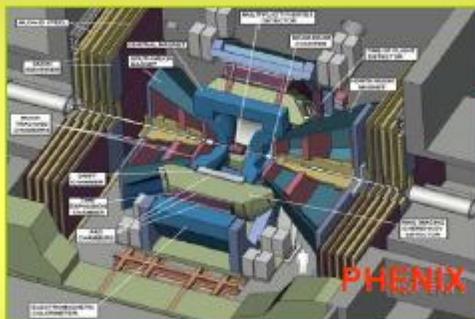


«Разработка и создание трековых и идентификационных систем для экспериментов по исследованию экстремальных свойств ядерного вещества в ядерных столкновениях»

**В.М.Самсонов
ПИАФ НИЦ КИ**

Программа ЛРЯФ исследований включает участие в международных экспериментах:



С 1993 года
BNL, США

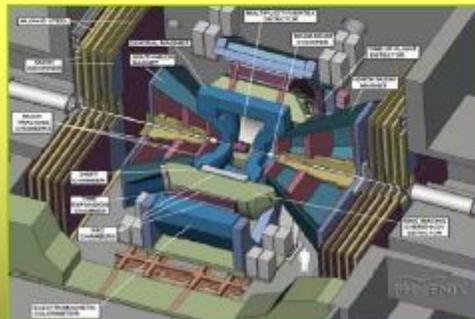
С 1997 года
CERN, Швейцария

С 2003 года
GSI, Германия

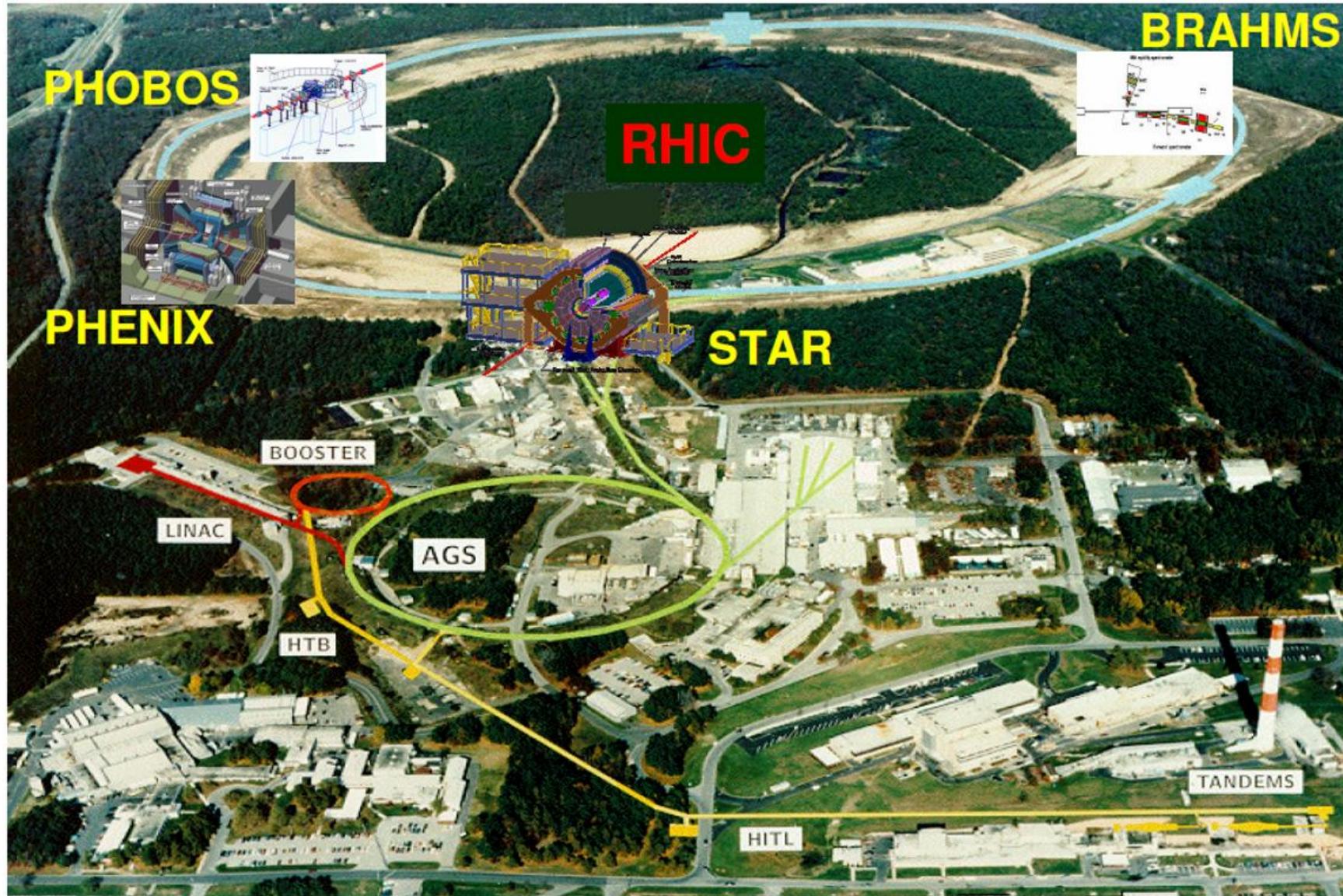




Международный эксперимент PHENIX



The Relativistic Heavy Ion Collider, RHIC ($\sqrt{s_{NN}} = 200 \text{ GeV}$)



Эксперимент ФЕНИКС

Предназначен для изучения редких процессов:

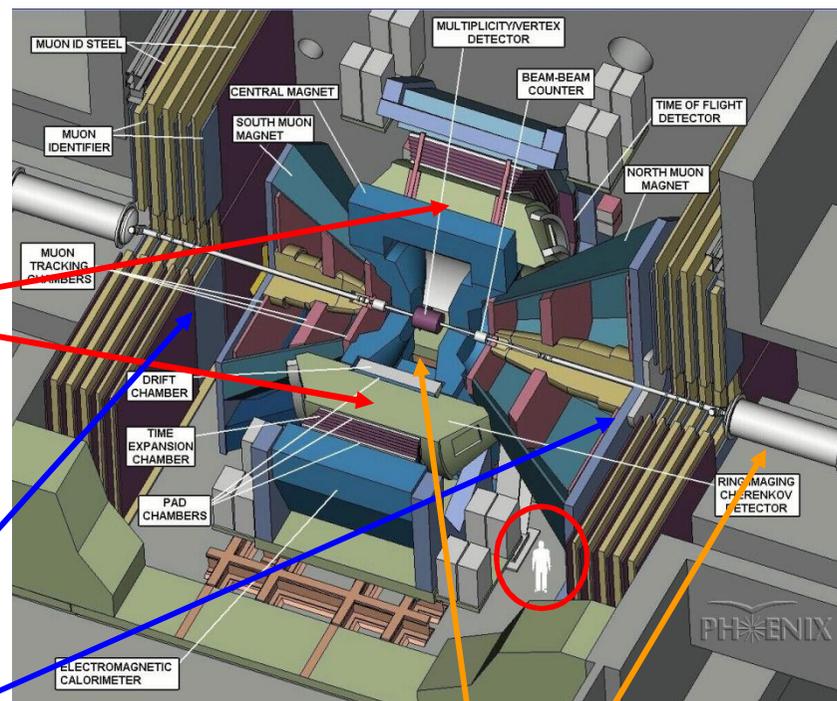
- (+) обеспечивает работу при высоких нагрузках
- (+) тонкая гранулярность
- (+) хорошее массовое разрешение
- (+) надежная идентификация частиц
- (-) ограниченный аксептанс

- Два центральных спектрометра ($BdI \sim 8 \text{ Тм}$; $|\eta| < 0.35$; $2 \times 90^\circ$ по ϕ): электроны, фотоны, адроны

- $J/\psi, \psi' \rightarrow e+e-$
- векторные мезоны $\rho, \omega, \phi \rightarrow e+e-$
- $p_T \gg 1 \quad \pi^0 \pi^+ \pi^-$
- прямые фотоны
- открытый чарм
- адронная физика

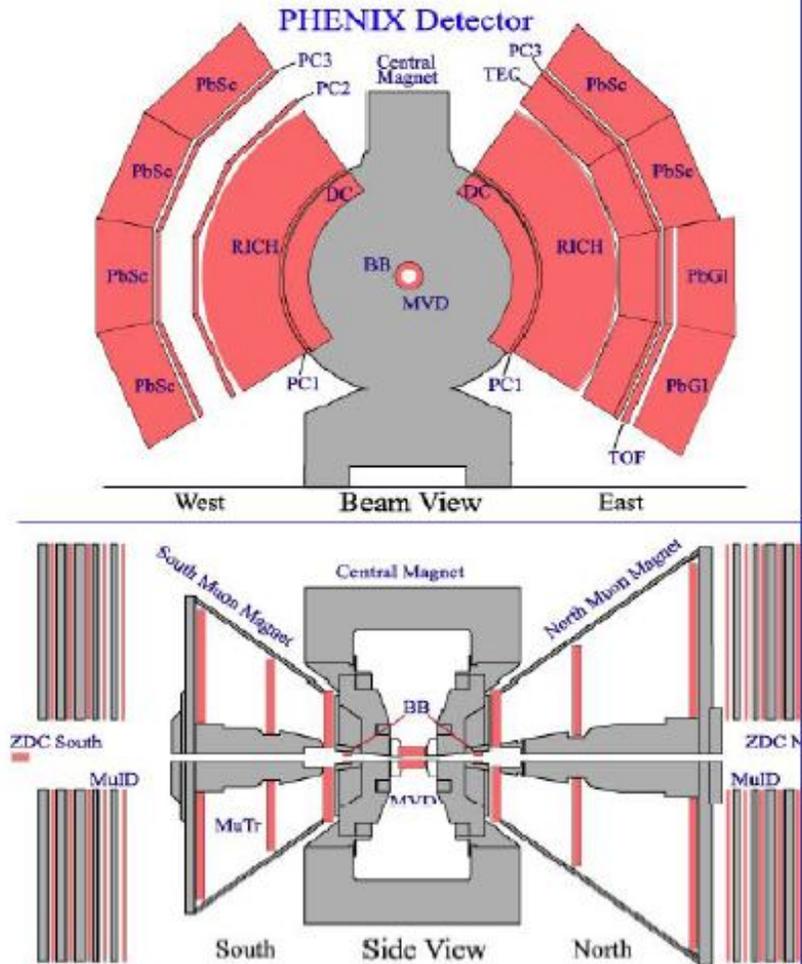
- Два мюонных спектрометра ($1.15 < |\eta| < 2.35$, 360° по ϕ): мюоны

- $J/\psi, \psi', Y \rightarrow \mu^+ \mu^-$
- векторные мезоны $\phi \rightarrow \mu^+ \mu^-$
- открытый чарм



- Комбинация центральных и мюонных спектрометров: рождение очарованных частиц
 - $DD \rightarrow e \mu$
- Глобальные детекторы: множественность
 - общая характеристика взаимодействий

Структура установки PHENIX



Трекинг: дрейфовые камеры, DC
 палочковые камеры, PC

Идентификация адронов: время-пролетная система, TOF

Идентификация электронов: газовый Черенковский детектор, RICH

электромагнитные калориметры, PbSc и PbGI

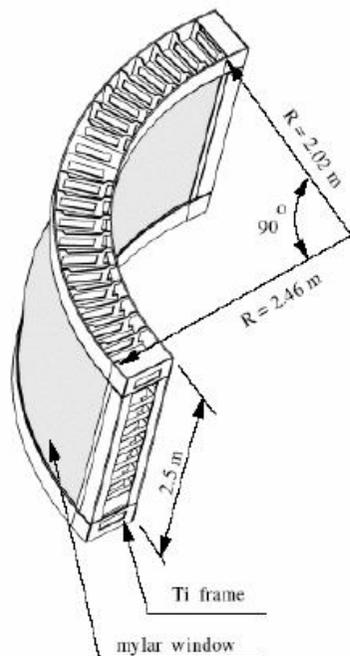
Фотоны: электромагнитные калориметры, PbSc и PbGI

Мюоны: мюонные спектрометры

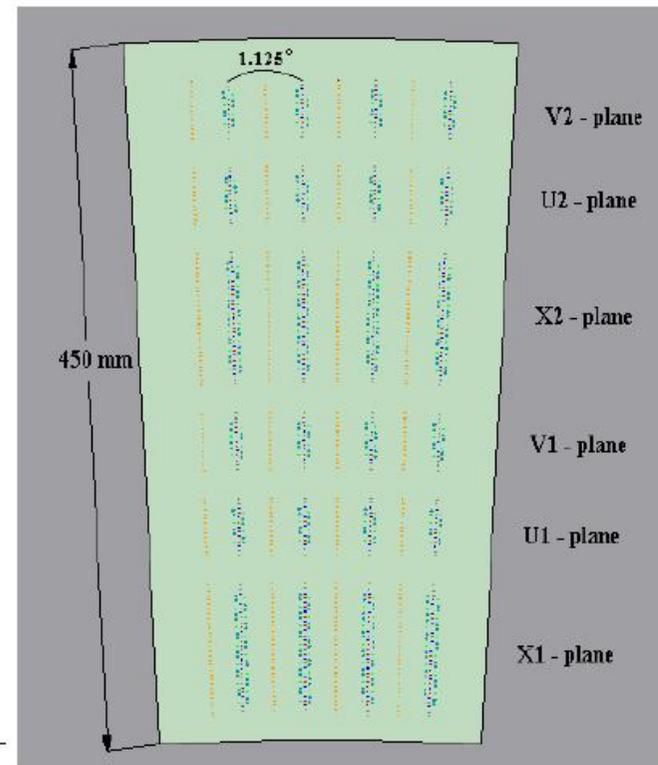
Глобальные параметры столкновения:
 пучковые счетчики, BBC
 калориметры под нулевым углом, ZDC

ТРЕКИНГ. Дрейфовые камеры

Предложение и разработка основных принципов - ПИЯФ



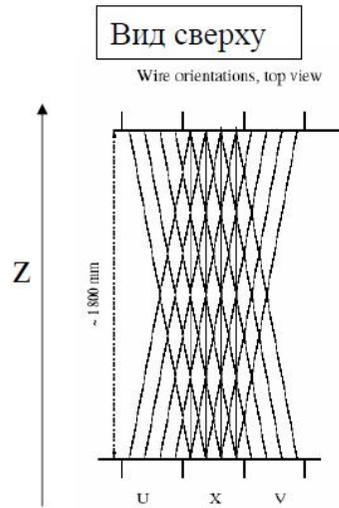
40 слоев по радиусу



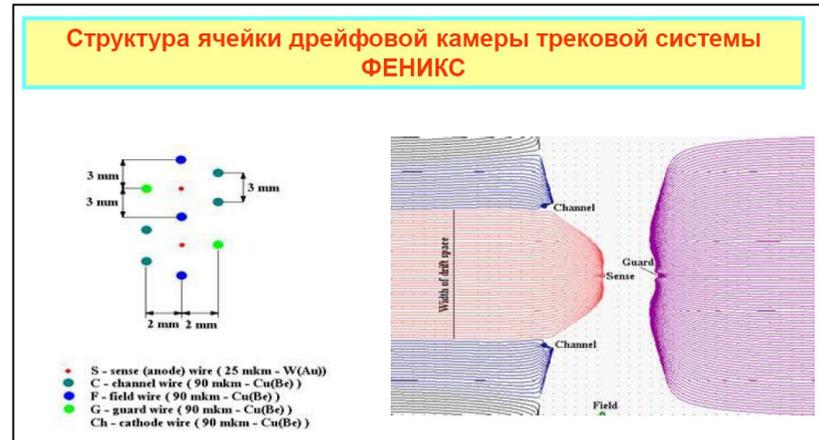
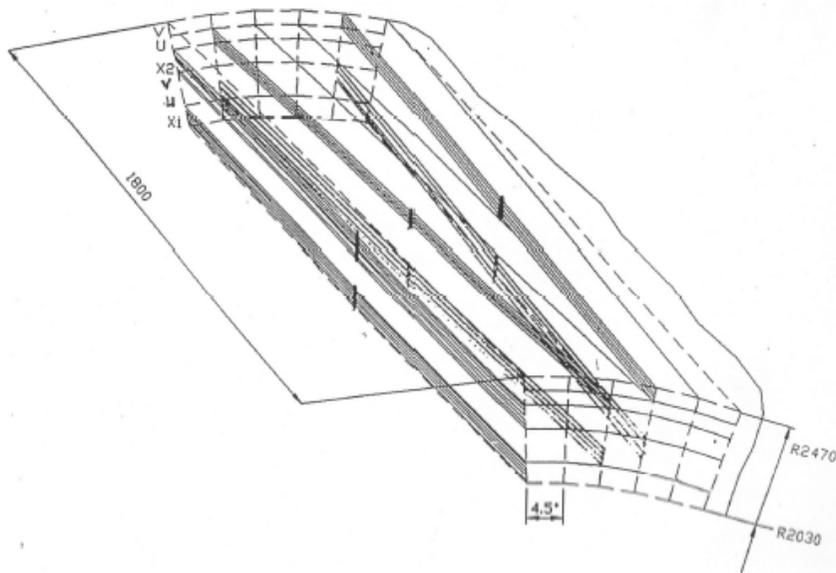
Вид одного сектора

Конструкция титановой фермы
камеры. 20 секторов по $90/20=4.5$
градусов по азимутальному углу.
Вес без электроники 1.5 тонн,
суммарное натяжение проволок **3**
ТОННЫ

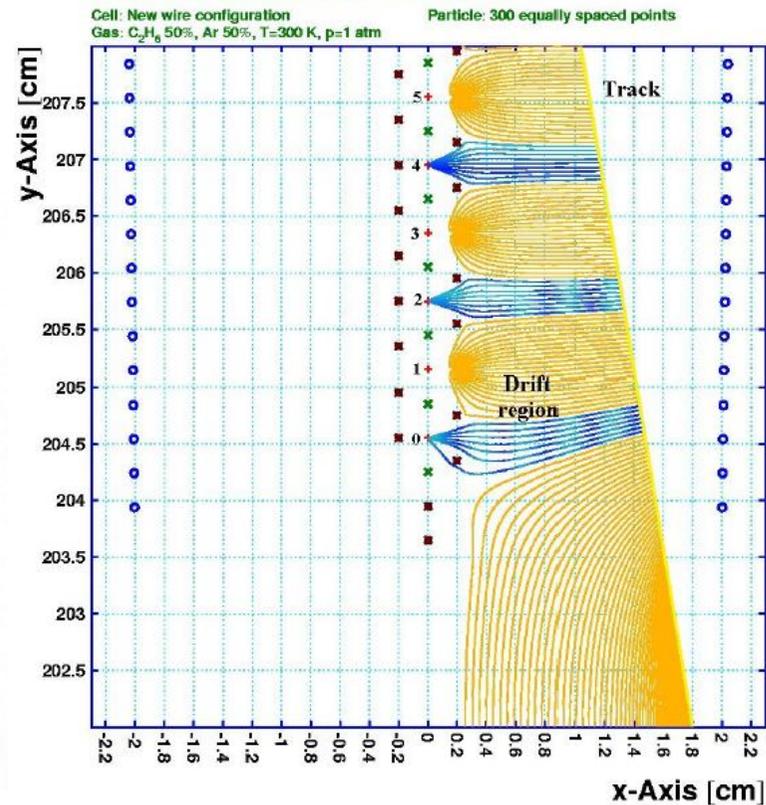
Конфигурация электростатического поля



Прямые X-плоскости
и стерео U, V

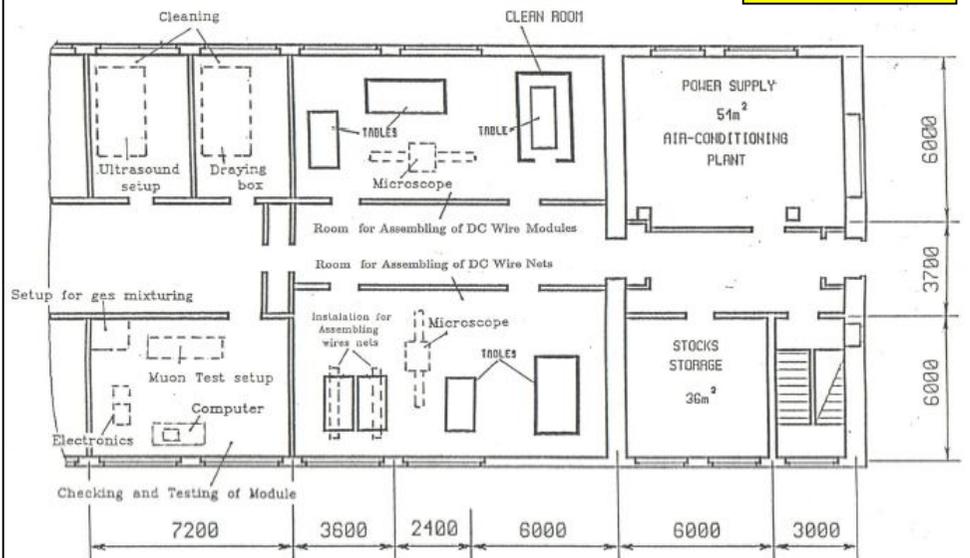


Electron drift lines from a track

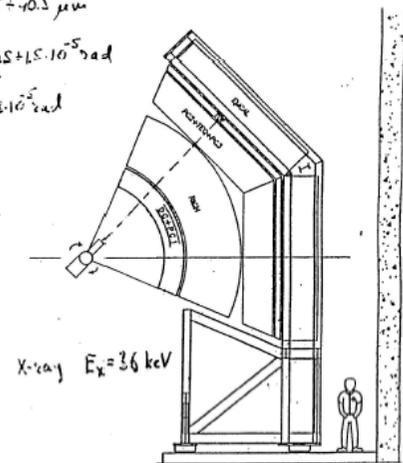
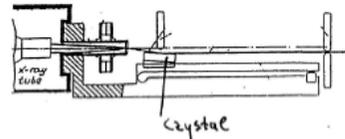
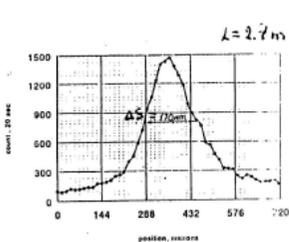


Rooms for Assembling of DC Wire Nets and Modules at PNPI

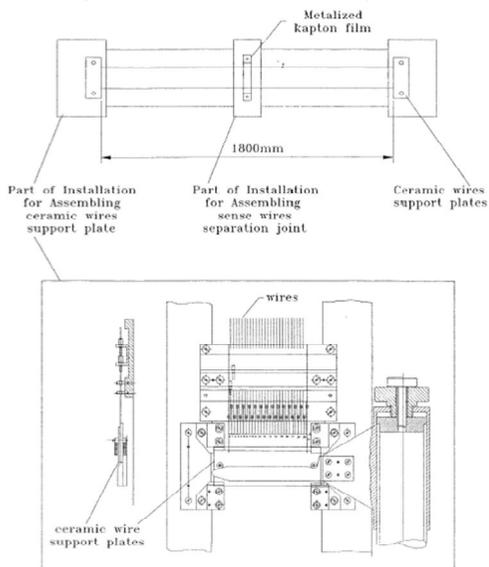
450 кв.м



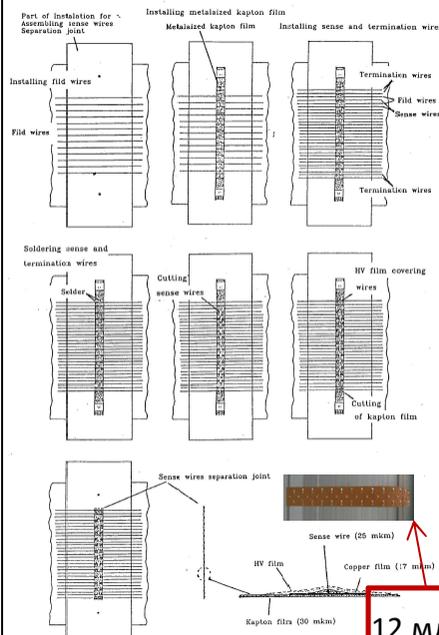
X-Rays Adjustment System for Drift Chamber



Installation for Assembling wire nets of Drift Chamber



ASSEMBLY OF SENSE WIRES SEPARATION JOINT



12 млг.

ASSEMBLY OF MODULES

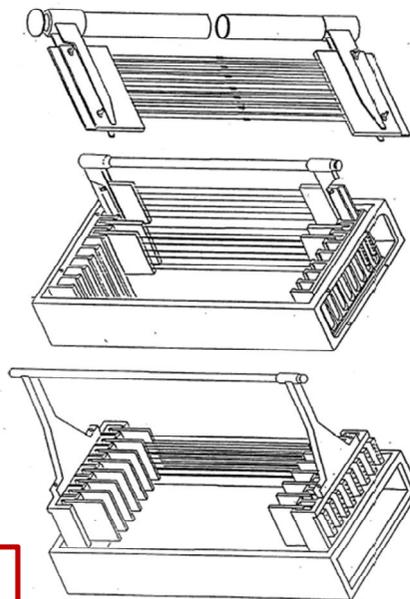
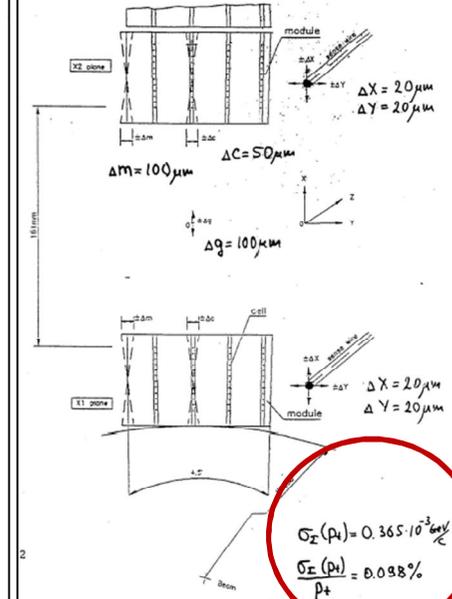
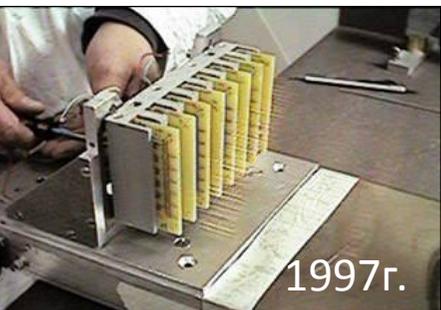
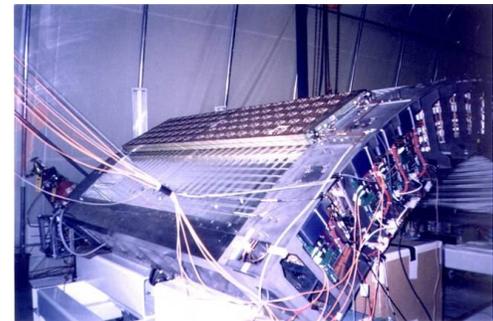
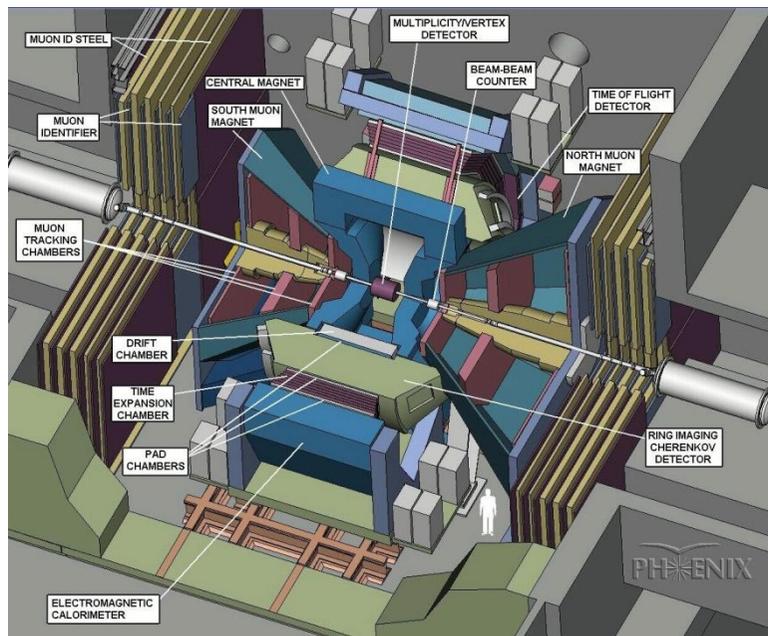
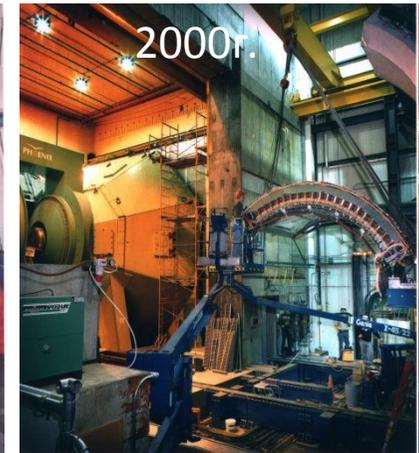


Illustration of Chamber Construction Precissions



PHENIX



Параметры камер

- *Рабочий газ Ar + этан (50/50) + спирт 1.6%*
- *Эффективность проволок ~ 90%*
- Эффективность восстановления треков 99%
- *Эффективность регистрации по нечувствительной области < 10%*
- Двухтрековое разрешение < 1.5 мм, (30 нсек)
- Макс. число треков в промежутке, 5
- *Пространственное разрешение ~ 120 мкм*
- *Угловое разрешение $d\alpha/\alpha \sim 1$ мрад*
- Электрический разрыв анодных проволок посередине. Всего 12800 каналов

http://www.aip.org/pnu/2005/split/757-1.html

AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS

Physics News Update
The AIP Bulletin of Physics News

Number 757 #1, December 7, 2005 by Phil Schewe and Ben Stein

The Top Physics Stories for 2005

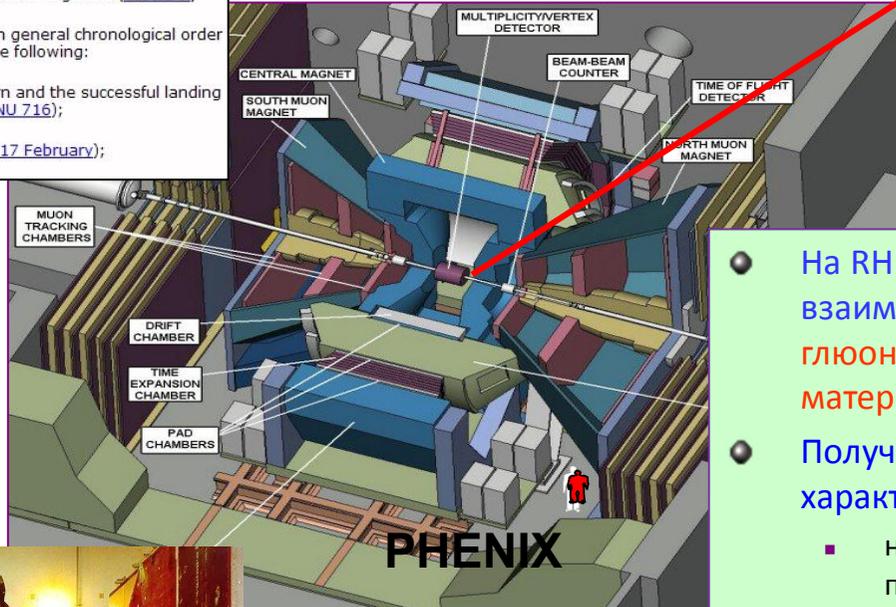
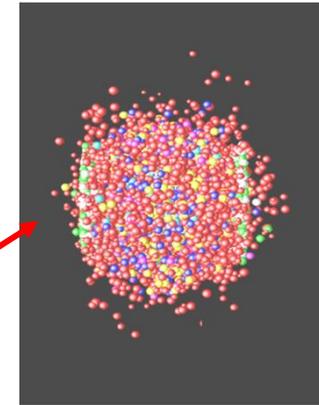
At the Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) on Long Island, the four large detector groups agreed, for the first time, on a consensus interpretation of several year's worth of high-energy ion collisions: the fireball made in these collisions -- a sort of stand-in for the primordial universe only a few microseconds after the big bang -- was not a gas of weakly interacting quarks and gluons as earlier expected, but something more like a liquid of strongly interacting quarks and gluons (PNU 728).

Other top physics stories for 2005 include, in general chronological order of their appearance throughout the year, the following:

the arrival of the Cassini spacecraft at Saturn and the successful landing of the Huygens probe on the moon Titan (PNU 716);

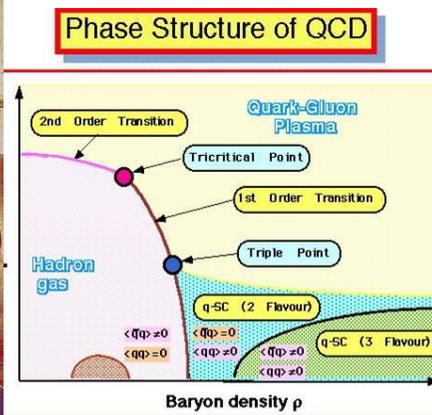
the development of lasing in silicon (Nature 17 February);

Обнаружение новой формы ядерной материи- Кварк-глюонная «жидкость»



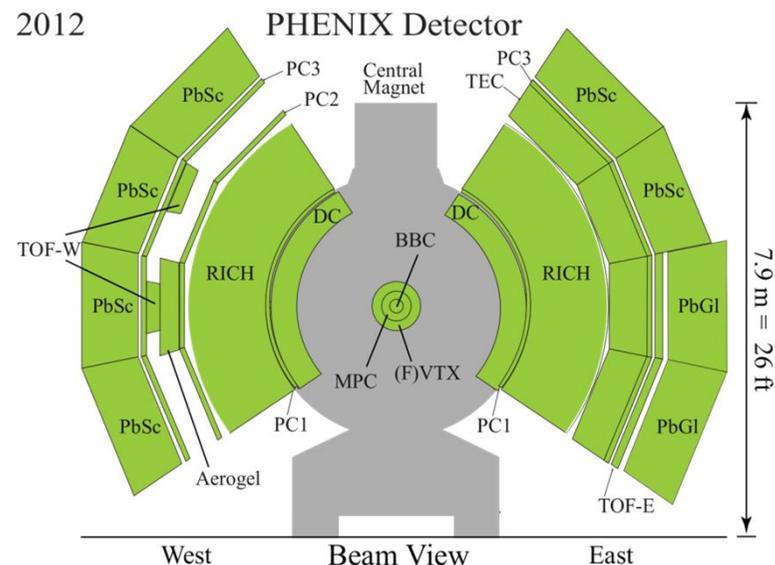
**ПИЯФ
в БНЛ (США)**

- На RHIC образуется сильно взаимодействующее кварк-глюонное состояние плотной материи
 - Получены первые данные о характеристиках данной материи
 - начальная кварк-глюонной плотность $\epsilon > 15 \text{ ГэВ}/\text{фм}^3$
 - начальная температура $T_0^{\text{ave}} = 300\text{-}400 \text{ МэВ}$
 - время существования $0,2\text{-}1,0 \text{ фм}/\text{с}$
- Такие высокие плотности и температуры беспрецедентны*



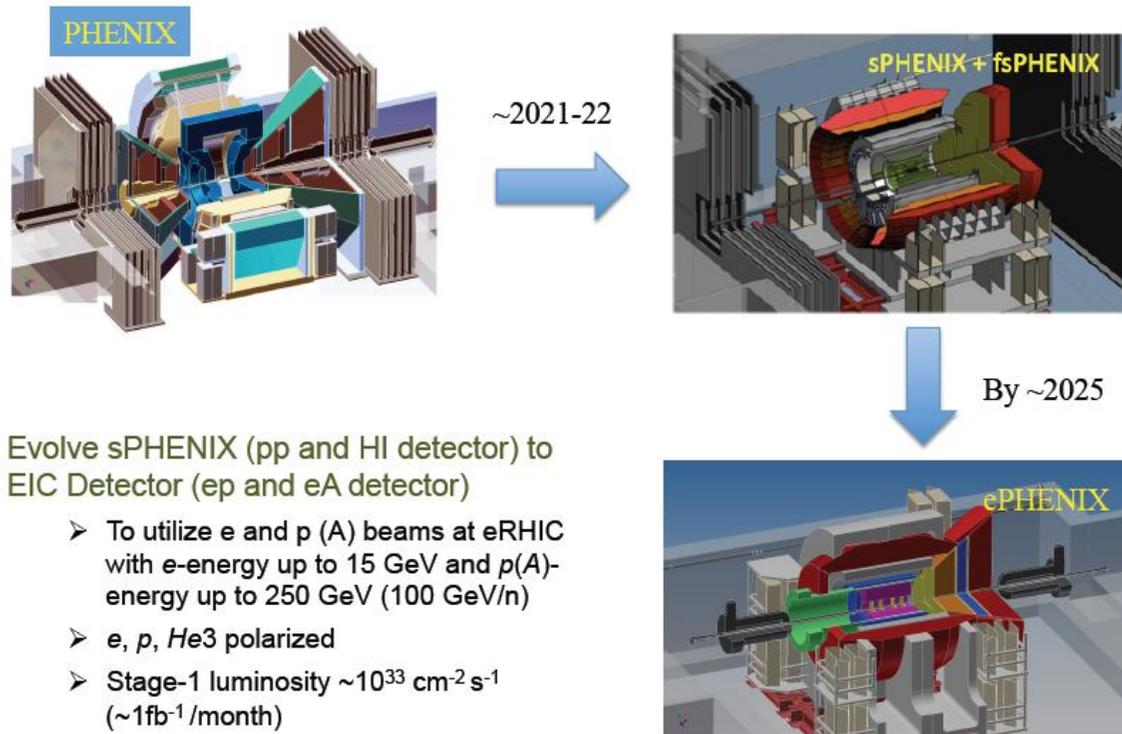
Эксперимент PHENIX на RHIC, итоги 1993-2016

- ❖ PHENIX закончил набор данных в 2016 г.
- ❖ Эксперимент с большим российским вкладом:
 - ✓ центральный магнит (Ижорский завод+ПИЯФ)
 - ✓ дрейфовые камеры (ПИЯФ, Гатчина)
 - ✓ падовые камеры (PC1, PC2, PC3)
 - ✓ черенковский детектор (RICH)
 - ✓ электромагнитный калориметр (PbSc – ИТЭФ, PbG1 – КИ, Москва)
 - ✓ TOF
 - ✓ AGEL (ОИЯФ, Дубна)
 - ✓ VTX/FVTX
- ❖ Успешное участие ПИЯФ в эксперименте:
 - ✓ определяющий вклад в установку (ДК)
 - ✓ большой вклад в получение физических результатов
 - ✓ руководство физическими рабочими группами (PWG-LF)
 - ✓ 4 кандидатских + 1 докторская защиты
 - ✓ Более 200 коллаборационных статей
- ❖ Анализ данных продолжается (еще 3-4 года)



Будущее: PHENIX → sPHENIX

PHENIX → EIC Detector Path



- ❖ Участие в обновлении экспериментальной установки, PHENIX → sPHENIX
- ❖ Создается на месте эксперимента PHENIX
- ❖ Коллаборация sPHENIX создана на основе коллаборации PHENIX → сохранение связей и накопление опыта
- ❖ Начало набора данных в 2022 году.

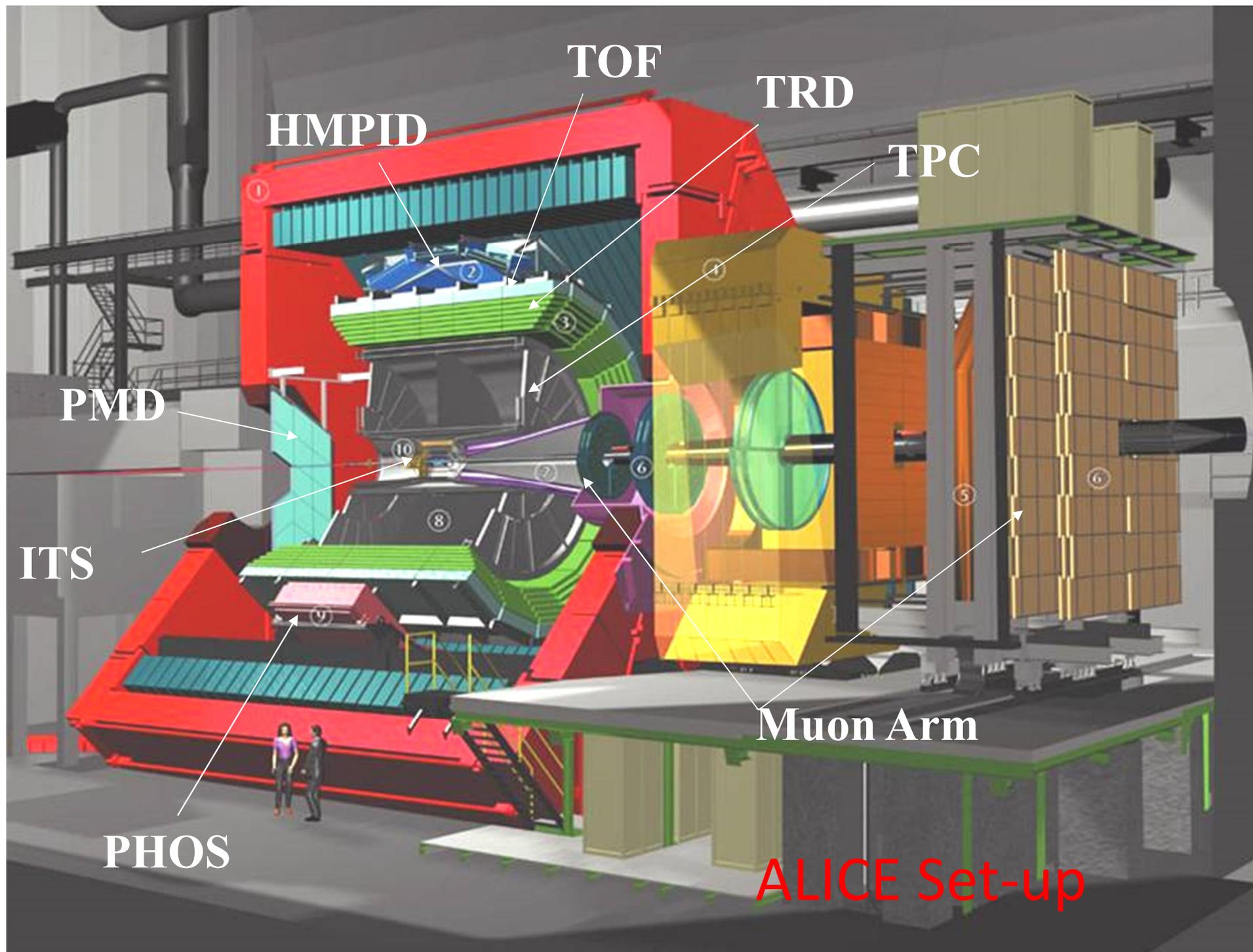
- ❖ Коллаборация sPHENIX предложила ПИЯФ принять участие в разработке и создании трековых станций детектора TPC (внешний центральный трекер)
- ❖ Степень вовлеченности ПИЯФ в обновление установки будет определяться доступным финансированием и политической обстановкой
- ❖ Основа для создания детектора первого дня на eRHIC → дальняя перспектива



Международный эксперимент ALICE



The ALICE collaboration
includes 1223
collaborators from 85
different institutes from
27 countries.



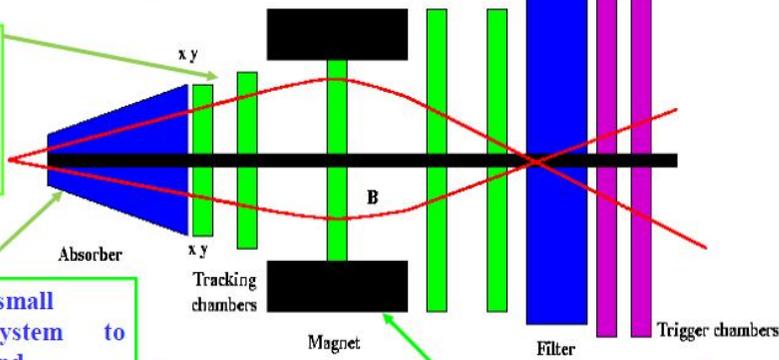
Dimuon Spectrometer

- Study the production of the J/Ψ , Ψ' , Y , Y' and Y'' decaying in 2 muons, $2.4 < \eta < 4$
- Resolution of **70 MeV** at the J/Ψ and **100 MeV** at the Y

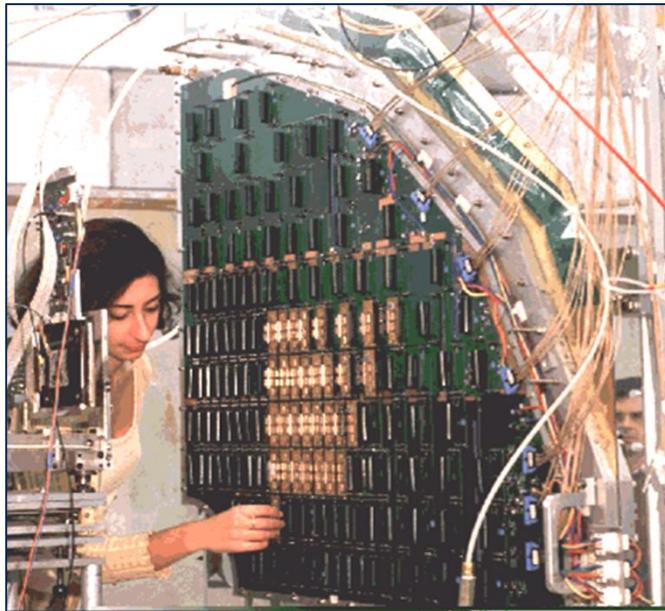
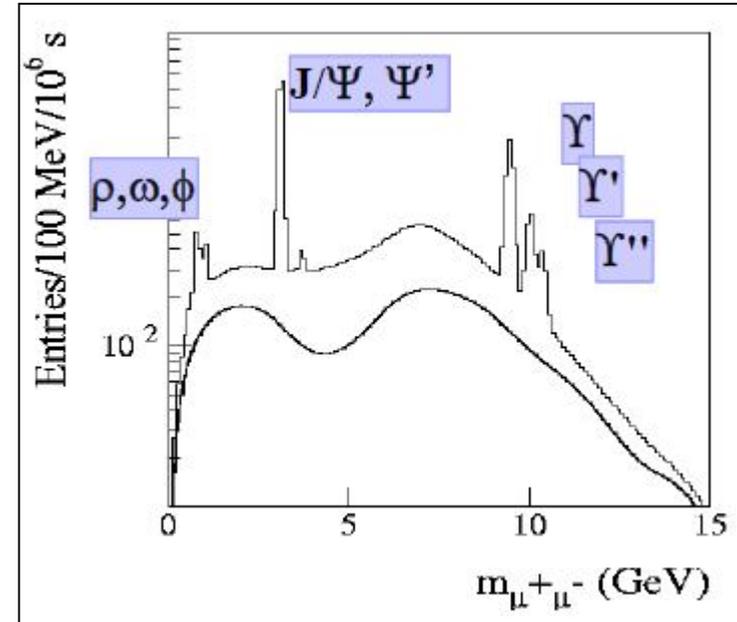
RPC Trigger Chambers

5 stations of high granularity pad tracking chambers, over 800k channels

Complex absorber/small angle shield system to minimize background (90 cm from vertex)



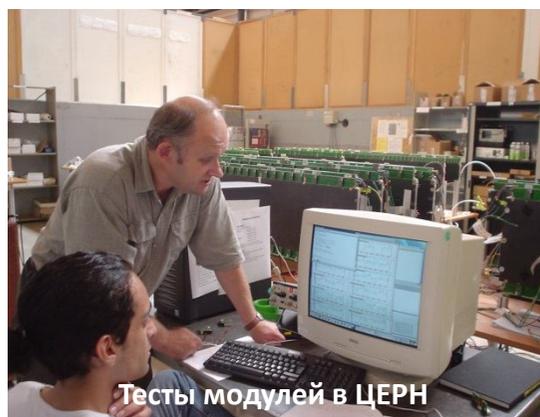
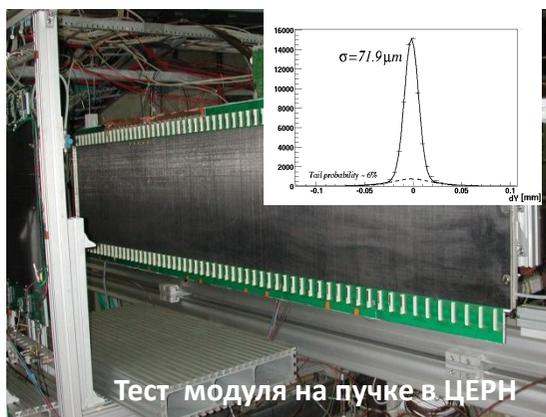
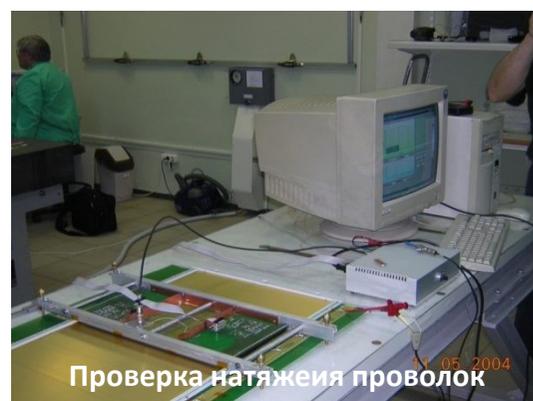
Dipole Magnet: bending power 3Tm



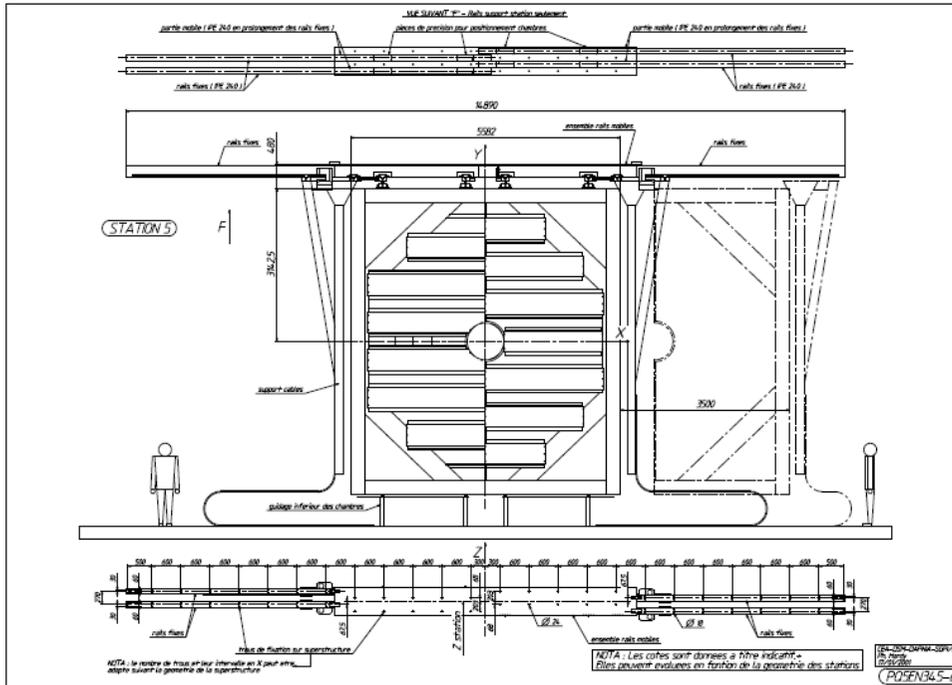
Разработано и изготовлено оборудование для производства модулей мюонных камер



Технология производства модулей мюонных камер и их тесты

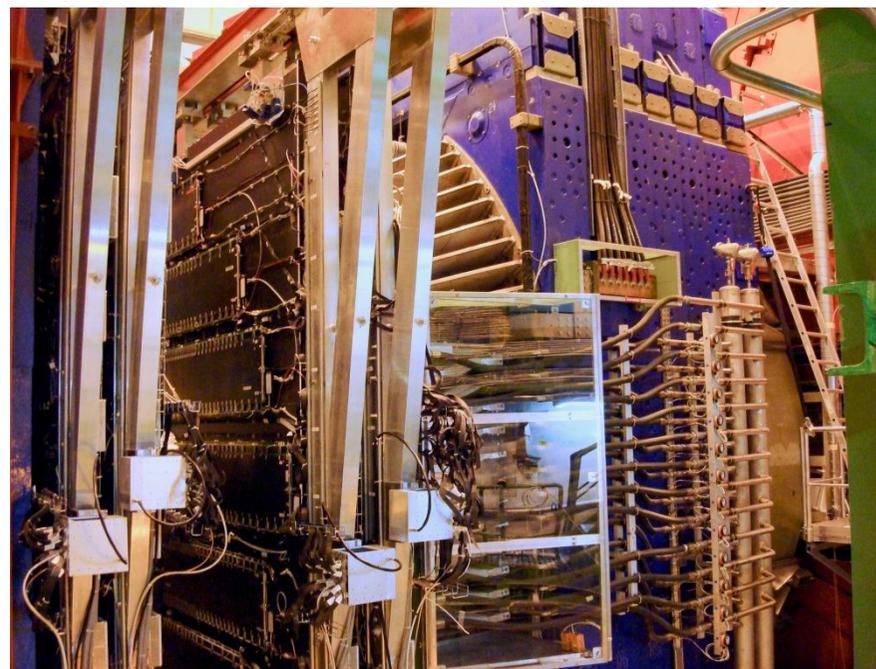
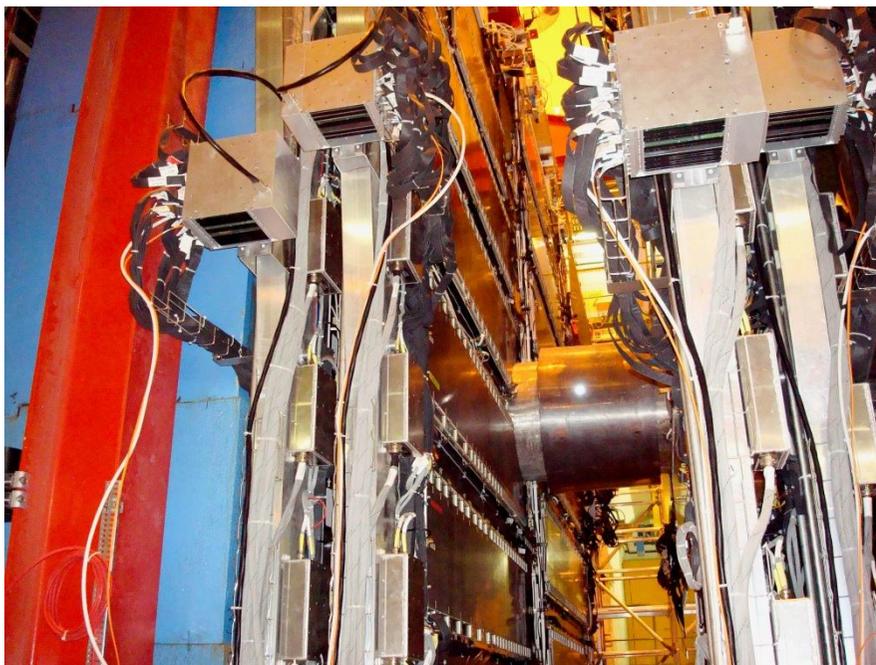
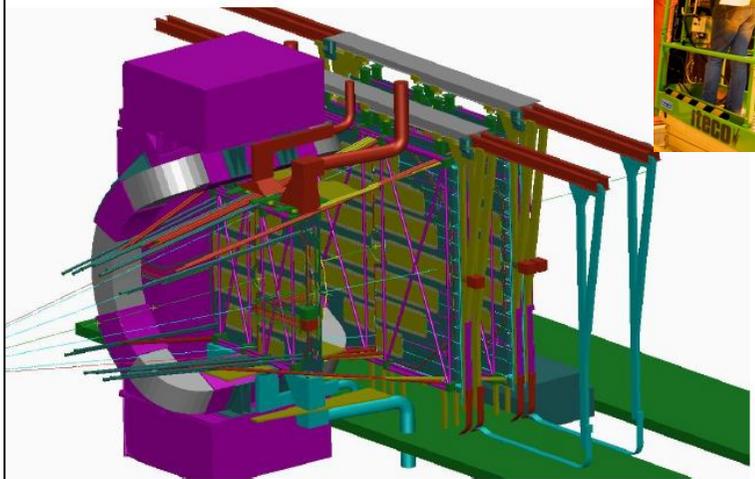


View of one chamber of the Station 5. Dash lines show the open position.



Реальный вид на станцию 5

Muon Stations 3-4-5



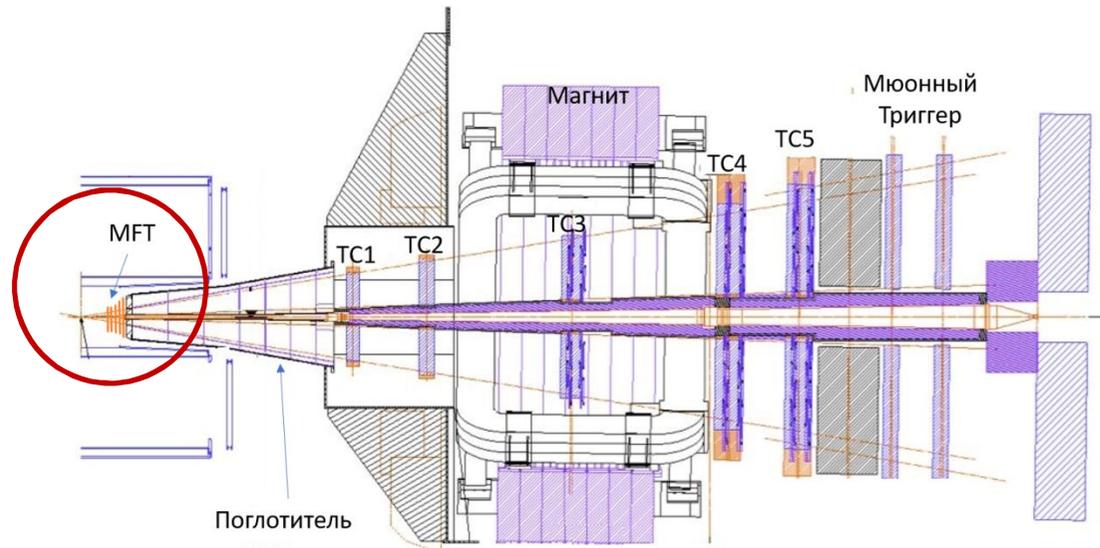
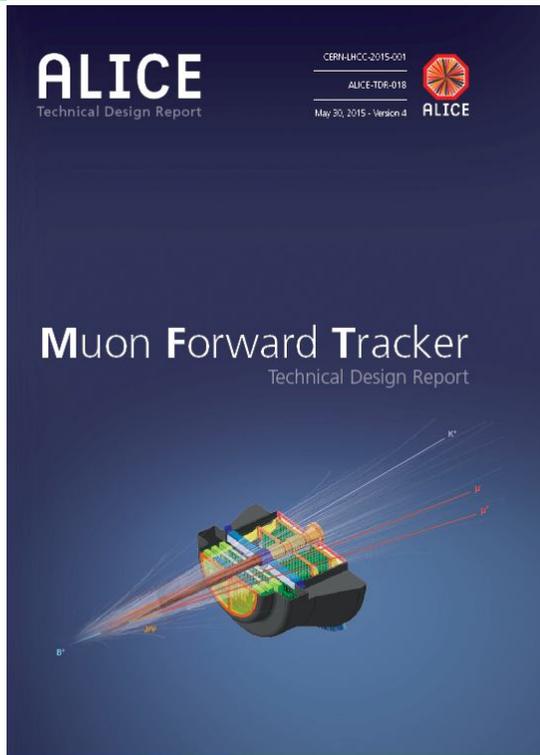
ПИЯФ в эксперименте ALICE

- **Участие в создании мюонного спектрометра:**
 - **Трековой системы - станции 3,4,5**
 - предложена концепция камеры с системой съема информации с сегментированных катодов;
 - разработка и изготовление технологического и контрольного оборудования для сборки модулей камер;
 - организация производство $\frac{1}{4}$ части всех модулей;
 - тестирование модулей в ЦЕРН перед установкой в экспериментальный зал;
 - сборка камер и эксплуатация в сеансах.
 - **Проектирование мюонного фильтра**
 - **Проектирование суперструктуры (конструкций закрепления камер на детекторе)**
- **Обоснование и моделирование условий для исследования эффектов при ультрапериферических столкновениях ядер**
- **Участие в обработке экспериментальных данных после запуска**

- большой вклад в получение физических результатов
- руководство физическими рабочими группами (PWG)

1 кандидатская защита
Более 200 коллаборационных статей

Будущее: ALICE → ALICE + MFT



Задачи MFT

Вершинный детектор для мюонного спектрометра

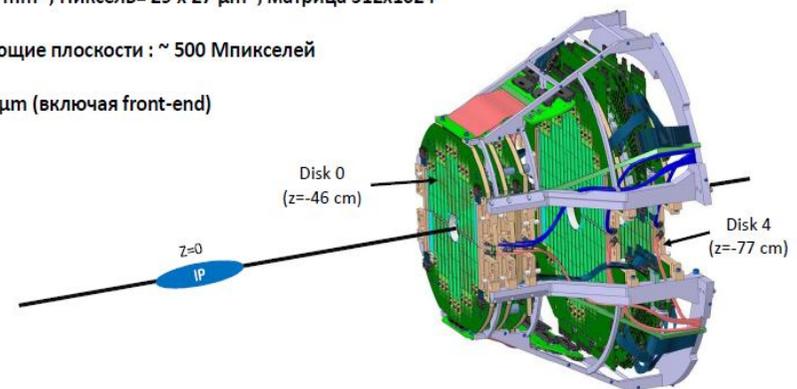
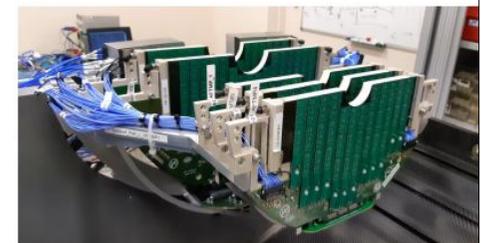
Множественное рассеяние в поглотителе не позволяет определить положение вершины распада на мюонную пару.

- Новая физика:
 - Разделение каналов рождения J/ψ прямые и распадные
 - измерение $\psi(2S)$
 - Улучшение разрешения мезонов малых масс
 - Улучшение определение континуума
- Подавление распадного и комбинаторного фонов

Реализация MFT

Вершинный детектор мюонного плеча

- 936 сенсоров ALPIDE (0.4 m^2) on 280 ladders of 2 to 5 sensors
- Размер сенсора = $15 \times 30 \text{ mm}^2$; Пиксель = $29 \times 27 \mu\text{m}^2$; матрица 512×1024
- 5 дисков по 2 детектирующие плоскости : ~ 500 Мпикселей
- Толщина ALPIDE чипа $50 \mu\text{m}$ (включая front-end)
- X/X_0 диска = 0.7%
- Захват $-3.6 < \eta < -2.45$

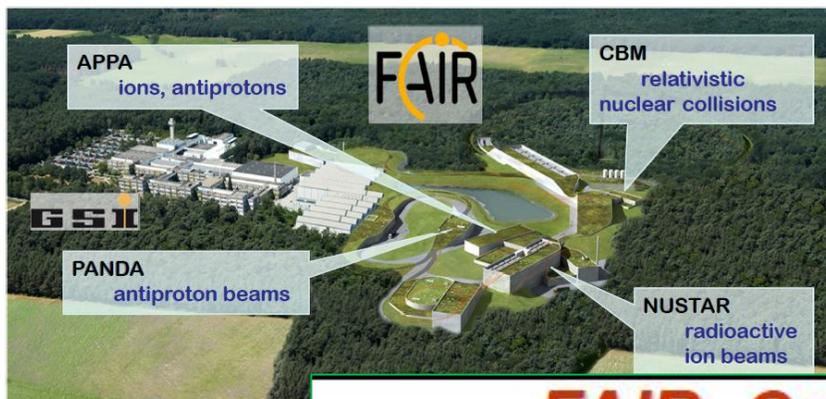




**Международный эксперимент
CBM (GSI, Германия)**



**The CBM collaboration
includes 400
collaborators from 52
different institutes from
15 countries.**



FAIR. Стартовая версия



Коллаборация:

11 стран;
 > 50 институтов (университетов);
 > 400 участников.
 Большое российское участие,
 9 институтов.

Высокая интенсивность пучка ($\sim 10^9$ ядер/с на мишень, что соответствует от $10^5 - 10^7$ взаимодействий/сек. (A+A) до 10^7 взаимодействий/сек. (p+A) взаимодействиям)

Высокоскоростная DAQ позволяет обрабатывать всю информацию.

CBM (Compressed Baryonic Matter)

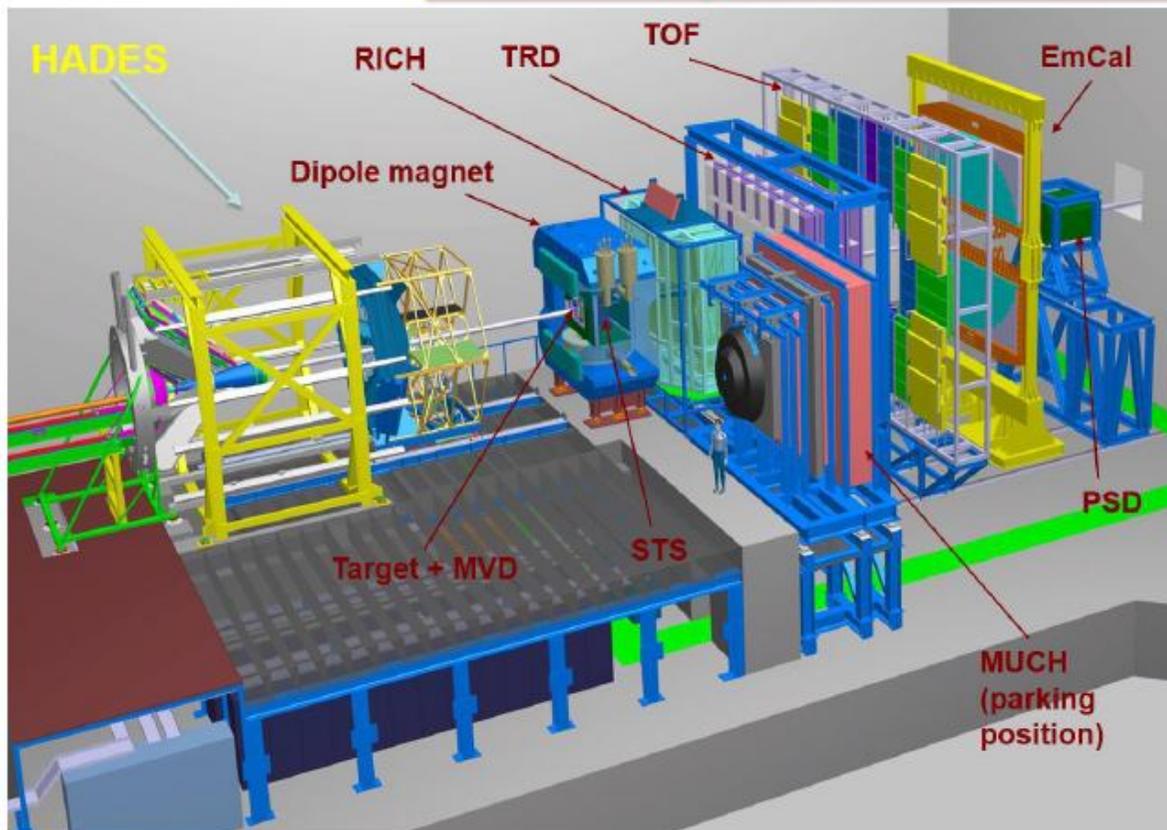
– эксперимент по изучению ядро - ядерных и протон - ядерных взаимодействий на выведенном пучке.

Основная цель эксперимента — исследование сверхплотного барионного состояния материи.

SIS100 в распоряжение **CBM** будет поставлять пучки **Au(Ca)** с энергией до **11(14) АГэВ** и протонов до **29 ГэВ**

SIS300 – ядра вплоть до урана с энергией **8-40 АГэВ** и протоны до **90 ГэВ**

Эксперимент CBM.



Концепция эксперимента
– сверхпроводящий дипольный магнит, трековая система (8 станций силиконовых камер), затем PID.

$dp/p \approx 1.8\%$ ($p > 1$
GeV/c, 1 Tm field)

Пучок на экспериментальную установку: 10^9 ядер/с на мишень, что дает 10^7 с⁻¹ взаимодействий и до 1000 треков заряженных частиц в каждом событии

Идентификация лептонов необходима для выполнения программы эксперимента (л.в.м (ω, ρ, ϕ), (J/Ψ , Ψ'), ди-лептонный континуум, лептоны от распадов тяжелых ароматов и т.д.).

Необходимо подавление пионов $> 1/5000$ (сейчас по проекту 1/10000) (RICH ($>1/100$ до 7-10 ГэВ/с) + TRD).

Участие ПИЯФ – мюонный детектор MUCN и Черенковский детектор RICH

Детектор RICH.

Классическая схема с радиатором и сферическим зеркалом.

$$\beta = \frac{v}{c} > \frac{1}{n}$$

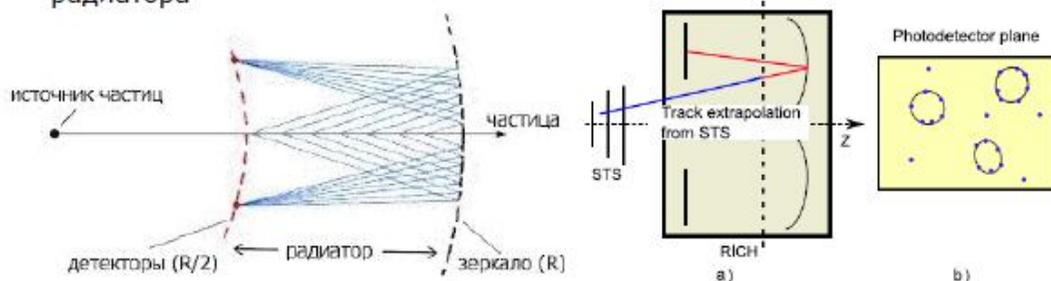
Условие возникновения черенковского излучения

$$\cos \theta = \frac{1}{\beta n}$$

Излучение идет вдоль поверхности конуса (изотропн. среда)

n – коэф. преломления радиатора

$$\beta = \frac{v}{c} \quad m = p \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{\beta c}$$

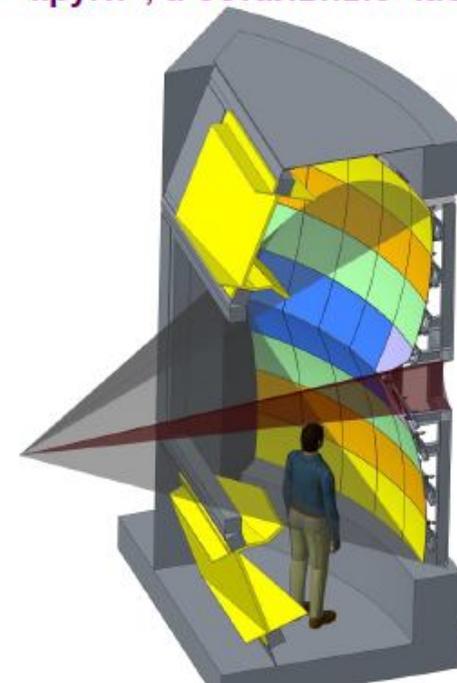


Регистрация черенковского излучения – возникает при движении заряженной частицы в прозрачной среде со скоростью большей скорости света в этой среде.

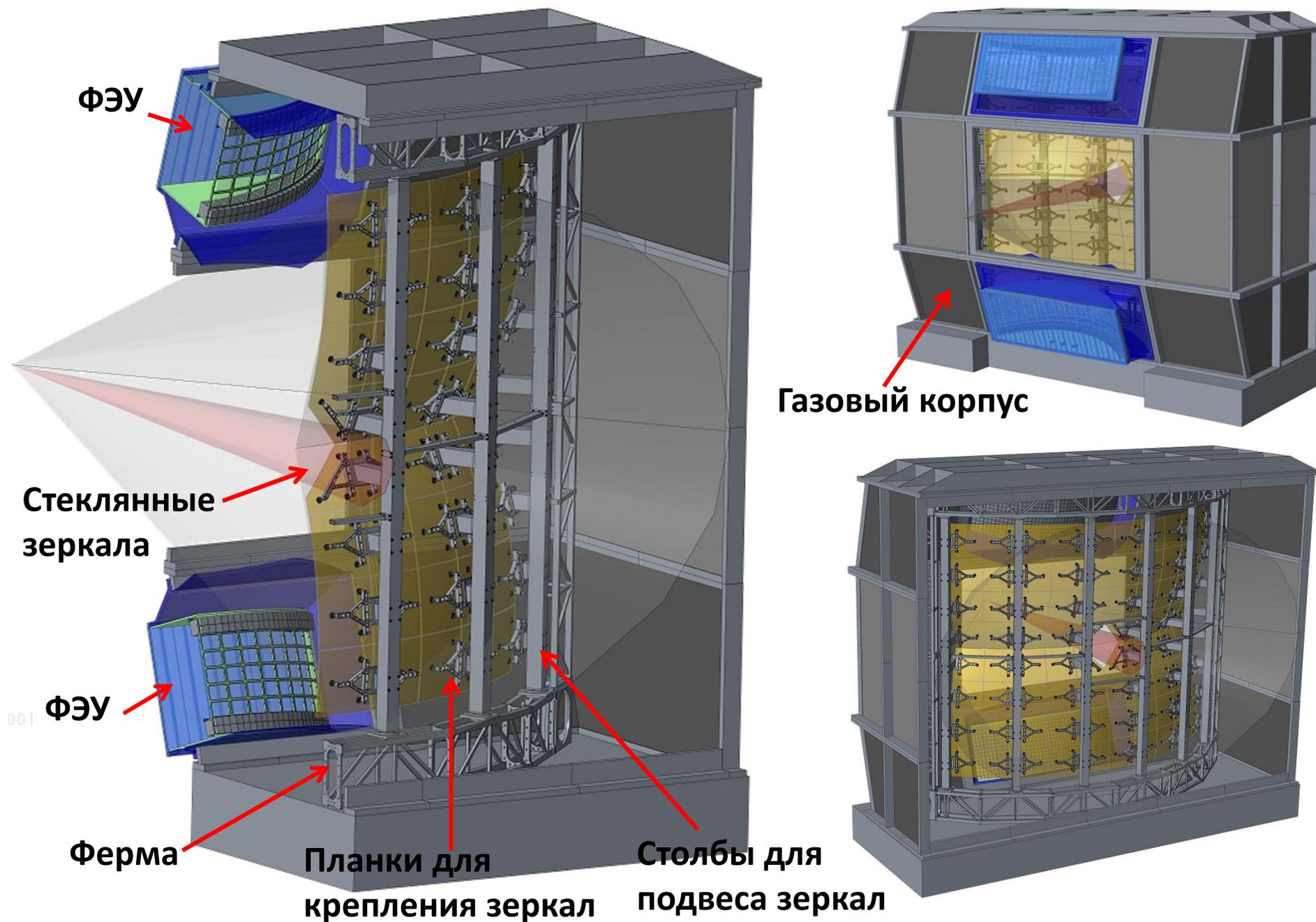
электроны начинают излучать черенковский свет, имея импульсы, гораздо меньшие, чем даже пионы из-за разницы в массах. Поэтому до определенных значений импульсов заряженных частиц электроны будут выдавать “круги”, а остальные частицы нет.

Оптимизированная геометрия.

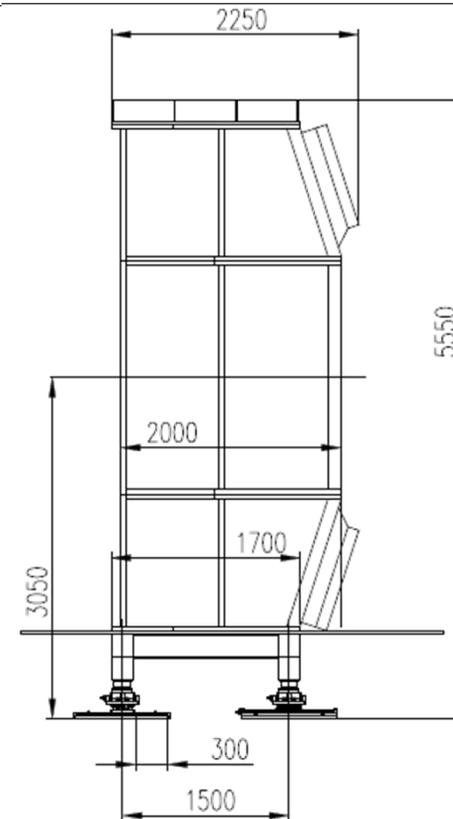
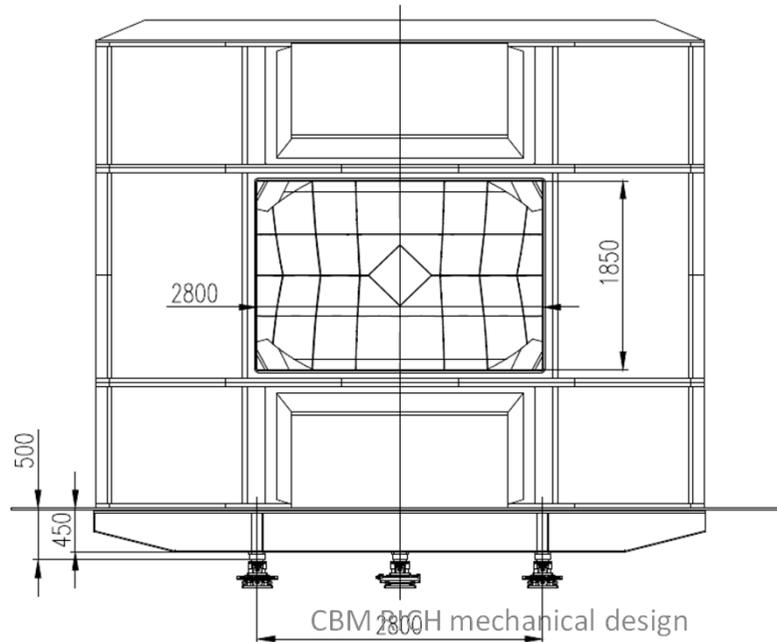
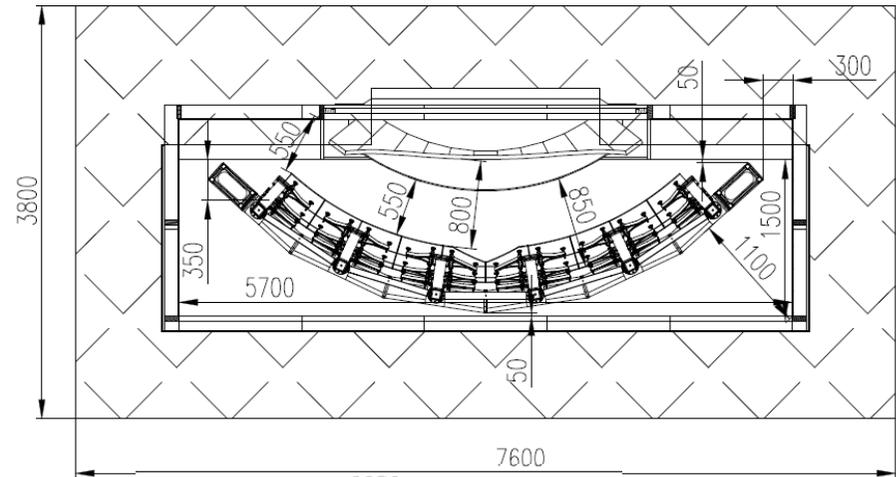
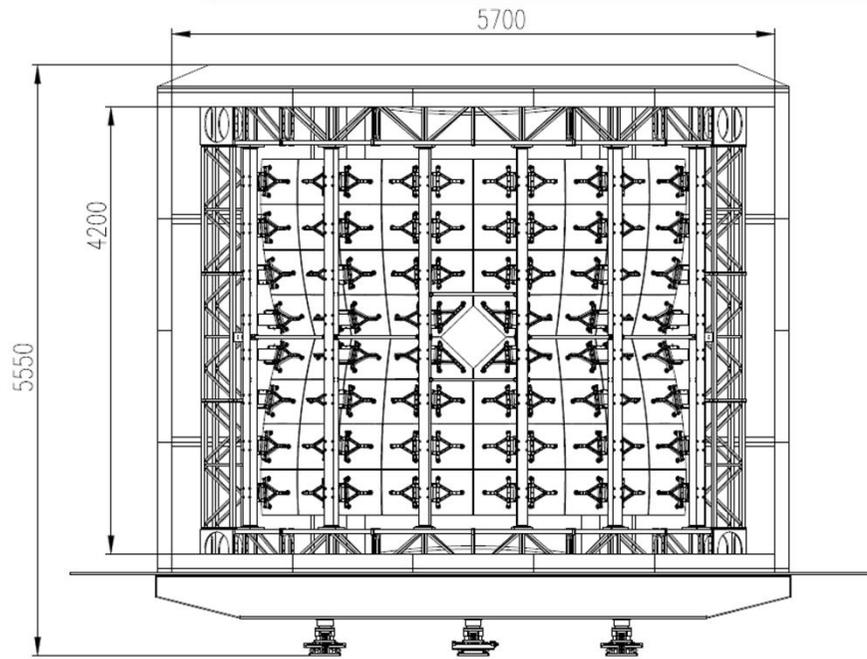
- ❖ Расположен сразу за магнитом;
- ❖ Апертура 25° по вертикали и 35° по горизонтали;
- ❖ Длина вдоль пучка 2 м.;
- ❖ По вертикали зеркало разделено на 2 части;
- ❖ Радиус зеркала 3м;
- ❖ Два фотодетектора (выше и ниже оси пучка);
- ❖ Радиатор – CO₂ при нормальной T и P.
- ❖ 72 плитки стеклянных зеркал (6 мм). Отражающее покрытие – тонкий слой Al.



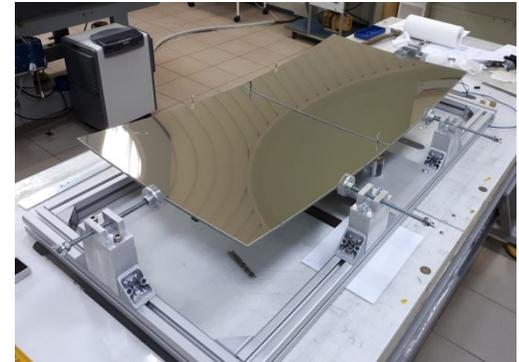
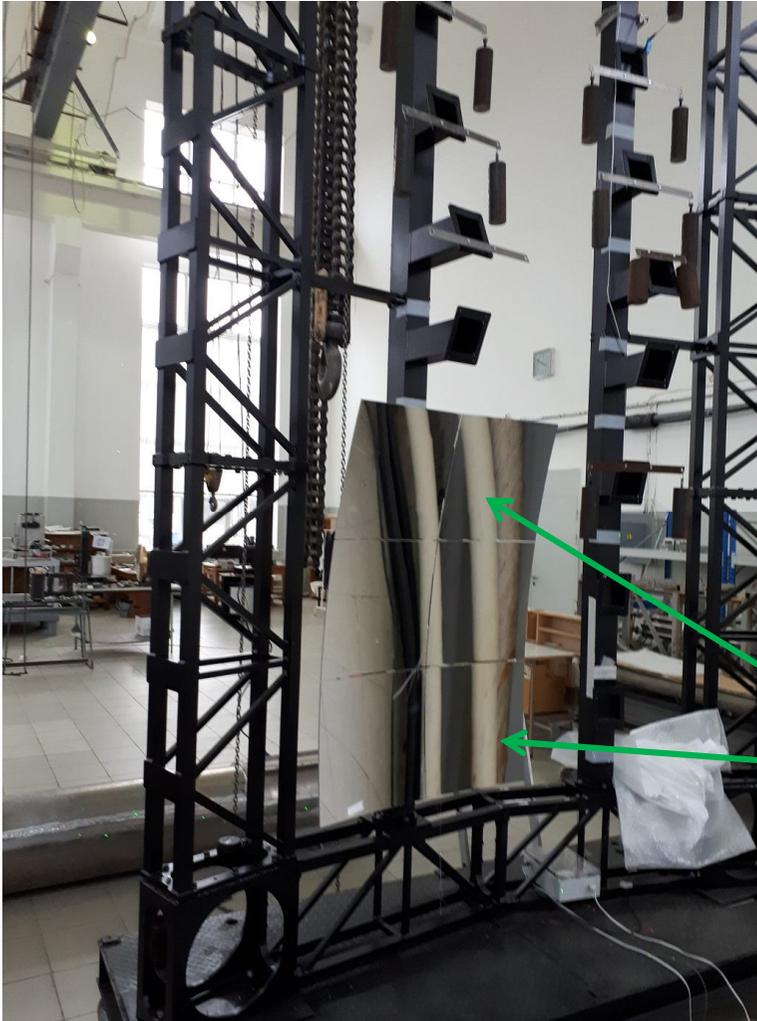
Концепция конструкции RICH



Размеры данной версии RICH



Полномасштабный прототип (1/3) фермы RICH



Наклейка зеркал на стенде, установка на прототип фермы и тестирование

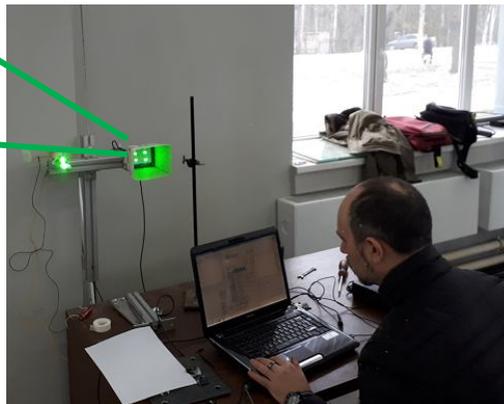
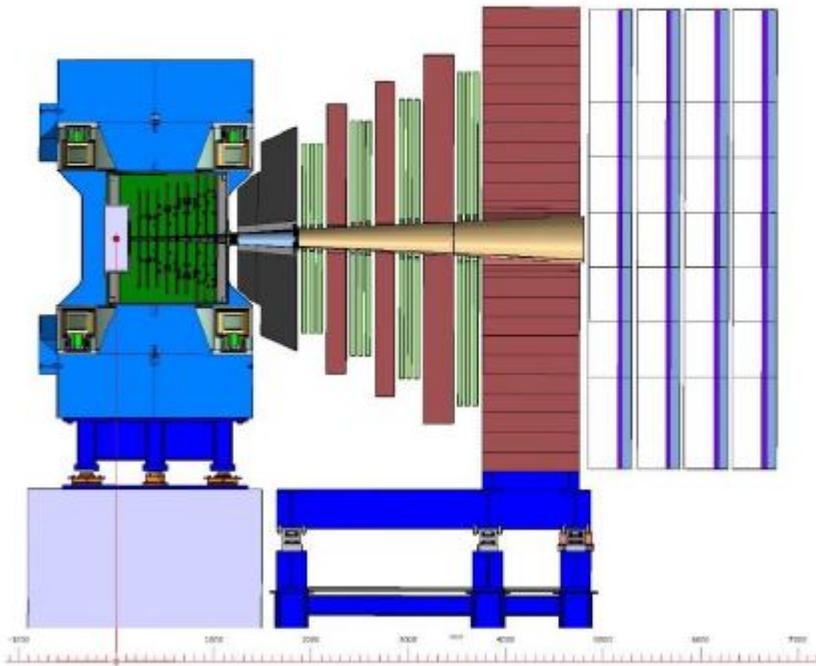


Схема мюонного детектора MUCH

MUCH — 5 слоев абсорбера прослоены трековыми станциями, каждая из которых состоит из 3-х плоскостей (X,Y) детекторов



Абсорбер 1 – 30 см углерод + 30 см бетон ,

Центральная вставка из свинца+Al

Абсорберы 2-5 – железо (1.7 м)

Станции 1,2 – камеры на основе GEM,

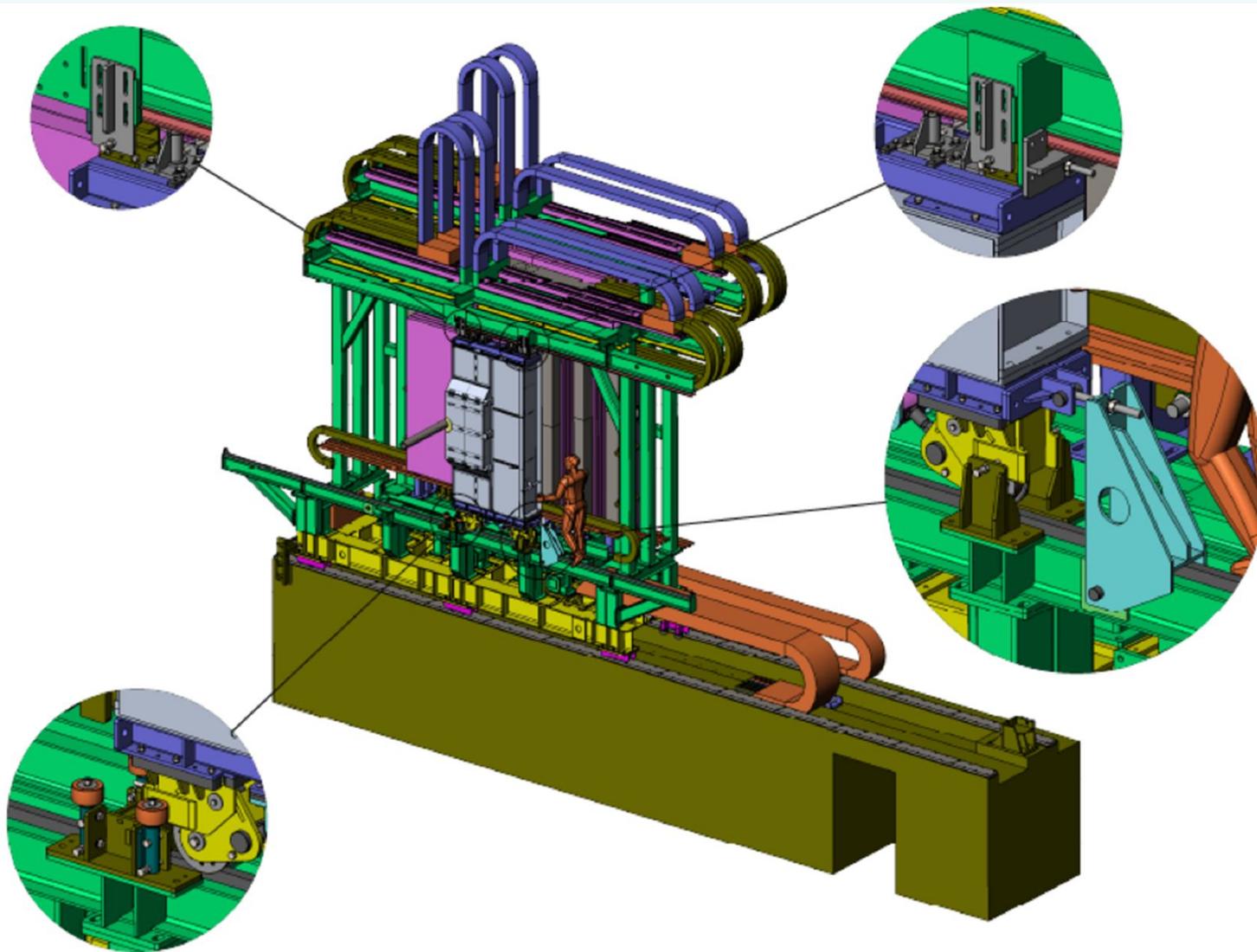
Станции 3,4 – RPC

В качестве 5-й станции – TRD

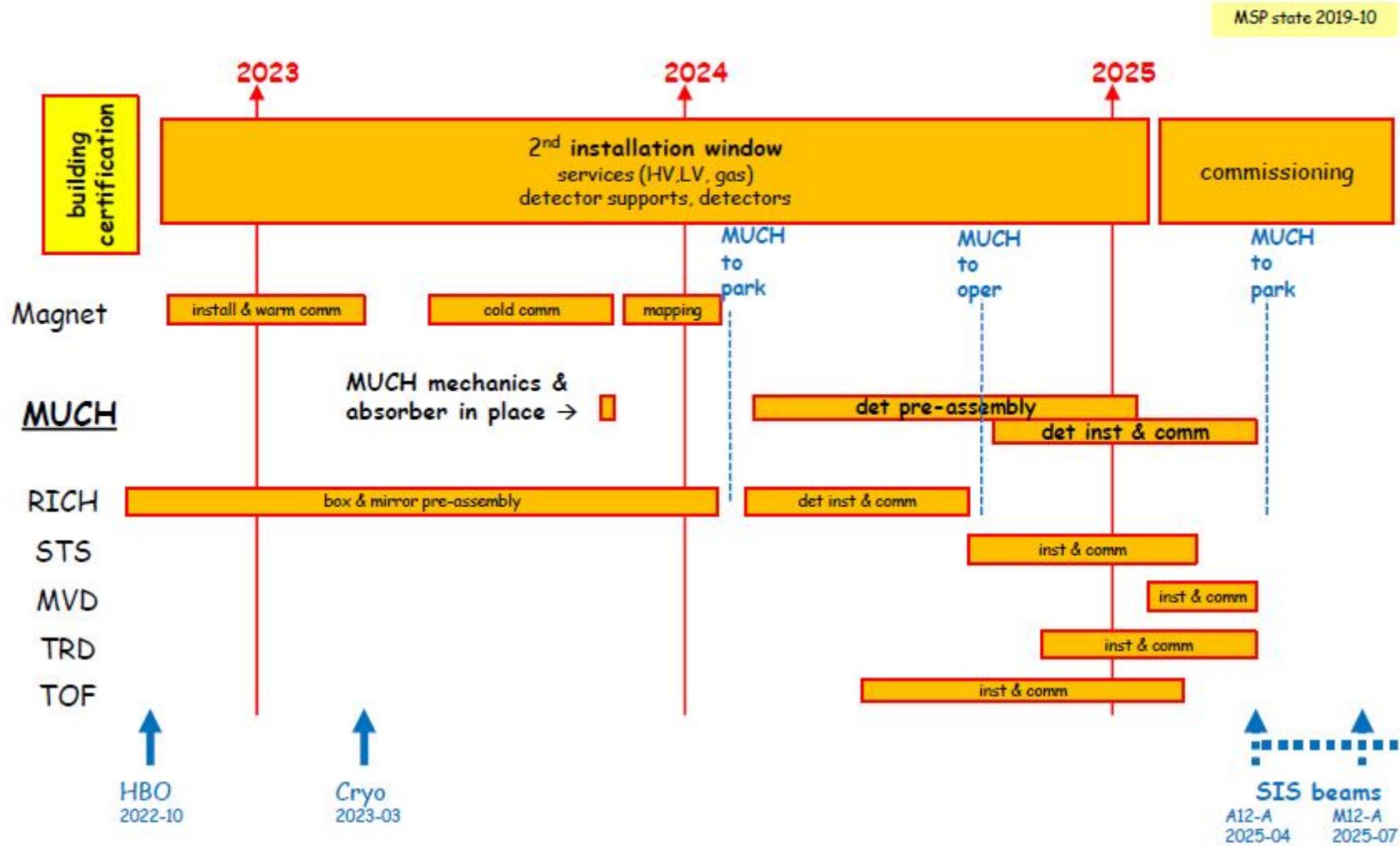
Механика MUCH (этап CDR)

- **Платформа с возможностью перемещения для MUCH**
 - Направляющие + привод
 - Фундамент с учетом замены RICH-MUCH
- **Разработка концепции абсорберов и суперструктуры**
 - Абсорбер 1
 - Концепция абсорберов из железа
 - Суперструктура
 - Размещение сервисов

Вид на 3D полномасштабный инженерный проект мюонного детектора MUCN



CBM Installation – Detectors



4 November
2019

11th ECE & 2nd ECSG - Walter F.J. Müller, FAIR





Спасибо за внимание

10-12 марта 2020, сессия – конференция СЯФ ОФН РАН

Overview

Documented: <http://www.phenix.bnl.gov/plans.html>

