>

Главные криогенные  
установки (корп.1Б)

Сателлитные  
рефрижераторы к.17

## Главная понизительная подстанция



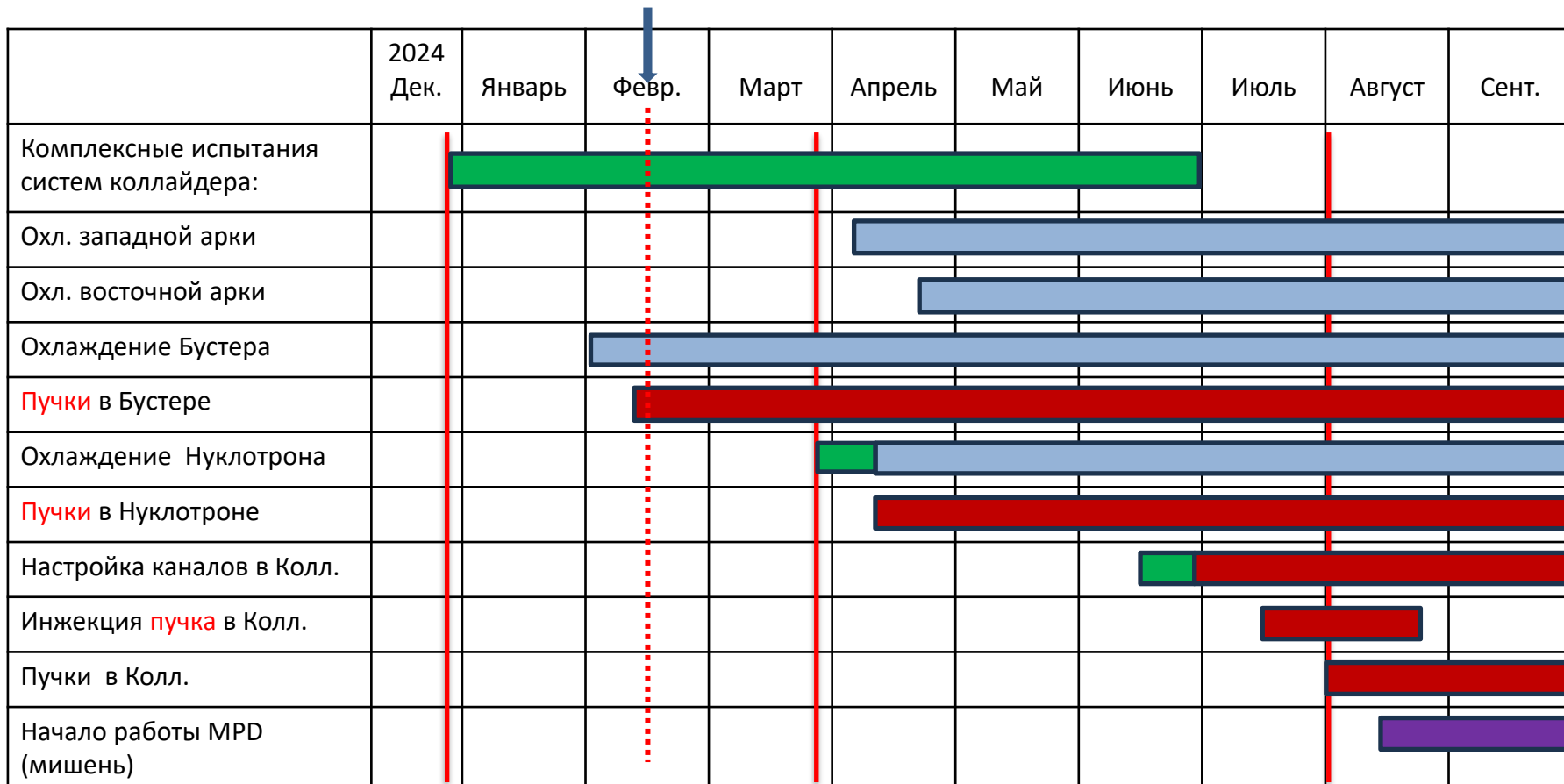
Проведена глубокая модернизация с 22 МВт до **41 МВт (110кВ)**



## 19 подстанций 1 – 12 МВт (6кВ)



## Сеанс пусконаладочных работ на комплексе NICA



25 дек. старт комплексных испытаний

24 мар. пуск комплекса на эксперимент

Август Пучки в коллайдере

**Спасибо за внимание**

