Участие ИЯИ РАН в Мегапроектах по релятивистской ядерной физике

Ф.Ф.Губер

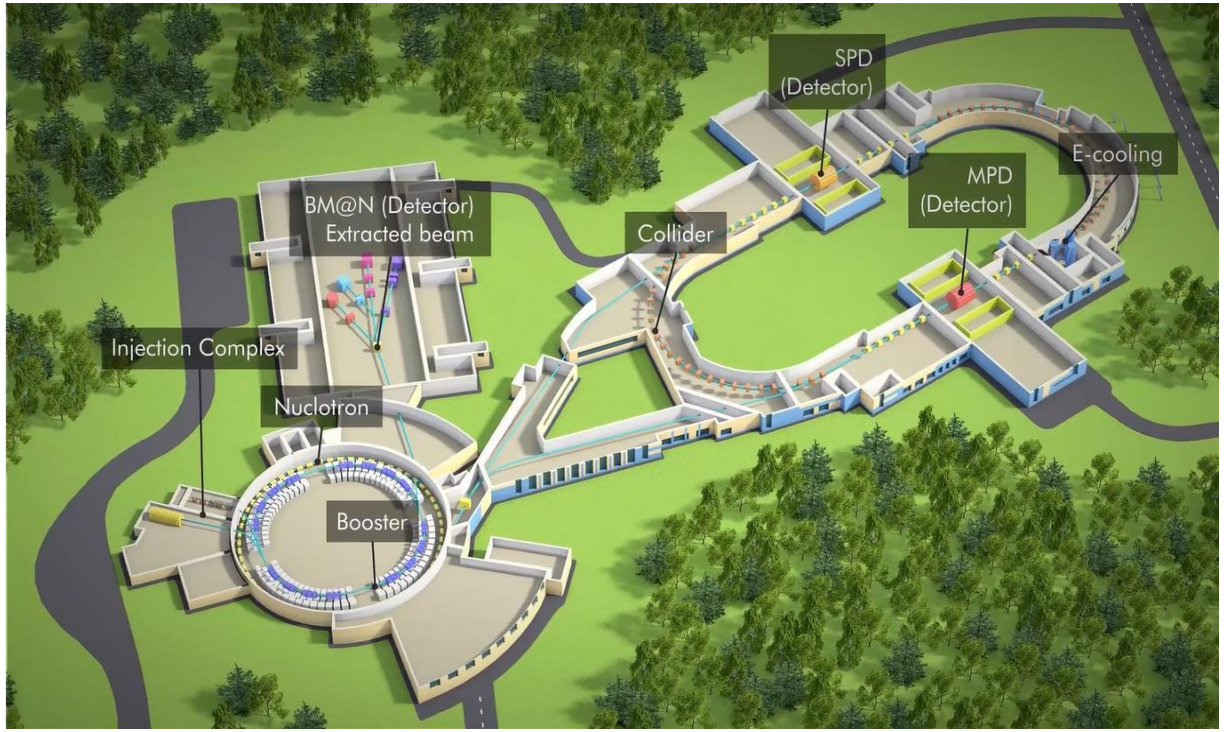
ИЯИ РАН

Ученый совет ИЯИ РАН, 17 сентября 2019 г., г. Москва

Мега-проекты NICA и FAIR

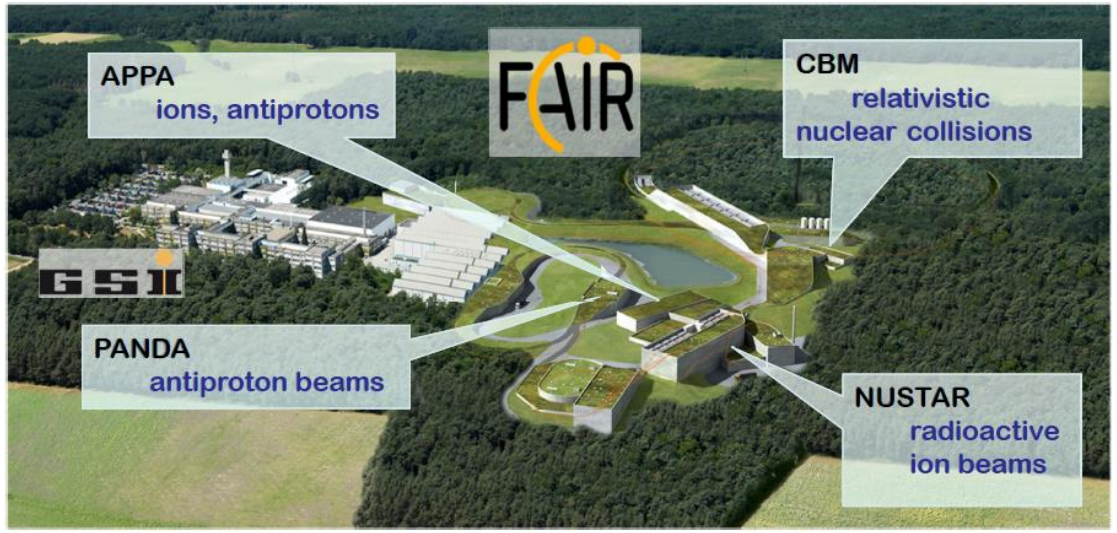
NICA –Nuclotron based Ion Collider fAcility
Запуск – 2021г.

Энергия (сцм) для AuAu – 4 -11 АГэВ
Светимость ($s^{-1}cm^2$) 0.6x10^{25} (4 АГэВ) – 1x10^{27} (11 АГэВ)



FAIR – Facility for Antiproton and Ion Research
Запуск – 2025г.

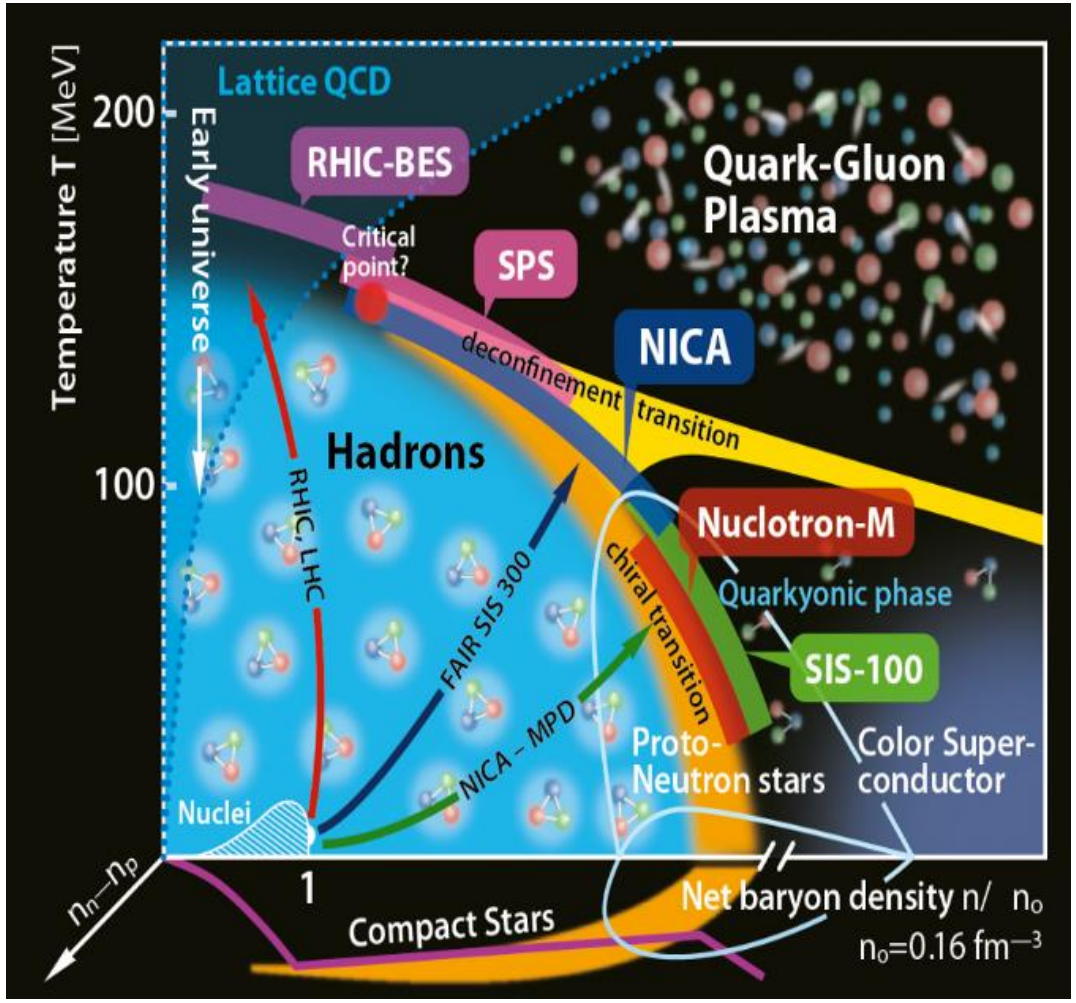
Энергия ионов золота (лаб) – до 11 АГэВ
Интенсивность пучка ионов золота - 10^9 s^{-1}



Участие ИЯИ РАН в экспериментах

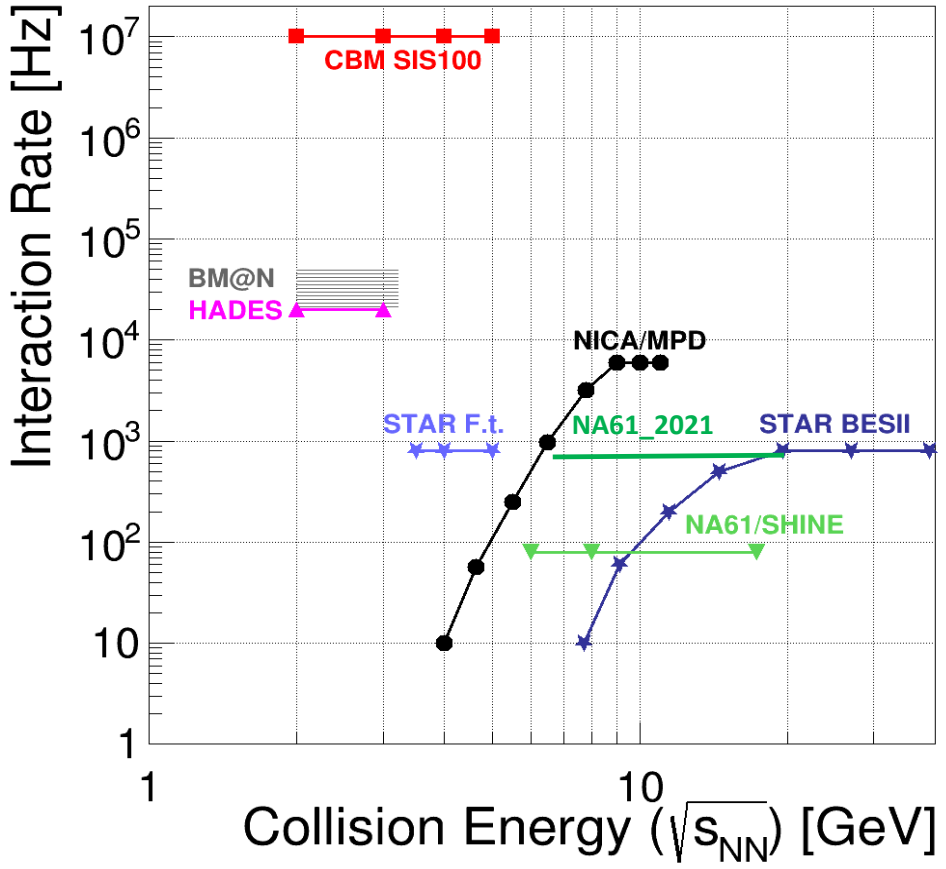
- NICA - BM@N, MPD
- FAIR - HADES, CBM

Программы экспериментов по релятивистской ядерной физике на ускорительных комплексах NICA и FAIR направлены на получение новых экспериментальных данных для исследования свойств ядерной материи, образующейся в ядро-ядерных столкновениях при больших чистых барионных плотностях.



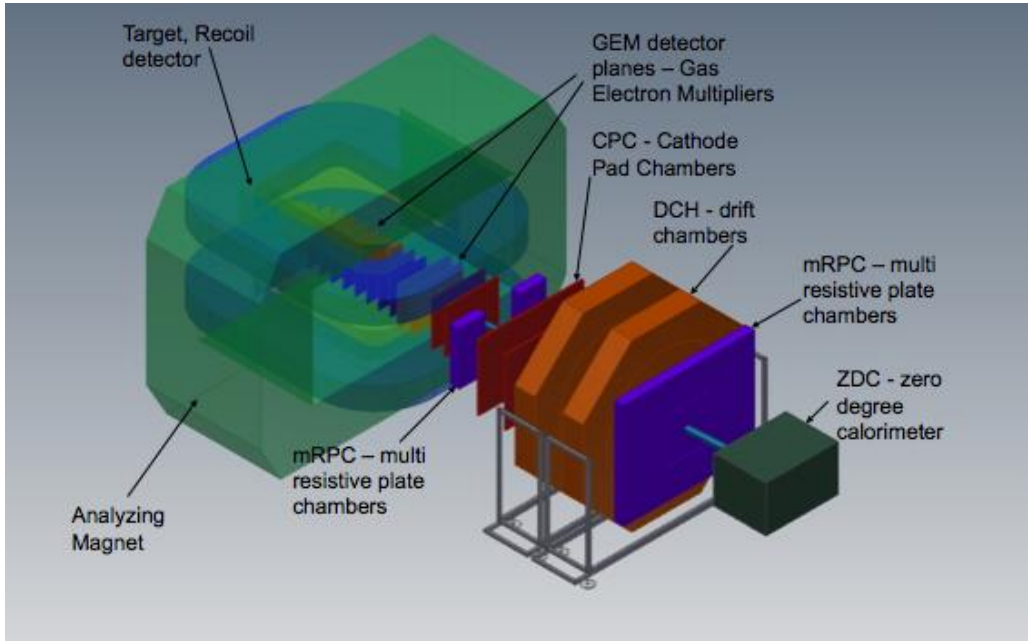
- Уравнение состояния ядерной материи
- Модификация свойств адронов в сверхплотной ядерной среде
- Поиск фазовых переходов и критической точки

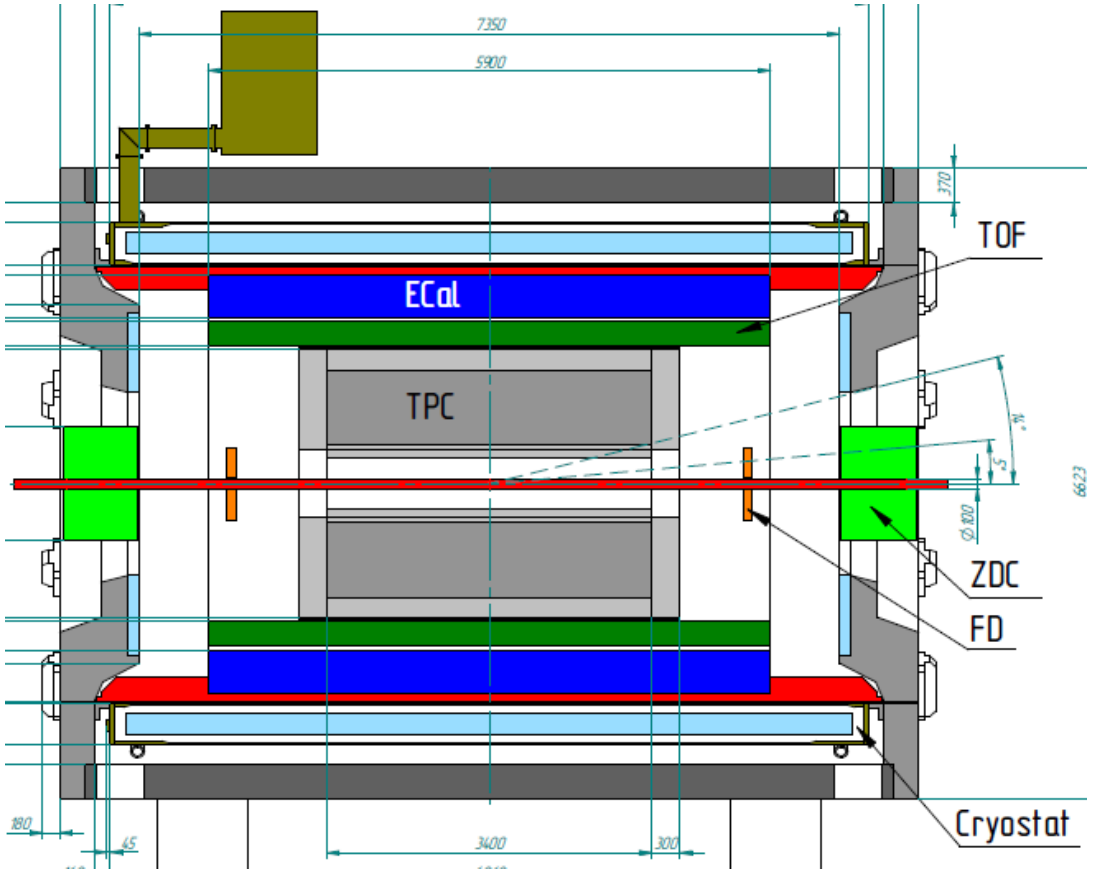
Экспериментальные возможности действующих и будущих экспериментов



Эксперименты на NICA и на FAIR взаимно дополняют друг друга. Параллельное создание двух этих комплексов дает возможность совместной деятельности в области НИОКР с использованием самых передовых технологий (поддержана грантом ЕС – Cremlin+) .

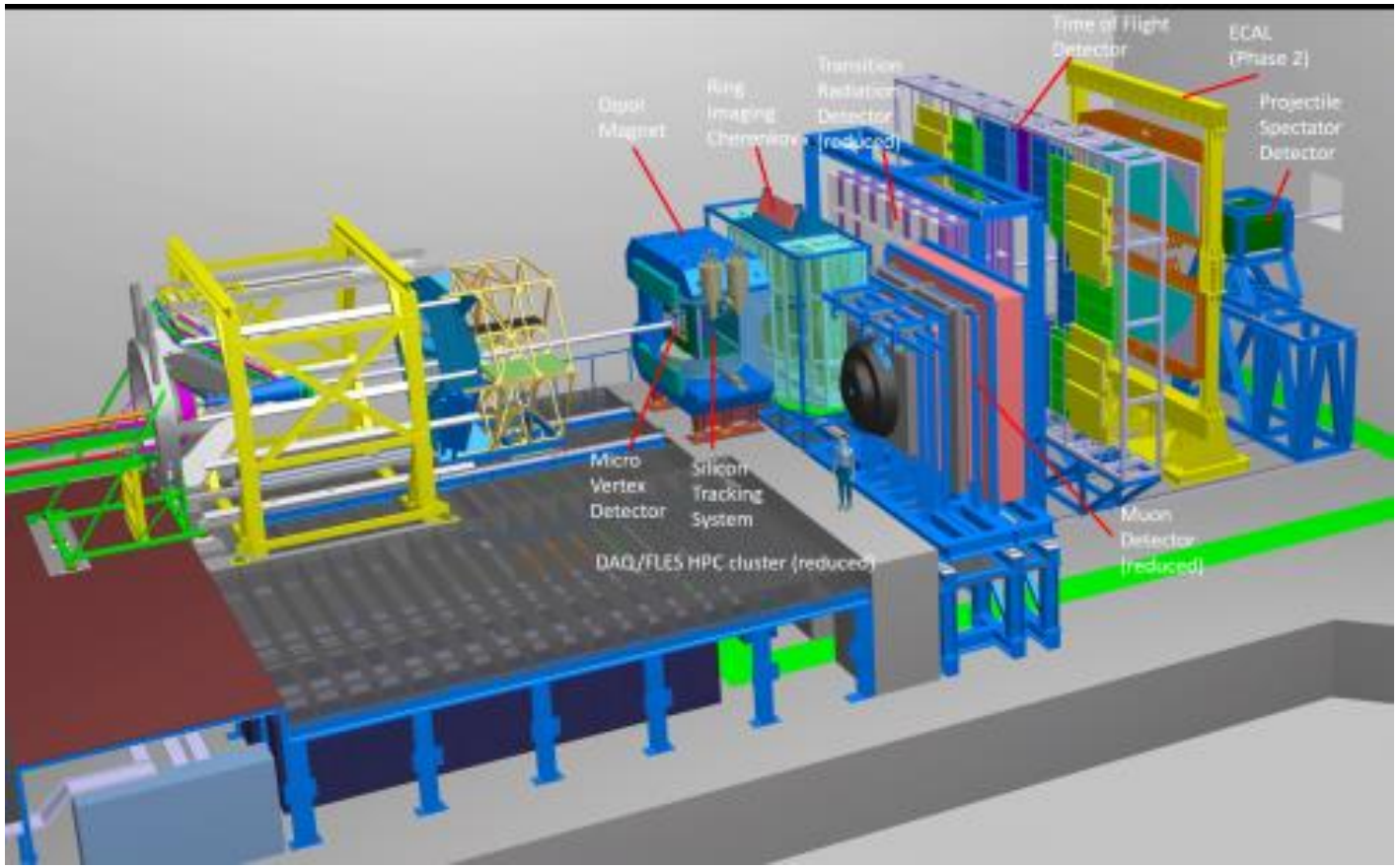
ИЯИ РАН в экспериментах BM@N и MPD на NICA





- Разработка и изготовление передних адронных калориметров для этих установок;
- Разработка методов калибровки калориметров;
- Разработка методов определения центральности и угла плоскости реакции в ядро-ядерных столкновениях;
- Анализ полученных экспериментальных данных.

ИЯИ РАН в экспериментах CBM+HADES на ФАИР

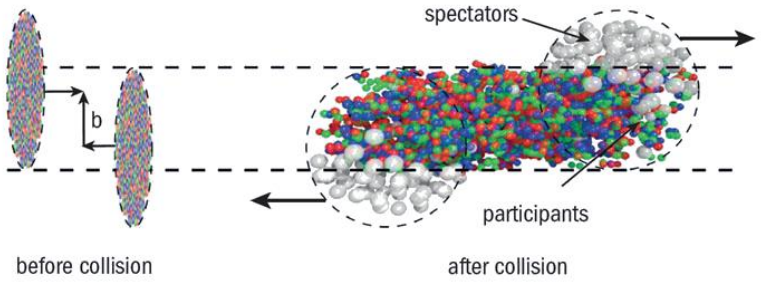


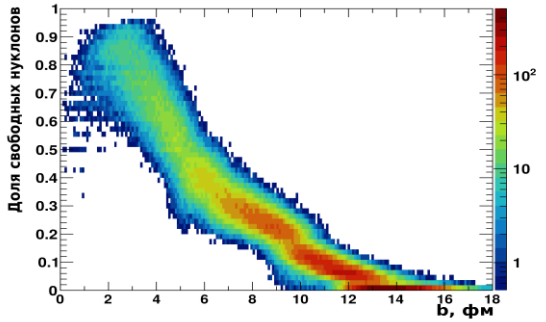
CBM

- Разработка и изготовление переднего адронного калориметра;
- Разработка методов калибровки калориметра;
- Разработка методов определения центральности и угла плоскости реакции в ядро-ядерных столкновениях;
- Моделирование и анализ полученных экспериментальных данных.

Передние адронные калориметры для определения геометрии ядро-ядерных столкновений

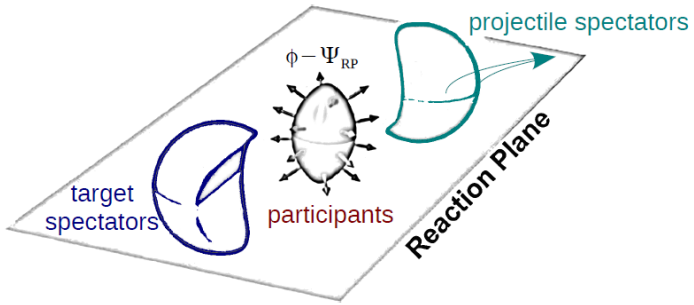
➢ Определение центральности ядро-ядерного столкновения





Группа И.Пшеничнова разрабатывает модель AAMCC, связывающую между собой количество свободных и связанных во фрагменты спектаторных нуклонов. Эта модель необходима для моделирования передних адронных калориметров с пучковым отверстием.
А.Ботвина – разработана модель фрагментации спектаторов в генераторе событий DCMQGSM .

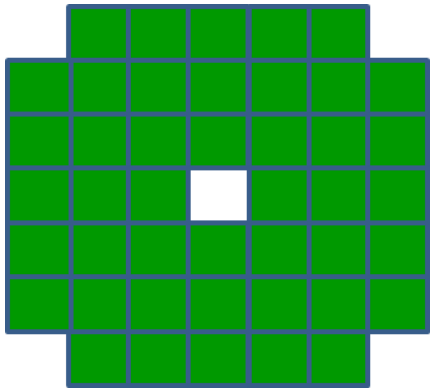
➢ Определение плоскости реакции события



Сотрудничество ИЯИ РАН с МИФИ (группа А.Тараненко и И.Селюженкова)

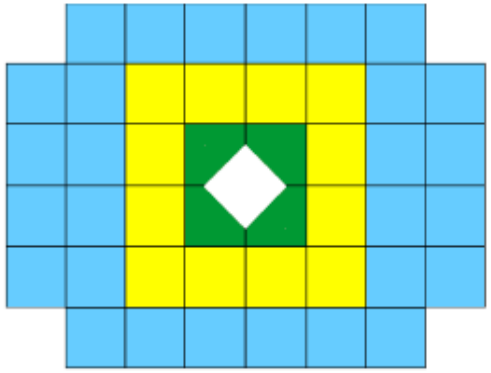
Статус создания адронных калориметров в ИЯИ РАН

FHCAL@MPD



2 x 44 modules,
150x150mm^2
Beam hole (15 x 15 cm^2).
Total weight – 18t.

PSD@CBM



44 modules,
200x200mm^2
Beam hole (20 x 20 cm^2).
Total weight – 22t.

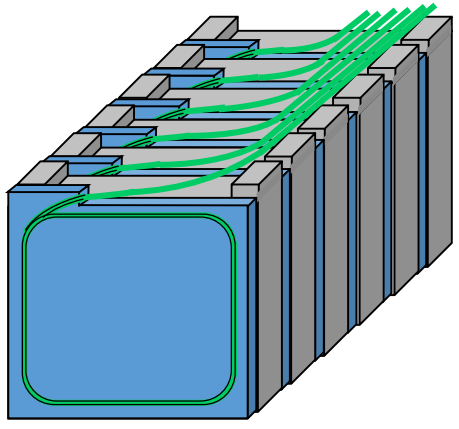
FHCAL@BM@N

34 inner MPD modules
20 outer CBM modules
Total weight – 17t.

- **В 2019 заканчивается сборка модулей в ИЯИ**
- **В ИЯИ созданы стенды для проведения тестирования модулей ка космике**
- **В соответствии с соглашениями ИЯИ-ОИЯИ-CBM, на установке BM@N собран калориметр из модулей CBM и MPD. Ведутся работы по установке электроники.**

Особенности адронных калориметров, разработанных в ИЯИ РАН для ядро-ядерных экспериментов

1. Продольная сегментация модулей со WLS сбором света со сцинт. пластин



- Longitudinal structure of module:
  60 Pb/scint. samples - (Pb(16mm), Scint(4mm)
- Light collections – by WLS fibers from 6 sequentially scunt. tiles (one section) to one optical connector at the end of module.
- Light readout: 10 MPPC (3x3 mm^2) per module.

2. Использование SiPMs для детектирования света

Hamamatsu S12572-010P,
Sensitive area 3 x 3 mm^2
Number of pixels 90 000
nominal gain 1 x 10^5,
Pixel recovery time - 10 ns
PDE -12%

3. Использование цифровой электроники с потоковыми ADC.

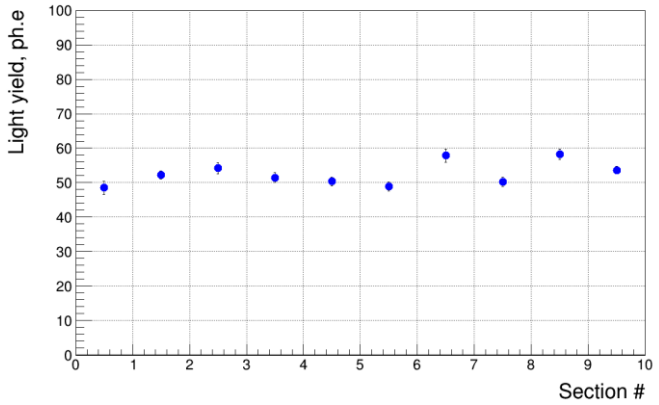
64 readout channels,
12 bit ADCs
Analog sample rate 62.5MS/s

Участок по сборке и тестированию адронных калориметров в ИЯИ РАН

В 2016г. в Институте создан участок по сборке и тестированию модулей адронных калориметров для CBM, BM@N и MPD.

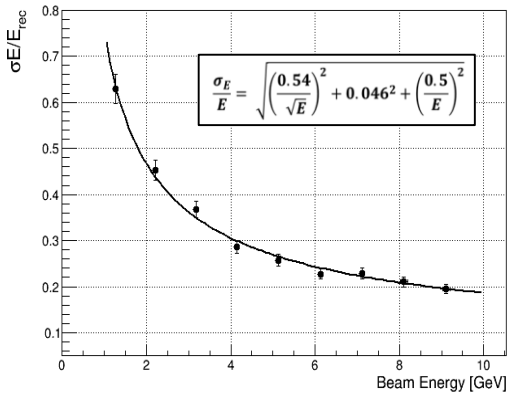
Статус работ по тестированию модулей калориметров

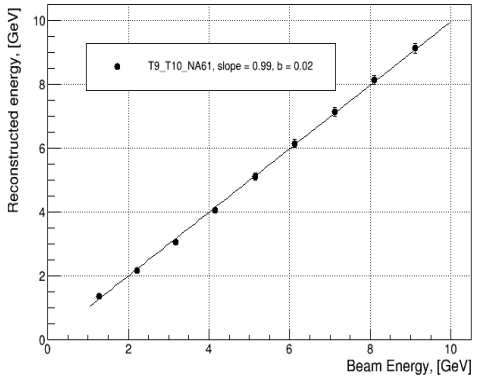
1. **Все модули для калориметра изготовлены и протестированы на космике в ИЯИ РАН**



Средний световыход с каждой секции калориметра составляет порядка 50 ф.эл.

2. Проведено тестирование отклика супермодуля калориметра
На тестовых пучках T9/T10 в марте 2017/апреле 2018





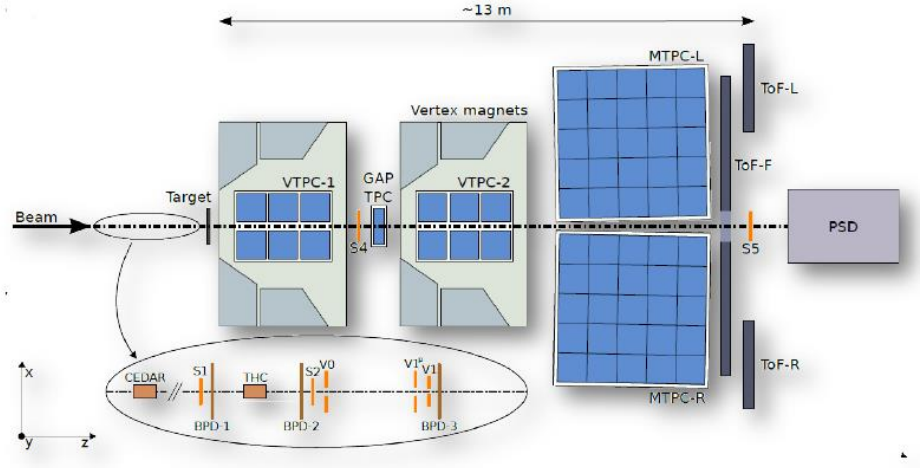
Продемонстрировано, что изготовленные модули калориметра соответствуют Тех. Проектам по калориметрам CBM и MPD.

Результаты доложены на совещаниях коллабораций, международных конференциях и опубликованы.

Коллаборация NA61 (CERN)

Исследование фазовой диаграммы сильновзаимодействующей материи , поиск и открытие критической точки фазового перехода из обычной ядерной материи в кварк-глюонную плазму и исследование свойств начала деконфаймента.

Впервые в мире такой адронный калориметр был разработан, изготовлен в ИЯИ РАН и использован в эксперименте NA61.



2011 - 2018

Модернизация

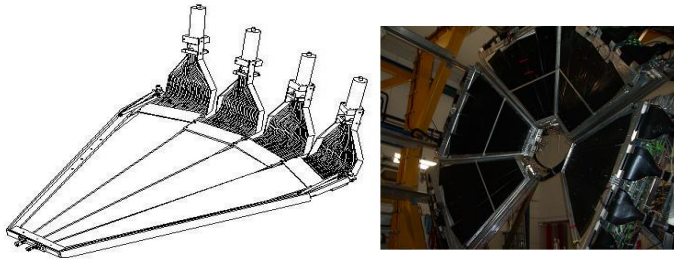
2019 - 2024

Соглашение ИЯИ – CBM - NA61 об использовании модулей CBM в NA61.

ИЯИ РАН в эксперименте HADES (1994 – 203+)

High Acceptance Di-Electron Spectrometer

Исследование свойств адронов и плотной ядерной материи и поиск частичного восстановления киральной симметрии в плотной ядерной материи.



2002 -2008г.:

TOFINO – передний сцинт. годоскоп: 4 дет. х 6 секторов. $\delta_{TOF} \sim 400\ psec$. Разработан и изготовлен в ИЯИ. Использовался в экспериментах в 2002 - 2008г.

В 2010 – TOFINO → RPC

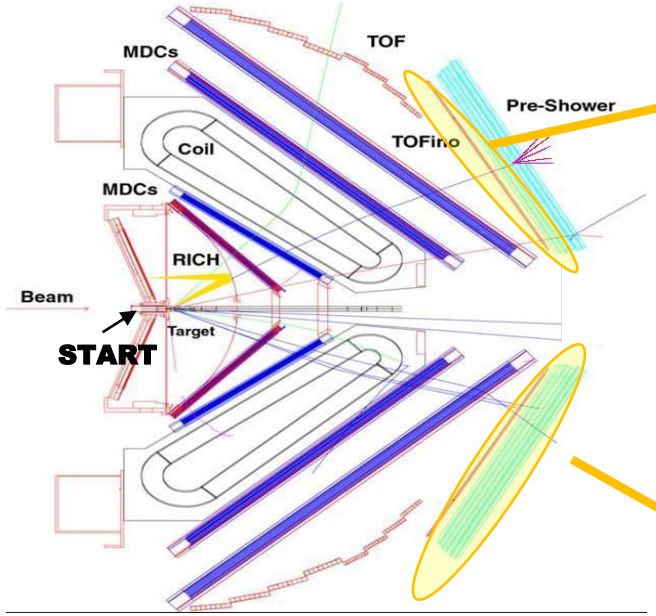
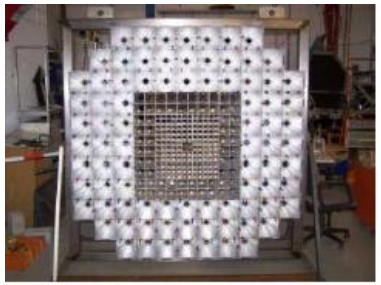


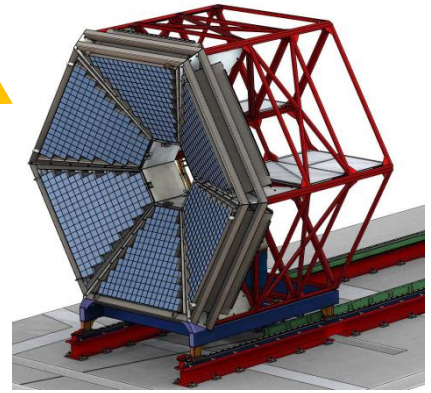
Схема установки HADES

FW



2006 –по настоящее время:

FW – передний сцинт. годоскоп: 288 – сцинт. детекторов. Идентификация – t, dE/dx



2011–по настоящее время:

ECAL – электромагнттный калориметр, Состоит из 978 из модулей с радиатором из свинцового стекла .

Получены ИЯИ РАН с установки OPAL в ЦЕРНе

Около 100 публикаций. Недавно вышла статья в Nature Physics

Подготовка кадров в ИЯИ РАН
для участия в экспериментах на NICA и FAIR

В работах, связанных с подготовкой экспериментов на NICA и FAIR участвуют около 30 научных и инженерно-технических работников ИЯИ РАН.
Из них, порядка 50% молодежь (до 35 лет).

Налажен процесс привлечения студентов и аспирантов из МИФИ и МФТИ в работы по проектам NICA, FAIR, NA61.

В настоящее время реально работают:
- **2 студента МИФИ,**
- **3 студента МФТИ,**
- **2 аспиранта МИФИ. 1 аспирант ИЯИ, 1 аспирант МФТИ**

Студенты и аспиранты участвуют и выступают с докладами на российских и международных конференциях, участвуют в подготовке публикаций.

Финансовое обеспечение работ в ИЯИ РАН по подготовке экспериментов на NICA и FAIR

- Все эти работы включены в Госзадание.
- Программа Президиума РАН.
- Средства МОН на зарубежные командировки.

- Контракт ФАИР-ИЯИ (2015 -2019, продлен до 2024).
- Договора ОИЯИ-ИЯИ (2017 – 2020).

- 3 гранта РФФИ-МЕГА (2019 – 2021), (Ф.Губер, А.Ивашкин, И.Пшеничнов).
- Подана заявка на совместный Российско-Чешский грант РФФИ(2020 -2022г.). (Результат будет объявлен в декабре 2019г.)
- Грант ЕС - Cremlin+, (2020 -2024) - направлен на развитие научно-технического сотрудничества между Институтами Европейского Союза и Российскими Институтами в рамках Российских мегапроектов. В частности, одним из поддержанных направлений является разработка и создание переднего адронного калориметра для установки BM@N (Barionic matter at Nuclotron).

WP number	WP 2		Lead beneficiary			FAIR		
Work package title	NICA - Collaboration with NICA							
Participant number	14	6	5	7	12	26	28	32
Participant short name	**FAIR**	**JINR**	INR RAS	MEPhi	EKUT	NPI CAS	Wigner RCP	WUT

Task 2.5: Development and construction of Zero Degree Calorimeters for NICA and CBM (INR RAS, NPI CAS) M1-M48

The Zero Degree Calorimeters are required for the characterization of the heavy-ion reaction, i.e. they provide important information on the centrality of the collision and the orientation of the reaction plane. The Zero Degree Calorimeter (ZDC) of the BM@N experiment, the Forward Hadron Calorimeter (FHCAL) for the MPD experiment, and the Projectile Spectator Detector (PSD) for the CBM experiment will be assembled from modules already constructed at INR RAS. The INR RAS group will assemble, test and commission the ZDC at BM@N and the FHCAL at NICA. Finally, the INR RAS group, together with the NPI CAS group will perform simulations to optimize the configuration of the forward hadron calorimeters for the BM@N, MPD and CBM experiments. Moreover, the NPI CAS team is responsible for the performance of the Avalanche Photon Detectors (APDs) which are used to read out light signal from the ZDCs.

Dr. Fedor Guber (M): leading scientist in INR; Coordinator of FHCal project at BM@N, the coordinator of the PSD CBM project. Participant of WP2 in EU project CREMLIN. WP2

Спасибо за внимание