



Предложения СПбГУ для проведения экспериментальных исследований на ускорителе LINAC-200

**V.I. Zherebchevsky, N.A. Maltsev, G.A. Feofilov, F.F. Valiev, V.V. Petrov, N.A.
Prokofiev, E.O. Zemlin, V.M. Misheneva, S.N. Igolkin, V.P. Kondratiev, N.A.
Makarov, N.I. Kalinichenko, I.I. Erygin**

Санкт-Петербургский государственный университет

**Совещание FLAP 17 мая 2022
ОИЯИ**

СОДЕРЖАНИЕ

1. Несколько слов о Лаборатории

2. Предложения экспериментальных работ

Несколько слов о Лаборатории

Научно исследовательская

1. Пиксельные детекторы.
2. Сверхлегкие углекомполитные структуры поддержки детекторов.
3. Системы охлаждения детекторных комплексов

1. ALICE
2. NA61
3. MPD
4. SPD

1. Исследования ядерных реакций в широком диапазоне масс
2. Разработка и создание мишенных комплексов
3. Разработка систем диагностики пучков

1. Ядерная астрофизика
2. Ядерная медицина
3. Ускорители

1. Радиационная экология

1. Радионуклидный состав проб
2. Радон

1. Междисциплинарная

Расчетно-теоретическое обоснование комплекса мультиспектральной диагностики плотных многофазных плазменных образований

Образовательная

Разработаны и читаются курсы лекций

Проводятся мастер классы для школьников и студентов

Разрабатываются и внедряются новые лабораторные работы

Летняя практика школьников

Несколько слов о Лаборатории

**Научно
исследовательская**



Исследования ядерных реакций для получения новых радионуклидов диагностического и терапевтического назначения

**Theranostics:
терапия + диагностика**

«Новые радиофармпрепараты для диагностики и терапии онкологических заболеваний на основе биологически активных синтетических полимеров и эмиттеров электронов Оже»

КОЛЛАБОРАЦИЯ: Санкт-Петербургский государственный университет, «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», Институт высокомолекулярных соединений РАН

Прикладная



Разработка технологий производства радионуклидов применяемых для терапии и диагностики.

Мишенные комплексы для сильноточных ускорителей.



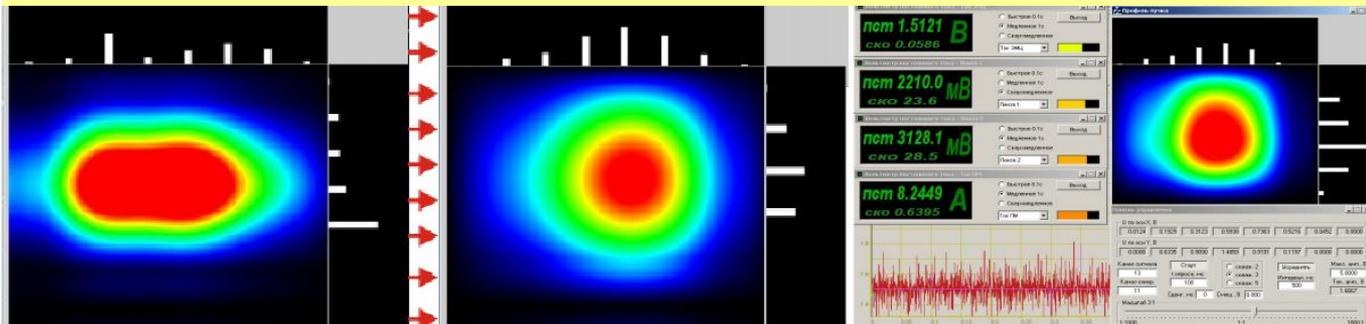
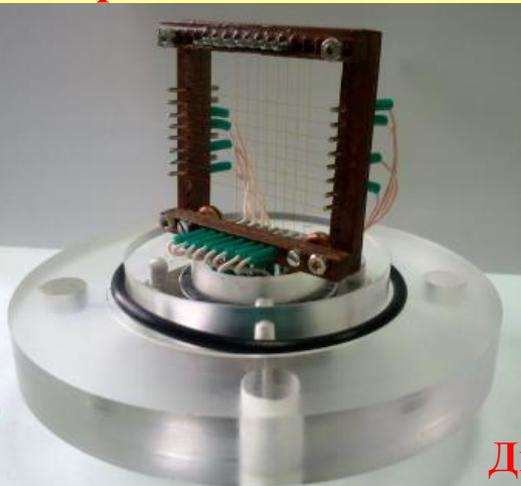
Отработка технологии охлаждения на высокоинтенсивных пучках LINAC-200

Предложения экспериментальных работ

- 1) Создание систем диагностики пучков заряженных частиц и тяжелых ионов в широком диапазоне энергий на основе мониторов вторичной электронной эмиссии.
- 2) Создание систем диагностики пучков заряженных частиц на основе МКП детекторов
- 3) Создание систем диагностики пучков заряженных частиц на основе телескопов кремниевых пиксельных детекторов (монолитные активные пиксельные сенсоры).
- 4) Разработка экспериментального стенда и проведение исследований с новыми пиксельными детекторами и сверхлегкими углекомпозитными материалами необходимыми для новых диагностических систем, используемых в ядерной медицине.
Исследование радиационной стойкости новых углекомпозитных материалов.

Предложения экспериментальных работ

1) Создание систем диагностики пучков заряженных частиц и тяжелых ионов в широком диапазоне энергий на основе мониторов вторичной электронной эмиссии

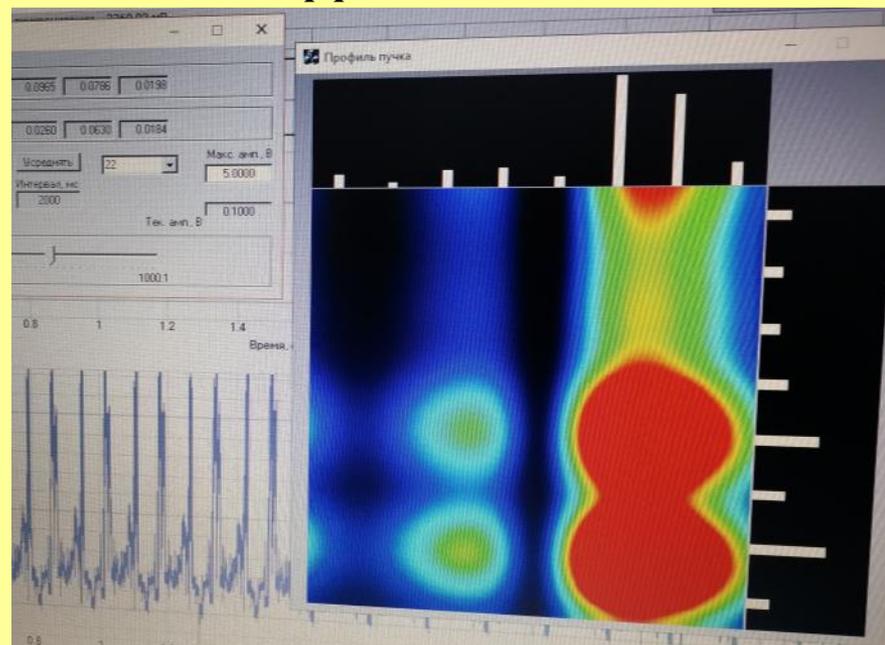


Профиль пучка α -частиц (27 МэВ) циклотрона У-120, СПбГУ

Диагностика пучков заряженных частиц в ускорительных технологиях
Коллаборация: СПбГУ- ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН

16 тонких (25 мкм)
изолированных
позолоченных
вольфрамовых проволочек
(8 вертикальных и 8
горизонтальных), на
расстоянии 2,5 мм друг от
друга

Пучки: 40Ar (53 МэВ)
Циклотрон ФТИ.

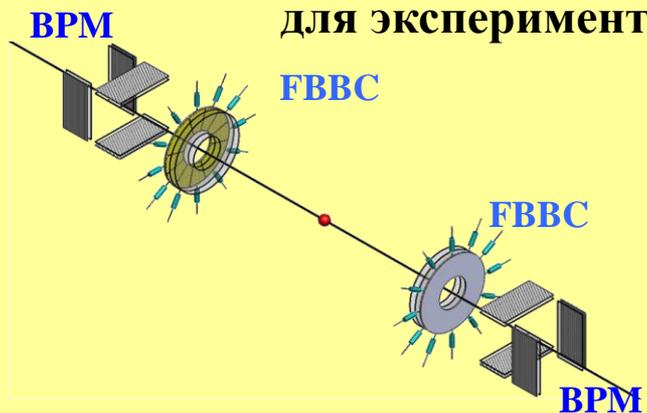


«Investigation of secondary electron emission processes in accelerator charged particle beam monitoring systems»,
LXXII international conference "Nucleus-2022.

Предложения экспериментальных работ

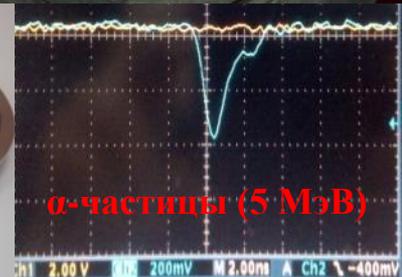
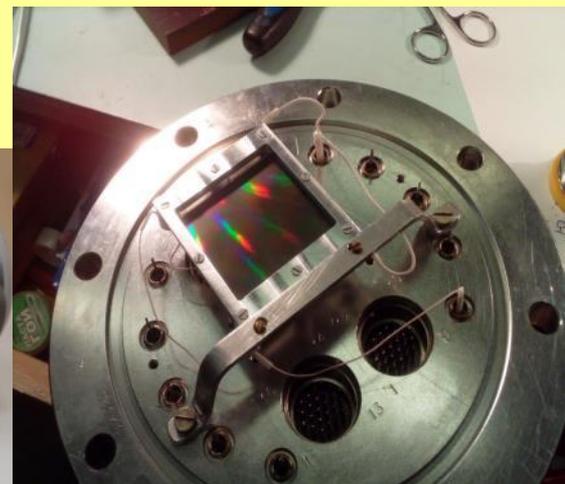
2) Создание систем диагностики пучков заряженных частиц на основе МКП детекторов

Разработки быстрых МКП детекторов для экспериментов на коллайдере NICA



- 1) Быстрый мониторинг положения и профиля пучка (BPM - Profilometer)
- 2) Быстрый мониторинг столкновений пучка с каждым событием (FBBC)

A. Baldin, G. A. Feofilov, P. Har'yuzov, F. F. Valiev, NIMA, 958, 162154, 2019



На выведенных пучках ускорителя LINAC-200 исследования:

- 1) эффективности регистрации частиц разными сборками МКП;
- 2) временного разрешения МКП детекторов
- 3) нагрузочных характеристик;
- 4) испытания быстрой электроники

Переносная вакуумная камера с тонкими (50 мкм) титановыми окнами для исследования эффективности регистрации частиц шевронными МКП. Могут быть установлены до 3 МКП-детекторов.

Предложения экспериментальных работ

3) Создание систем диагностики пучков заряженных частиц на основе телескопов кремниевых пиксельных детекторов (монокристаллические активные пиксельные сенсоры)

Monolithic Active Pixel Sensors (MAPS)

Idea from CMOS Active Image Pixel Sensors

Advantages of CMOS imaging sensors (camera-on-chip) in industry: low power, compact devices (digital cameras) due to electronics – on a chip, reduced the number of components



Era of digital photography



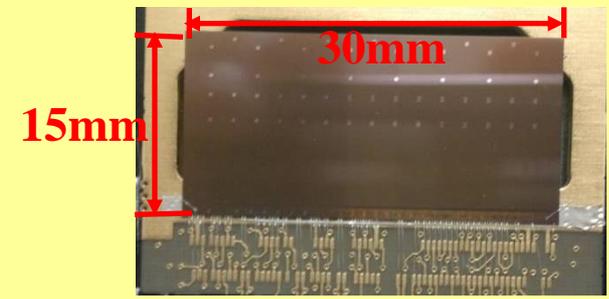
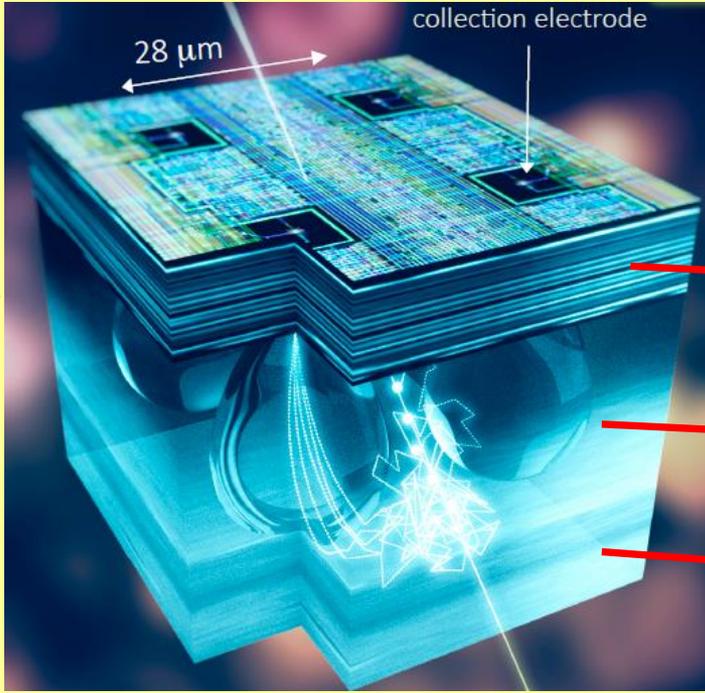
Era of mobile photography

MAPS: TowerJazz
180nm CMOS
Imaging Process

V. Manzari,
 EICUG2019, Paris

Small n-well diode (2 μ m diameter), ~ 100 times smaller than pixel \rightarrow low capacitance

How pixel detector works?



512 x 1024 sensitive pixels

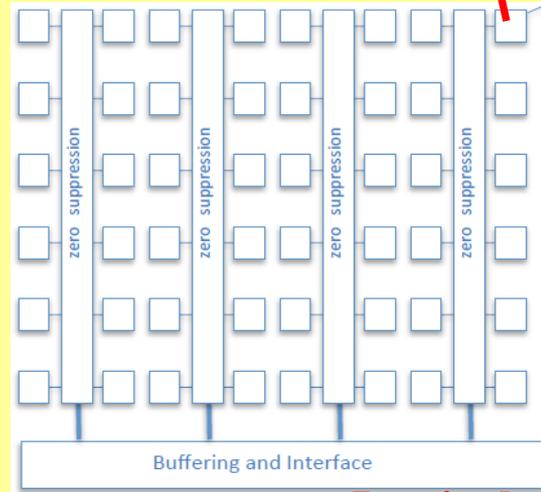
Metal layers (11 μ m)

High resistivity (> 1k Ω · cm) p-type epitaxial layer (25 μ m)

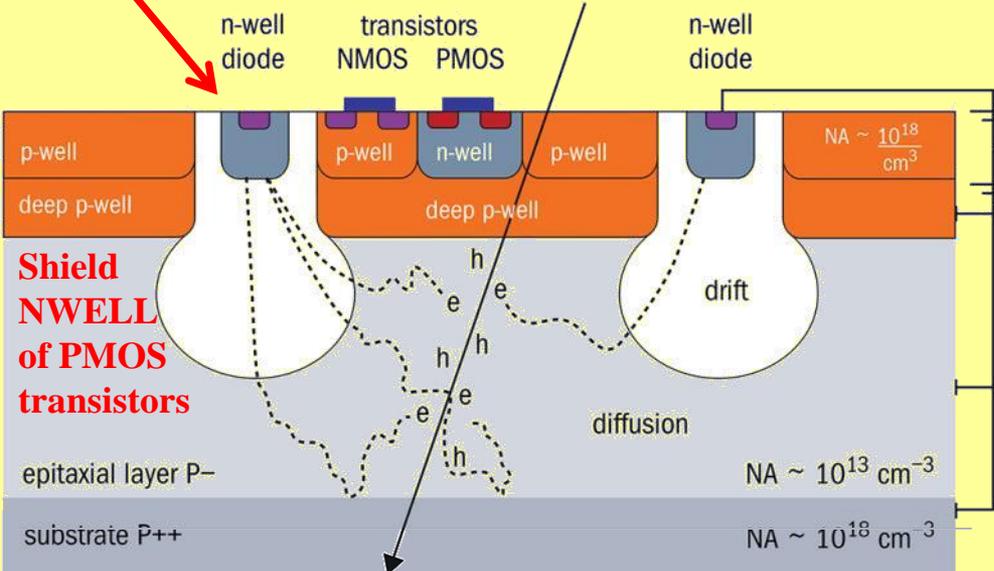
low-resistivity p-type substrate (14 μ m)



Chip architecture



Back bias
S/N ratio increases, higher efficiency



In-pixel: amplification, discrimination, hit buffer

Example: ALICE Inner Tracking System

90 Outer layer (OL)

**Staves
(1500mm)**

54 Middle layer (ML)

Staves (900mm)

**48 Inner layer (IL)
Staves (290mm)**

STAVES

Total staves:

48 (IL) – Inner Barrel

54(ML) and 90(OL) – Outer Barrel

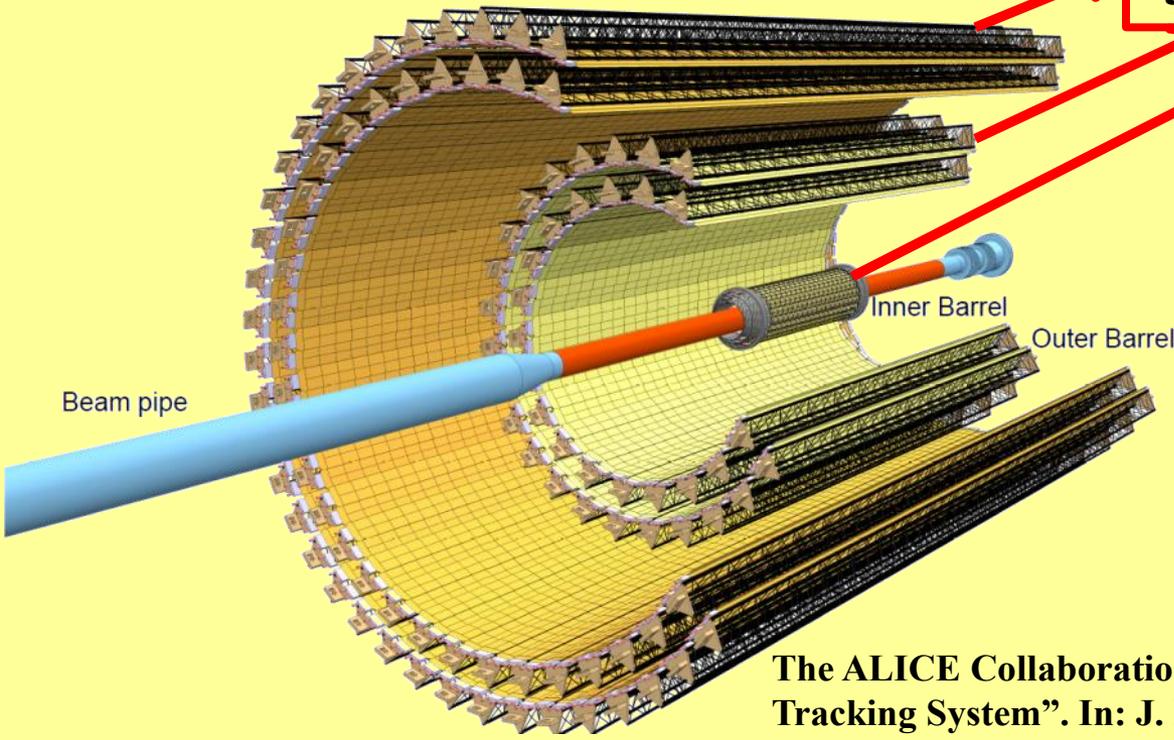
Stave consists of :

- 1. Hybrid Integrated Circuit (HIC)**
- 2. Cold plate**
- 3. Space frame**

**Barrel: 7 layers of Monolithic
Active Pixel Sensors (MAPS)**

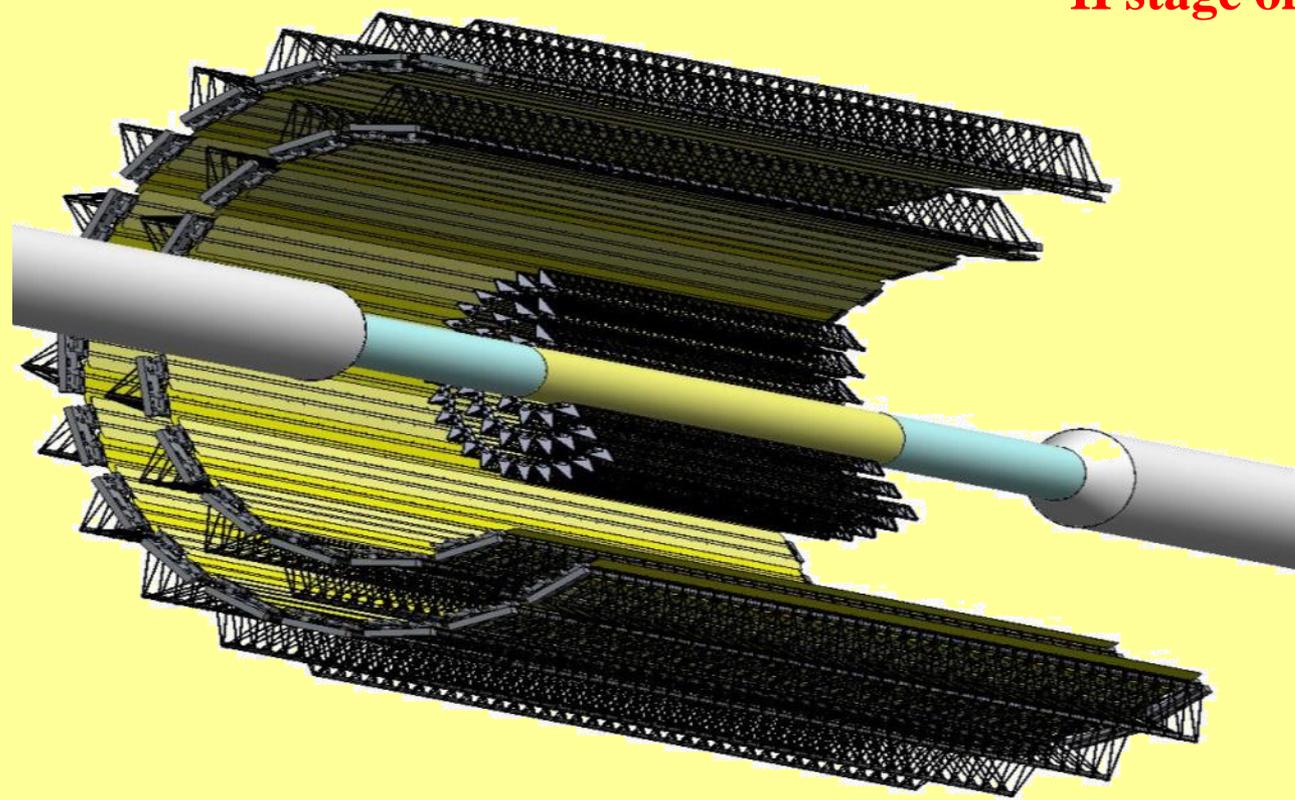
New ITS:

12.5 G pixels



Vertex detectors for the experimental set-ups of the NICA complex

II stage of the MPD experiment



STAVES

5 layers model

12 }
22 } Inner Barrel
32 } IB

36 }
48 } Outer Barrel
OB

- Stave consists of :
1. Hybrid Integrated Circuit (HIC)
 2. Cold plate
 3. Space frame

Geometrical model of the MPD vertex detector.

Barrel: 5 or 6 layers of Monolithic Active Pixel Sensors (MAPS)

V.I. Zhrebchevsky, V.P. Kondratiev, V.V. Vechernin, S.N. Igolkin, Nuclear Inst. and Methods, A 985, 164668, (2020)

Study of the pixel sensor characteristics

Beam tests in JINR

The TERMINATOR - Experimental set-up for the NICA MPD Inner Tracker

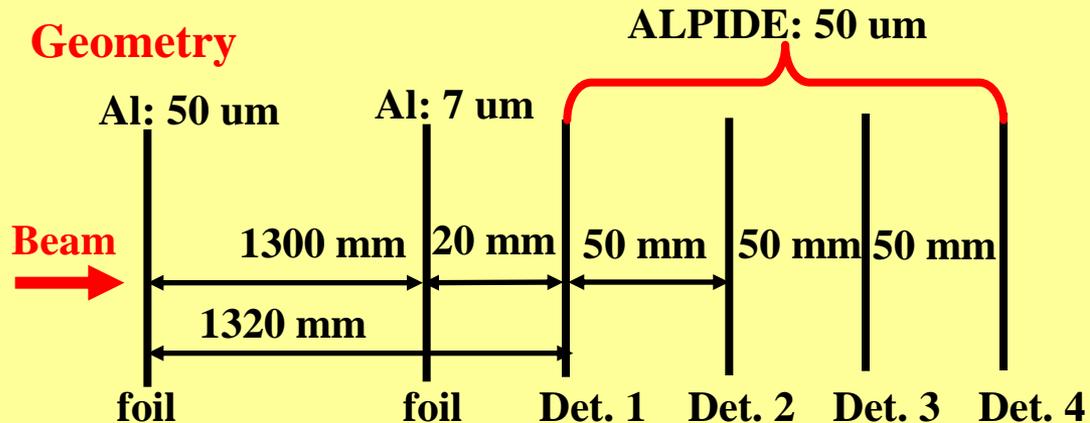
Run 1, Run 2

Accelerator: LINAC-200

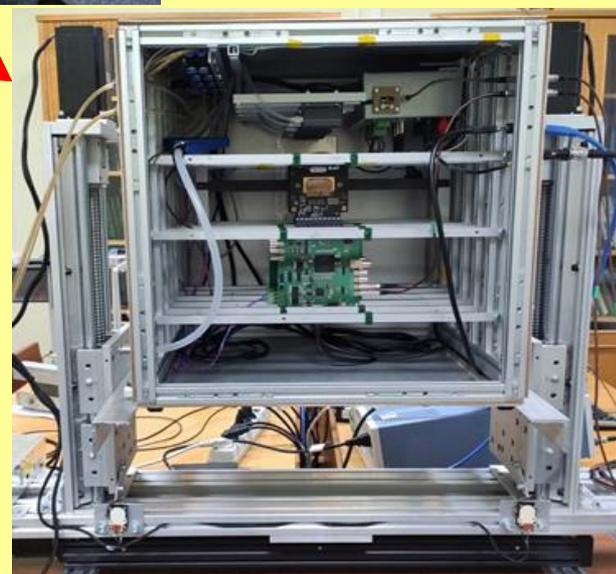
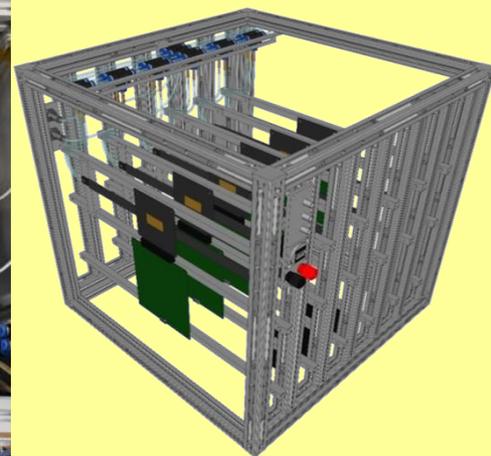
Beam: electrons ~ 50-60 MeV

electrons ~ 150 MeV

Geometry



GEANT 4 calculation of the doses on the detectors

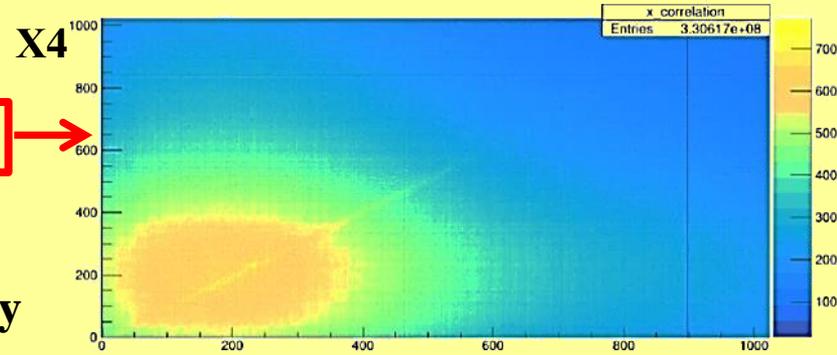


Cooling (water),
Two scintillators for the trigger,
Precise X-Y movement
(3 synchronized moving stage)

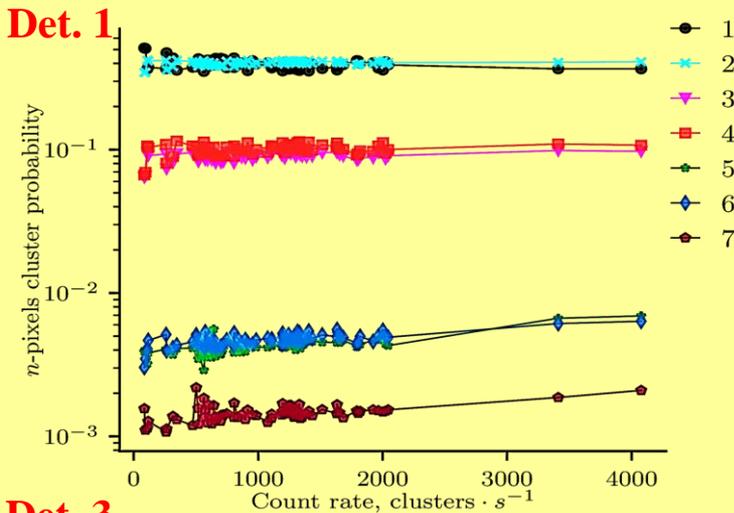
Study of the pixel sensor characteristics

Beam tests in JINR

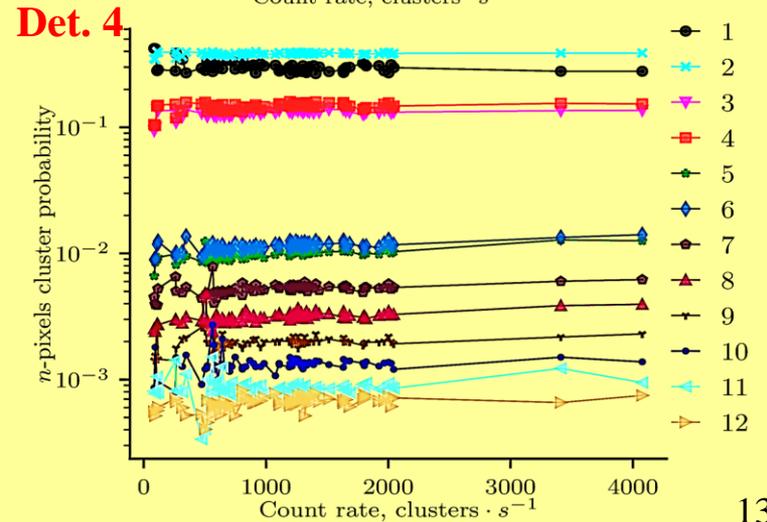
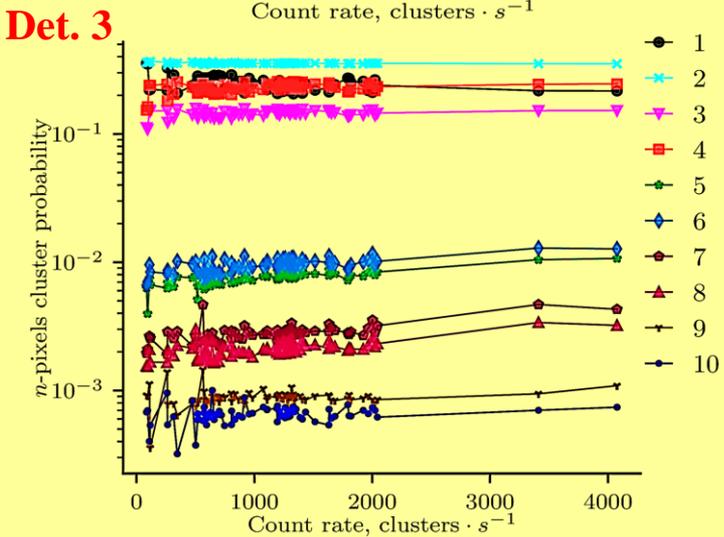
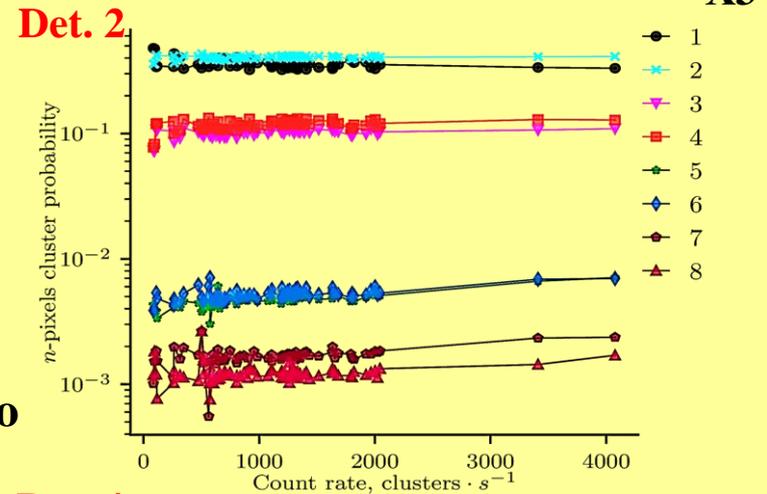
Correlations of pixel clusters between the detector planes



The probability of occurring the clusters with multiplicity n vs. electron beam (150 MeV) intensity



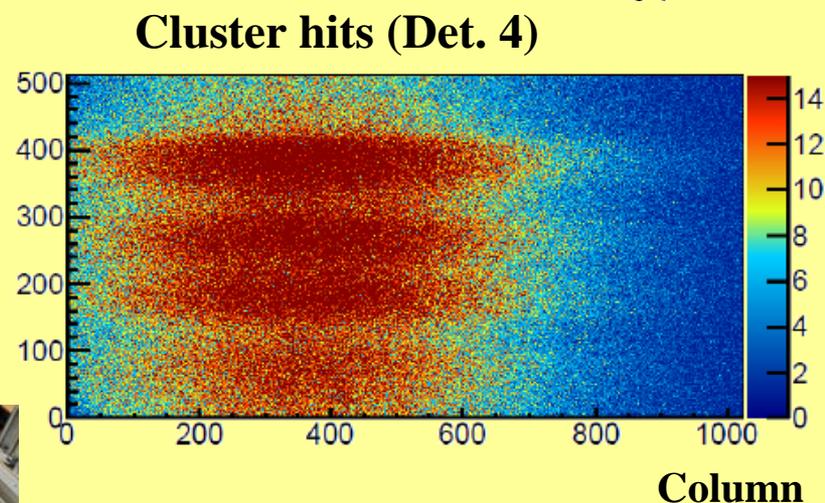
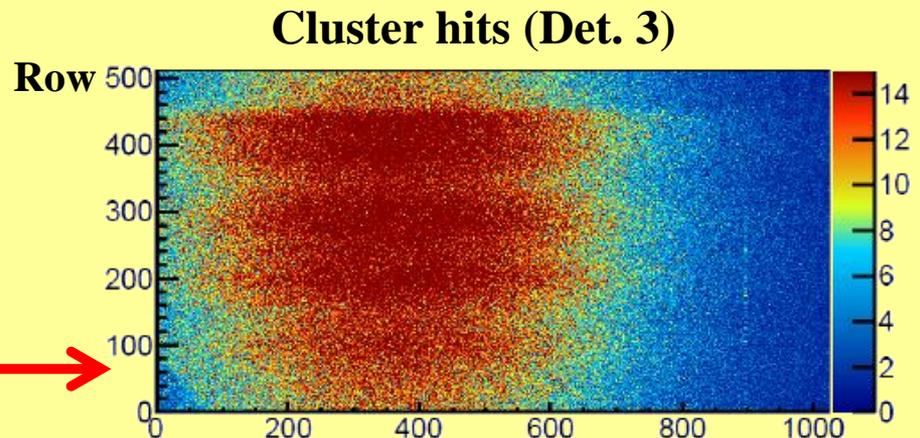
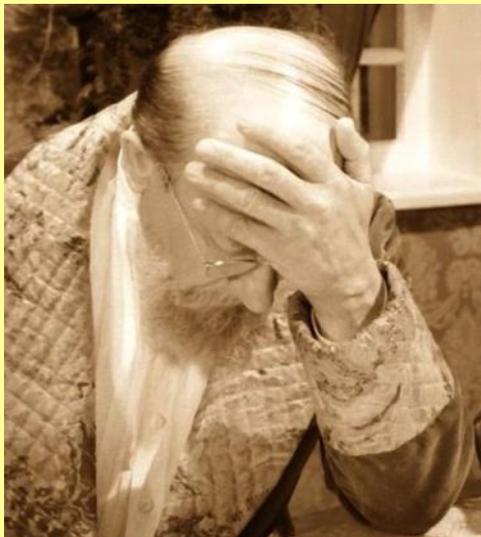
- 1) $n \leq 4$ -95% clusters
- 2) $n \leq 4$ – there is no dependency on the beam intensity
- 3) There is no big clusters (n only up to 12)



Study of the pixel sensor characteristics

Beam tests in JINR

Problems:
High beam intensity!
Low energies!



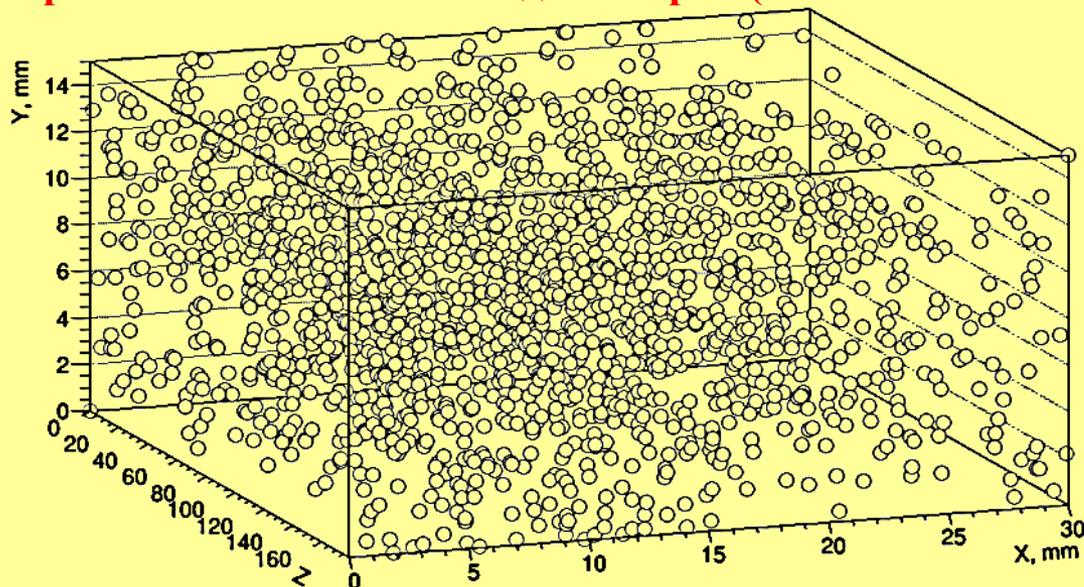
- 1) Multiple scattering on the water tubes
- 2) Correlations of pixel clusters were not observed on some detector planes.

Water cooling was replaced by air cooling system:
dray air and the radiator with Thermoelectric Cooler (TEC)



В будущем можно измерять характеристики пучка

3) Создание систем диагностики пучков заряженных частиц на основе телескопов кремниевых пиксельных детекторов (монокристаллы активные пиксельные сенсоры).



Beam tests in JINR

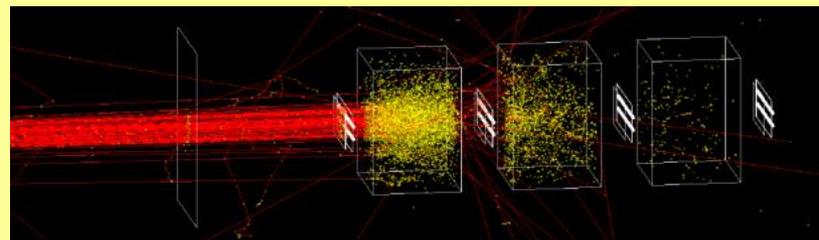
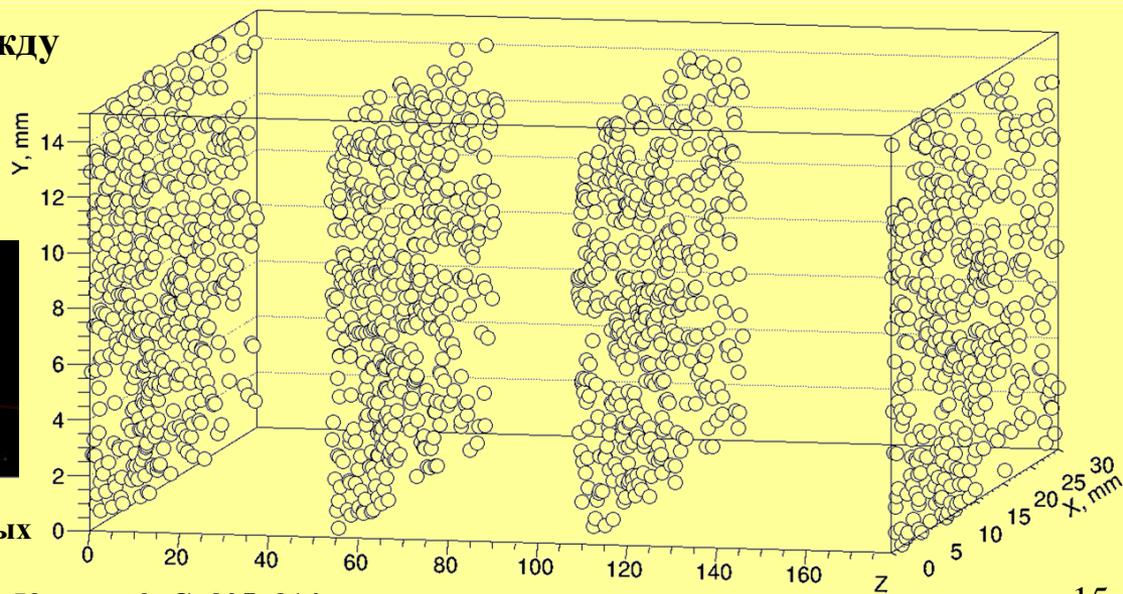
Одно событие с электронного пучка

Используя алгоритмы восстановления треков (клеточные автоматы) можно:

а) определить эмиттанс

б) поставив свинцовые поглотители между

Плоскостями определить энергию пучка- цифровая калориметрия!



Новая калориметрия на основе кремниевых пиксельных детекторов, А. Рахматуллина, В. Жеребчевский и др., Физика элементарных частиц и атомного ядра, 2022. Т. 53, вып. 2. С. 305–314

Study of the pixel sensor characteristics

Эксперименты в PNPI

Run 1, Run 2

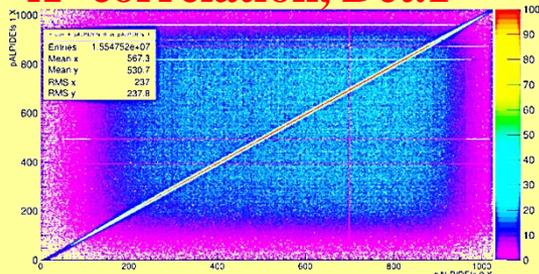
Synchrocyclotron- 1000

Beam: protons 1 GeV, 200 MeV

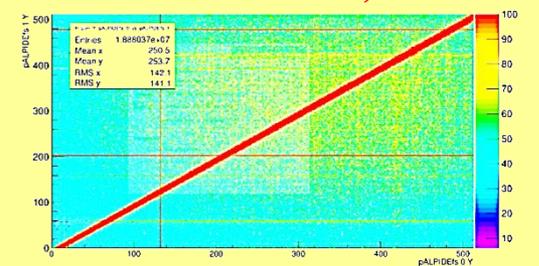


Excellent correlations of pixel clusters between all detector planes (X and Y)

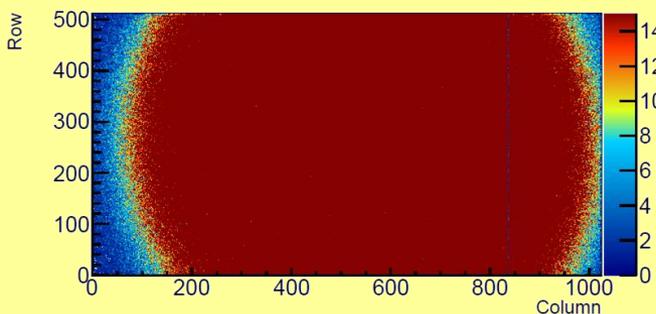
X- correlation, Det.1



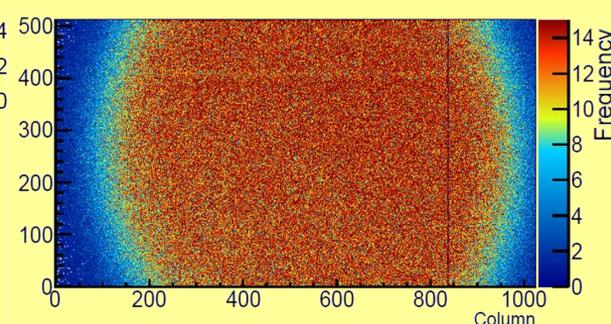
Y- correlation, Det.1



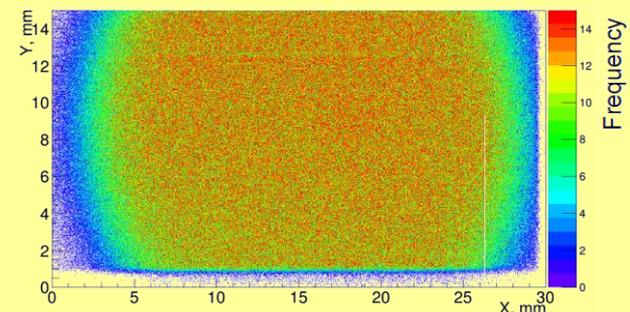
Пучок протоны 1 GeV



Отдельно работавшие пиксели



Сработавшие кластеры



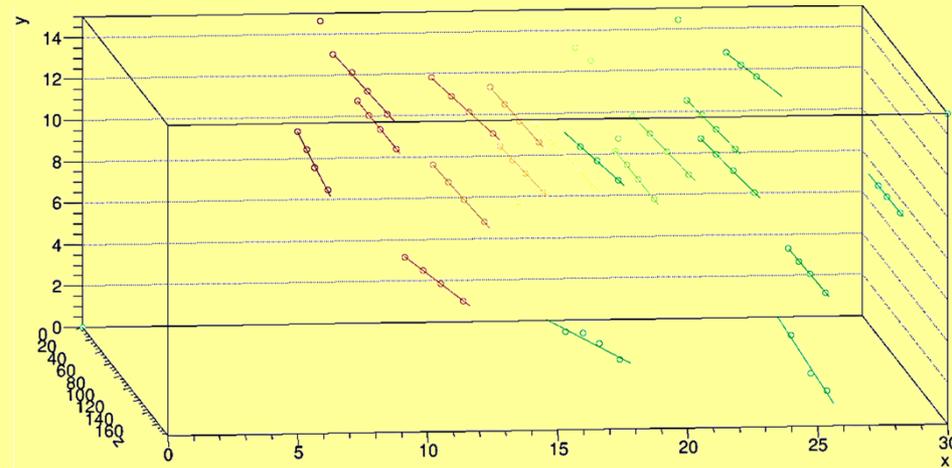
Кластеры попавшие в треки

Эксперименты в РНФИ

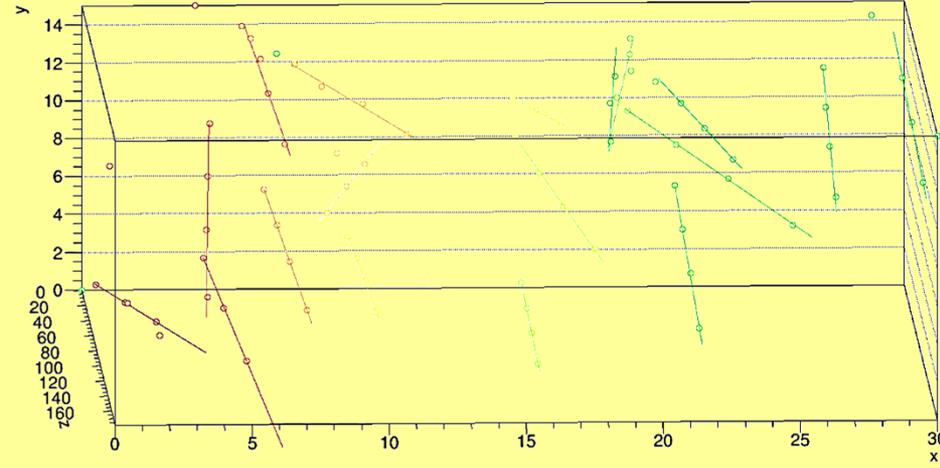
Идентификация и реконструкция треков

Synchrocyclotron- 1000

Протоны: 1 ГэВ, 200 МэВ

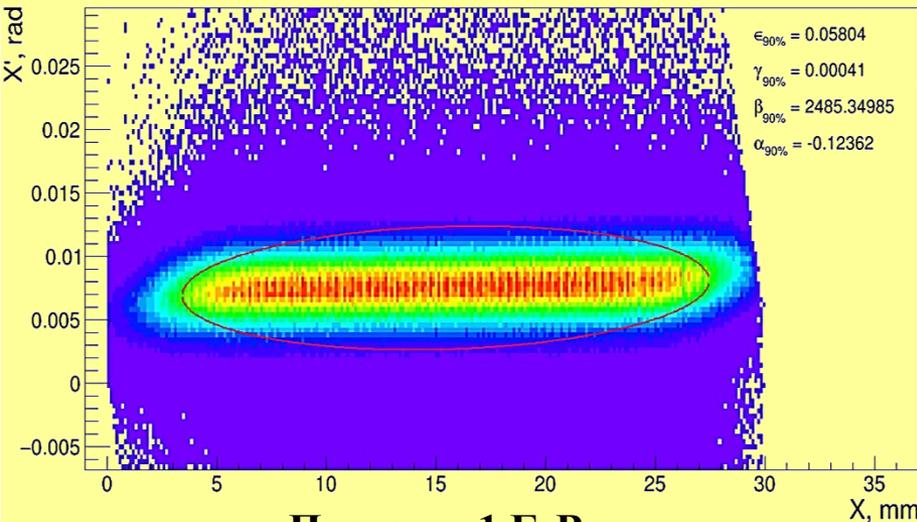


Протоны 1 ГэВ

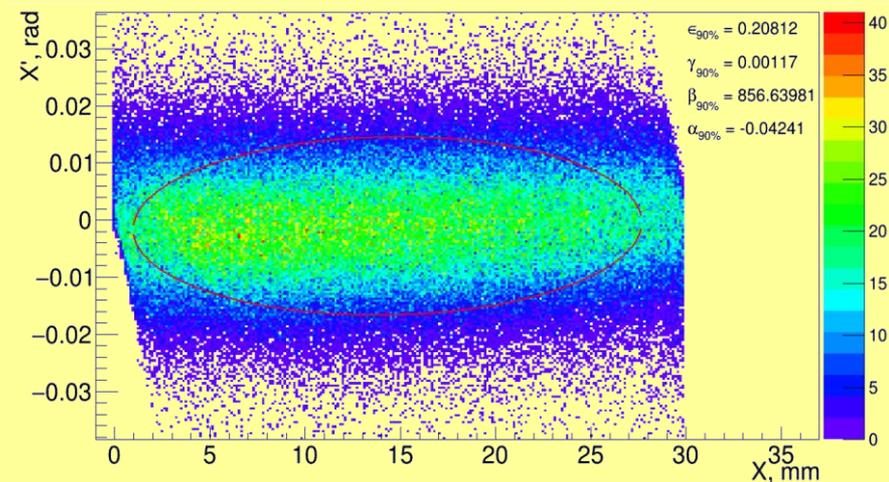


Протоны 200 МэВ

Определение эмиттанса



Протоны 1 ГэВ



Протоны 200 МэВ

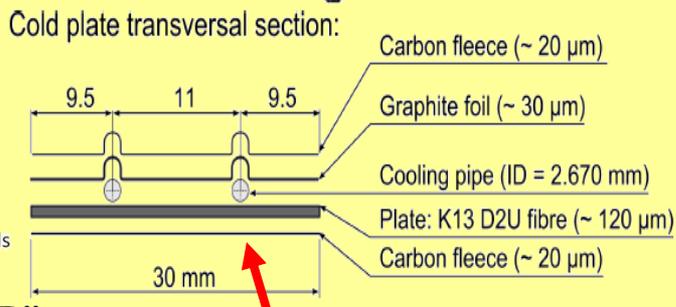
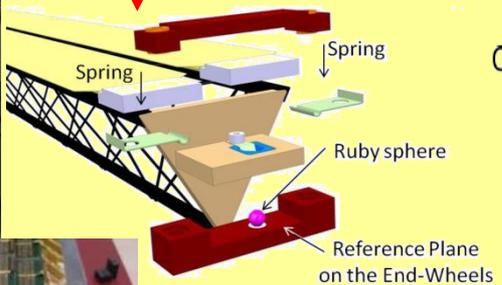
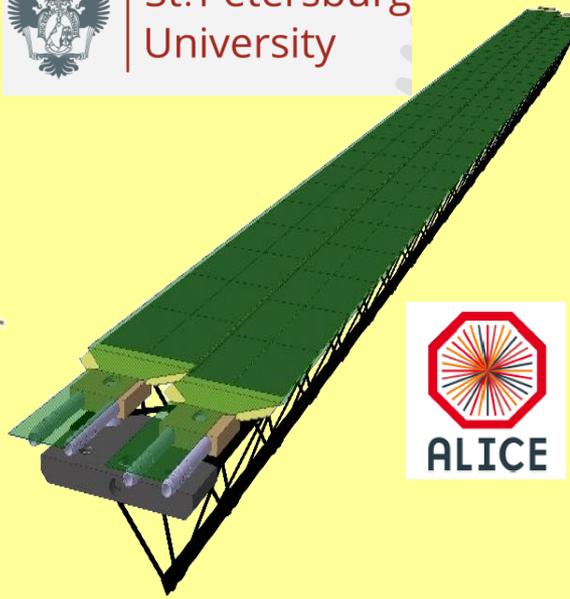
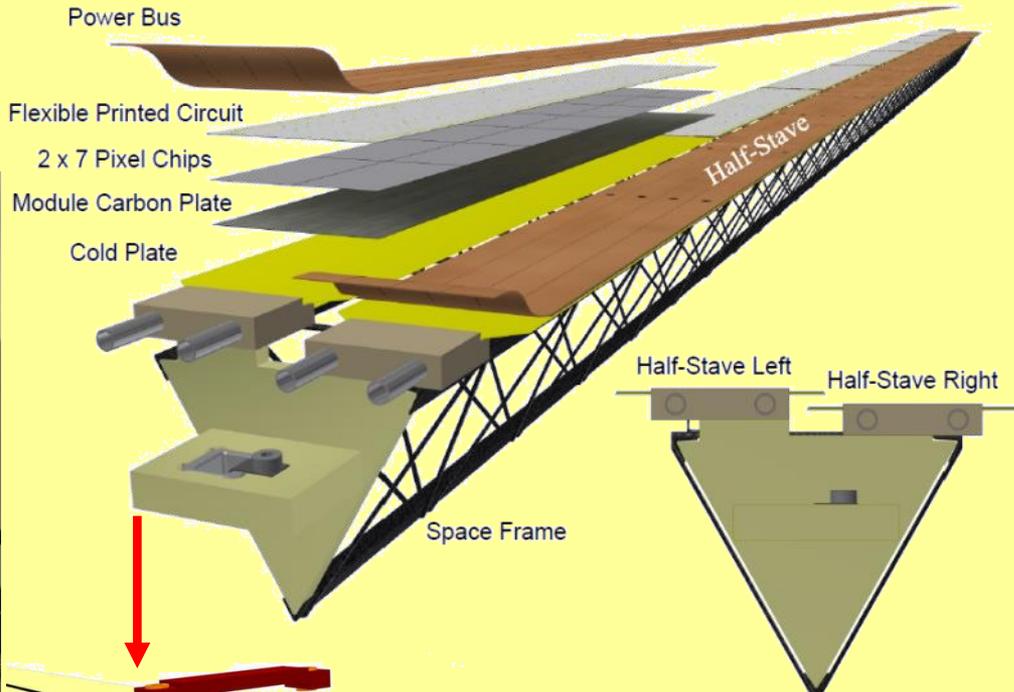
Предложения экспериментальных работ

4) Разработка экспериментального стенда и проведение исследований с новыми пиксельными детекторами и сверхлегкими углекомпозитными материалами необходимыми для новых диагностических систем, используемых в ядерной медицине.

Исследование радиационной стойкости новых углекомпозитных материалов.

Extra lightweight carbon support structures for a new generation of Vertex detectors

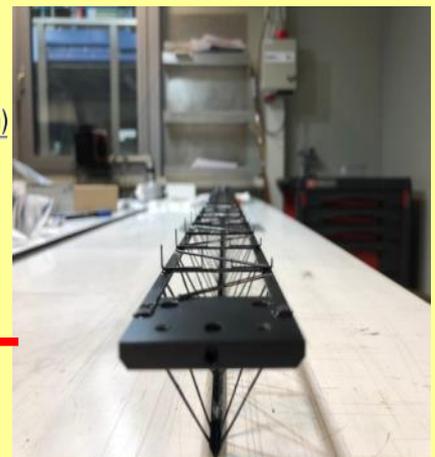
ALICE Outer Barrel Stave



The ALICE Collaboration: "TDR", J. Phys. G41 (2014)



Cold plate



Space Frame

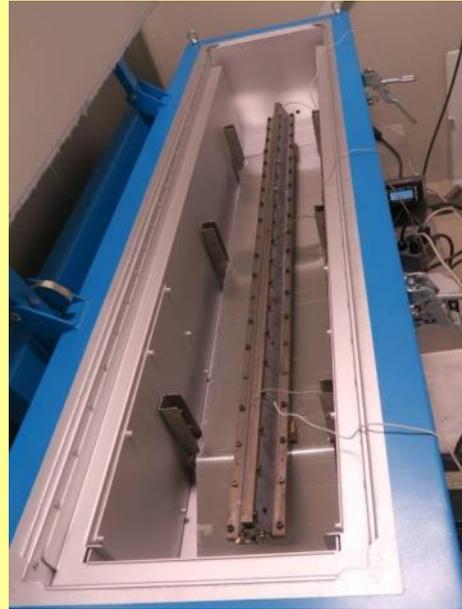


Extra Lightweight Detector Support Structures for the Inner tracking System of the MPD experiment

MPD Outer Barrel Stave



St. Petersburg University



30 Wound-truss structures were produced at SPbSU and shipped to JINR

1) The technology of production of Extra Lightweight Detector Support Structures was modified for Russian prepreg «НИИКАМ-PC/M55» (Research Institute of Space and Aviation Materials)

2) The studies of mechanical, space, deformation characteristics produced structures were done

For the MPD ITS Extra Lightweight Detector Support Structures the new technology for cold plate, wound-truss structures have been developed at SPbSU

Wound-truss structures - SPbSU

Cold plate - JINR

Final production SPbSU + JINR

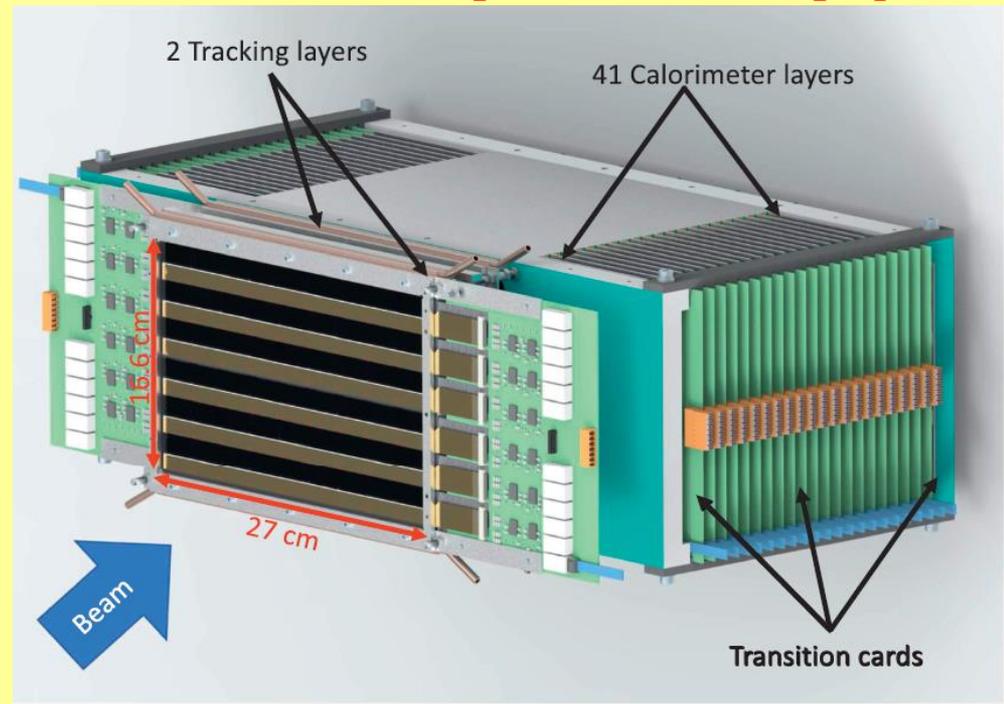
Предложения экспериментальных работ

4) Разработка экспериментального стенда и проведение исследований с новыми пиксельными детекторами и сверхлегкими углекомпозитными материалами необходимыми для новых диагностических систем, используемых в ядерной медицине.

Исследование радиационной стойкости новых углекомпозитных материалов.



Протонная томография





Thank you

