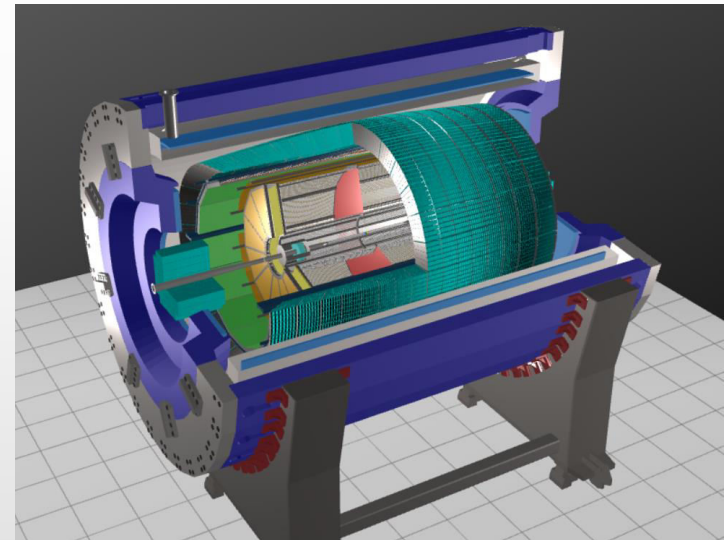
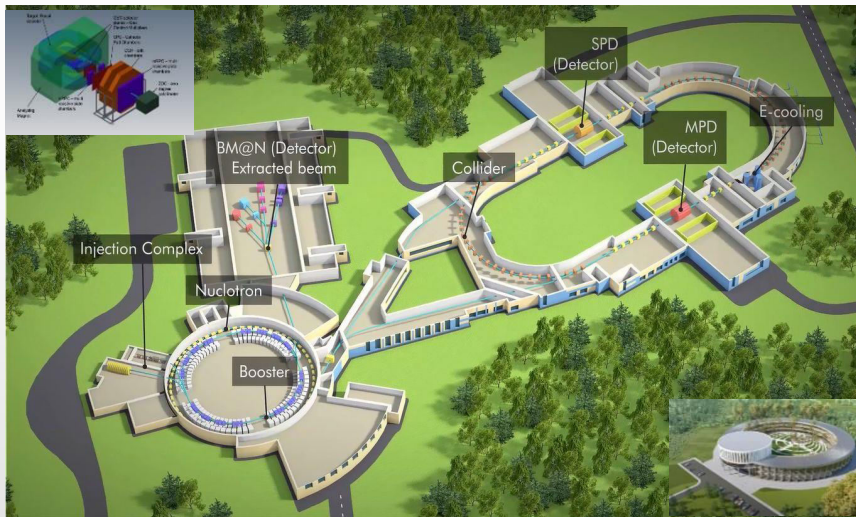




Nuclotron based Ion Collider facility

Участие ОФВЭ в эксперименте MPD-NICA

Ю. Рябов



Multi-Purpose Detector (MPD) Collaboration



MPD International Collaboration was established in 2018 to construct, commission and operate the detector

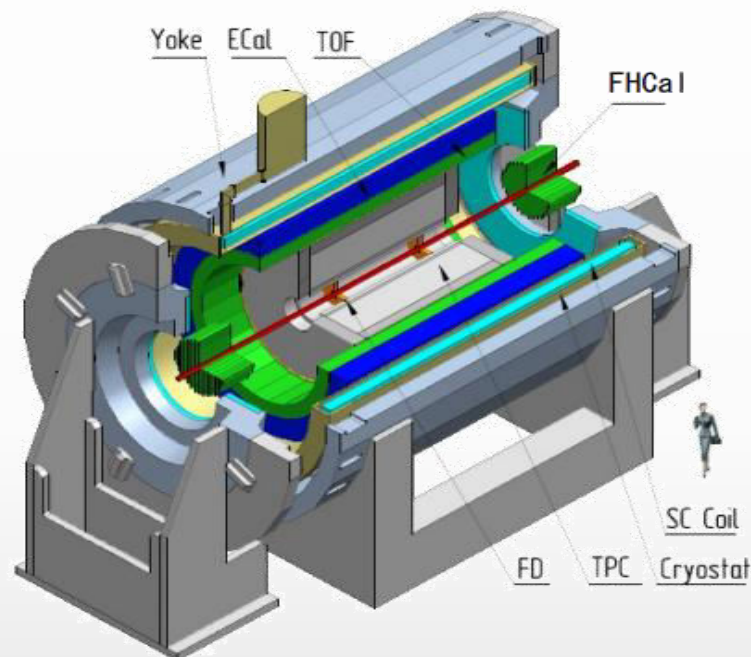
12 Countries, >500 participants, 38 Institutes and JINR

Organization

Acting Spokesperson: Victor Riabov
Deputy Spokespersons: Zebo Tang, Arkadiy Taranenko
Institutional Board Chair: Alejandro Ayala
Project Manager: Slava Golovatyuk

Joint Institute for Nuclear Research, Dubna;

A.Alikhanyan National Lab of Armenia, Yerevan, **Armenia;**
SSI "Joint Institute for Energy and Nuclear Research – Sosny" of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, **Belarus**
University of Plovdiv, **Bulgaria;**
Tsinghua University, Beijing, **China;**
University of Science and Technology of China, Hefei, **China;**
Huzhou University, Huzhou, **China;**
Institute of Nuclear and Applied Physics, CAS, Shanghai, **China;**
Central China Normal University, **China;**
Shandong University, Shandong, **China;**
University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, **China;**
University of South China, **China;**
Three Gorges University, **China;**
Institute of Modern Physics of CAS, Lanzhou, **China;**
Tbilisi State University, Tbilisi, **Georgia;**
Institute of Physics and Technology, Almaty, **Kazakhstan;**
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, **Mexico;**
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, **Mexico;**
Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM, **Mexico;**
Universidad Autónoma de Sinaloa, **Mexico;**
Universidad de Colima, **Mexico;**
Universidad de Sonora, **Mexico;**
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, **Mexico**
Institute of Applied Physics, Chisinev, **Moldova;**
Institute of Physics and Technology, **Mongolia;**



Belgorod National Research University, **Russia;**
Institute for Nuclear Research of the RAS, Moscow, **Russia;**
High School of Economics University, Moscow, **Russia**
National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, **Russia;**
Moscow Institute of Science and Technology, **Russia;**
North Osetian State University, **Russia;**
National Research Center "Kurchatov Institute", **Russia;**
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University Saint Petersburg, **Russia;**
Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, **Russia;**
St.Petersburg State University, **Russia;**
Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Moscow, **Russia;**
Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina, **Russia;**
Vinča Institute of Nuclear Sciences, **Serbia;**
Pavol Jozef Šafárik University, Košice, **Slovakia**



- «Соглашение о научно-техническом сотрудничестве в области ядерной физики, физики элементарных частиц и смежных областях» между НИЦ «Курчатовский институт» и ОИЯИ (№ СОГ 23/р 15.08.2018)



(стороны признают важность объединения усилий для проведения научно-исследовательских и инновационных разработок на базе международных проектов класса мега-сайенс на территории Российской Федерации и за рубежом (МЦНИ ПИК, NICA, ИССИ-4, ИГНИТОР, FAIR, XFEL, CERN-LHC и др.)

- 2021 – меморандум между НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ и коллаборацией MPD на 1 год, продлен (как минимум до 2026 года) в 2023 году специальным дополнением.

Signatures


The undersigned Parties declare that they agree on to the present Memorandum of Understanding for the MPD Experiment.

For JINR:
Prof. Vladimir Kekelidze
JINR Vice Director


Date: 27.09.2021

For the MPD Collaboration:
Prof. Adam Kisiel
MPD Collaboration Spokesperson




Date: 24.9.2021

For the Petersburg Nuclear Physics Institute named by B.P. Konstantinov of National Research Centre «Kurchatov Institute»:
Sergey Gorchakov
Director of NRC «Kurchatov Institute» - PNPI



Date:

Dr. Viktor Riabov
Group Leader



Date: 16.09.2021

Addendum 1
To the Memorandum of Understanding
dated June 09th – 17th, 2021
between
MPD Collaboration,
Joint Institute for Nuclear Research
and
Petersburg Nuclear Physics Institute named by B.P. Konstantinov
of National Research Centre «Kurchatov Institute»
(hereinafter – NRC «Kurchatov Institute» - PNPI)
for
performing the MPD Experiment for Studies of Baryonic Matter at the NICA Collider

Signatures

For JINR:
Prof. Vladimir Kekelidze
JINR Vice Director




Date: 17.02.2023

For the MPD Collaboration:
Prof. Viktor Riabov
MPD Collaboration Spokesperson



Date: 16.02.2023

For the Petersburg Nuclear Physics Institute named by B.P. Konstantinov of National Research Centre «Kurchatov Institute»:
Sergey Gorchakov
Director of NRC «Kurchatov Institute» - PNPI




Date: 09.02.2023

Yuriy Ryabov
Group Leader



Date: 09.02.2023

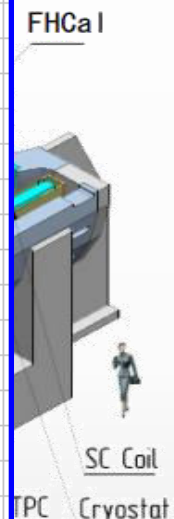
Multi-Purpose Detector (MPD) Collaboration



MPD International Collaboration was established in 2018 to construct, commission and operate the detector

12 Countries >500 participants 38 Institutes and JINR

1	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Rinat Abdulin abdullin_rr@pnpi.nrcki.ru	
2	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Nazar Burmasov nazar.burmasov@cern.ch	
3	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Alexander Dyachenko dyachenko_a@mail.ru	
4	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Aleksei Ezhilov ezhilov_ae@pnpi.nrcki.ru	
5	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Oleg Fedin Oleg.Fedin@cern.ch	
6	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Dmitrii Ivanishchev ivanishchev_da@pnpi.nrcki.ru	
7	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Alexey Khanzadeev khantzadeev_av@pnpi.nrcki.ru	
8	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Leonid Kochenda kochenda_lm@pnpi.nrcki.ru	
9	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Dmitrii Kotov dmitriy.kotov@gmail.com	
10	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Petr Kravtsov pkravt@gmail.com	
11	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Evgeny Kryshen Evgeny.Kryshen@cern.ch	
12	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Anna Kyrianova kirianova_as@pnpi.nrcki.ru	
13	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Maksim Maksimov maximov_mv@pnpi.nrcki.ru	
14	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Mikhail Malayev mikhail.malaev@cern.ch	
15	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Victor Maleev maleev_vp@pnpi.nrcki.ru	
16	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Yuri Naryshkin naryshkin_yg@pnpi.nrcki.ru	
17	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Marina Pokidova pokidova_mv@pnpi.nrcki.ru	
18	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Denis Pudzha dennis.pudzha@cern.ch	
19	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Yuriy Riabov yuriy.g.ryabov@cern.ch	
20	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Andrei Riabov andrei.riabov@cern.ch	
21	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Vladimir Samsonov vladimir.samsonov@cern.ch	
22	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Alexander Vasilyev vasillie@gmail.com	
23	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Marat Vznuzdaev vznuzdaev@gmail.com	
24	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Georgy Zalite goshaza1995@gmail.com	
25	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA Mikhail Zhalov m.zhalov@gmail.com	
26	RUSSIA Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI), Gatchina, RUSSIA / MEPHI Victor Riabov Viktor.Riabov@cern.ch	



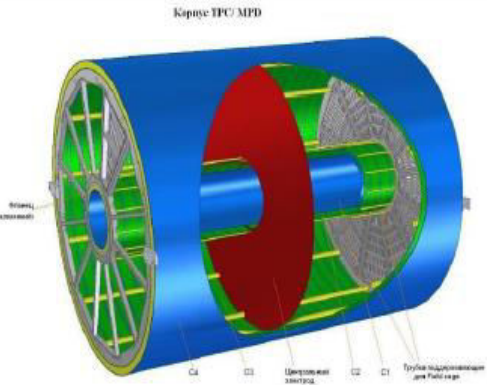
rch University, **Russia**;
 IAS, Moscow, **Russia**;
 ersity, Moscow, **Russia**
 iPh, Moscow, **Russia**;
 d Technology, **Russia**;
 ate University, **Russia**;
 atov Institute", **Russia**;
 int Petersburg, **Russia**;
 mics, Moscow, **Russia**;
 St.Petersburg State University, **Russia**;

Universidad de Colima, **Mexico**;
 Universidad de Sonora, **Mexico**;
 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, **Mexico**
 Institute of Applied Physics, Chisinev, **Moldova**;
 Institute of Physics and Technology, **Mongolia**;



robertsyn Institute of Nuclear Physics, Moscow, **Russia**;
 Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina, **Russia**;
 vica Institute of Nuclear Sciences, **Serbia**;
 Pavol Jozef Šafárik University, Košice, **Slovakia**

TPC gas system



length	340 cm
outer Radii	140 cm
inner Radii	27 cm
gas	90%Ar+10%CH ₄
drift velocity	5.45 cm / μs;
drift time	< 30 μs;
# R-O chamb.	12 + 12
# pads/ chan.	95 232
max rate	< 7kGz (L= 10 ²⁷)



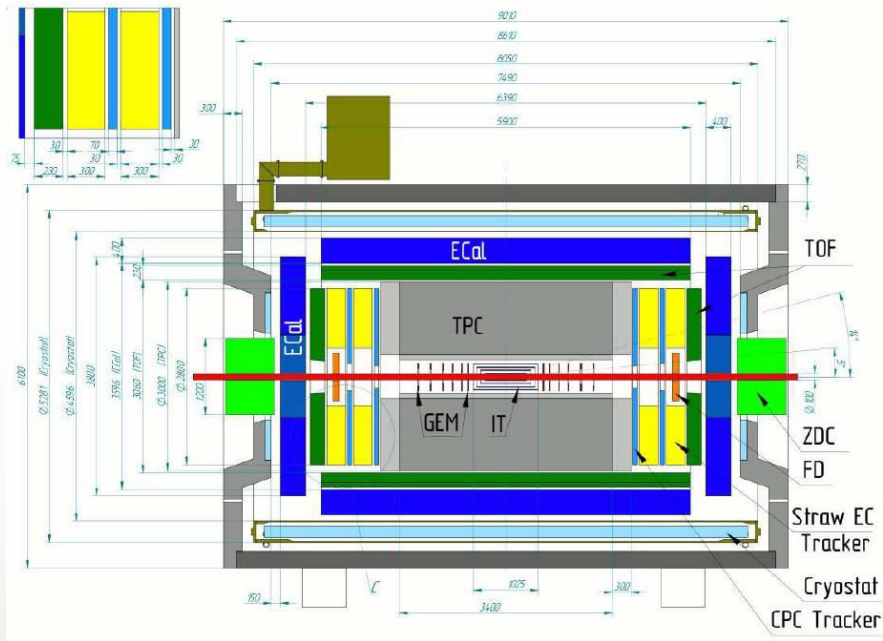
TPC MPD gas system was designed in 2014 and assembled at PNPI in 2016. It provides (Ar + 10% Methane) gas mixture to the TPC detector at the correct differential pressure (2mbar). The system operates nominally as a closed circuit gas system with the majority of gas recirculation through the detector. The TPC MPD gas system is the first system designed in our laboratory with two recirculation circuits. The inner circuit provides fast gas mixture exchange in the detector at large flowrate. The outer one provides quality control of the mixture, fresh gas supply, pressure stabilization etc. The slow control for the gas system is based on single DAQ32 module.

<https://lkst.pnpi.nw.ru/projects/nica/tpc/>

Форвардный трековый детектор.

R. Abdulin, O. Fedin, E. Kryshen, A. Riabov, G. Zalite, M. Zhalov

Задача: разработка концепции форвардных трековых детекторов для эксперимента MPD.



On straw tracker:

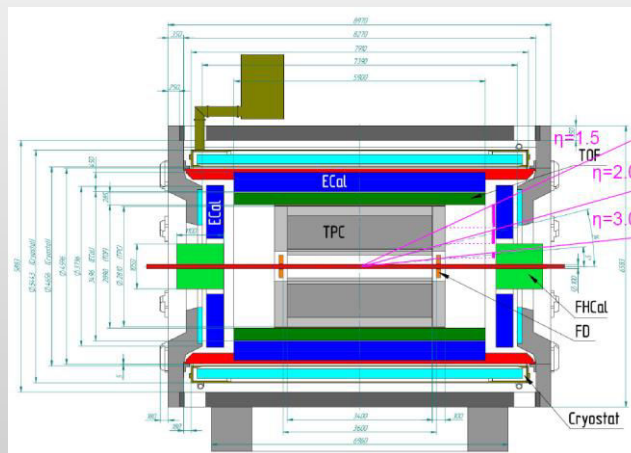
- V. Kekelidze, V. Peshekhonov, N. Topilin, Phys. Part. Nucl. Lett. 9 (2012) 180
- J. Fedorishin, PoS Baldin ISHEPPXXII (2015) 130

On cathod pad chambers:

- J. Fedorishin, O. Rogachevsky, Y. Kiryushin, PoS Baldin ISHEPP-XXI (2012) 004

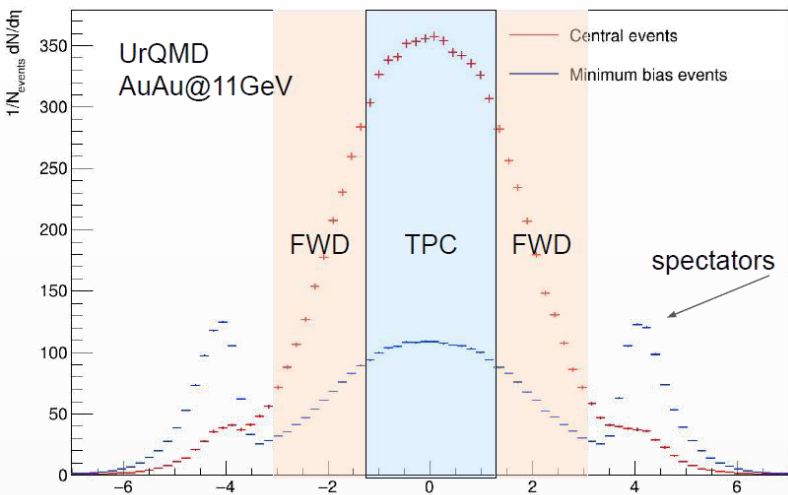
✓ Были исключены в финальном варианте первой стадии спектрометра;

Status and initial physics...,
EPJA 58 (2022) 140



Форвардный трековый детектор.

Pseudorapidity coverage



❖ ТРС позволяет регистрировать примерно 55% частиц, рождающихся в центральных столкновениях. Форвардный трековый детектор может поднять этот показатель до 90 %.

❖ Позволяет улучшить точность различных наблюдаемых и открывает возможности для изучения новых эффектов:

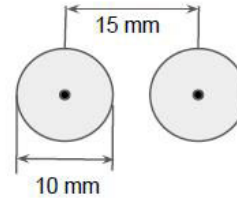
✓ Определение полных выходов и отношений выходов частиц и тестирование различных эффектов статистической модели, таких как the kink, the horn, the step, the dale и др.;

✓ Расширенный диапазон по псевдобыстроте открывает возможность исследований барионной аномалии в форвардной области в диапазоне импульсов от 1 до 4 ГэВ, где с точки зрения модели коалесценции оказывается важен именно полный импульс частиц;

- ✓ Расширенный диапазон по псевдобыстроте открывает возможность исследований барионной аномалии в форвардной области в диапазоне импульсов от 1 до 4 ГэВ, где с точки зрения модели коалесценции оказывается важен именно полный импульс частиц;
- ✓ Расширяет возможности исследования двухчастичных корреляций, так как позволяет лучше изолировать пик, связанный с корреляциями частиц в струях и распадах резонансов. Кроме того, расширенный диапазон по псевдобыстроте значительно увеличивает статистику в исследованиях многочастичных корреляций;
- ✓ Важно для прецизионных измерений зависимости направленного потока (коэффициента v_1) от псевдобыстроты, изменение знака которого ожидается при энергиях коллайдера NICA;
- ✓ Измерения полных выходов частиц также важны для исследований флуктуаций барионного заряда и поиска критической точки на диаграмме ядерной материи;
- ✓ Позволяет расширить программу других исследований, например позволяет исследовать зависимость поляризацию Λ -гиперонов от быстроты, изучать различные аспекты непертурбативной КХД, такие как дифракционное рождение частиц, рождение инстантона и т.д.;
- ✓ Позволит более точно определять центральность столкновений и плоскость реакции;
- ✓ Внедрение триггерной электроники для форвардного трекера также позволит значительно улучшить триггерные возможности эксперимента, особенно в столкновениях малых систем;
- ✓ Работа форвардного детектора в режиме непрерывного считывания может значительно увеличить статистику, набираемую в протон-протонных столкновениях, что также позволит изучать различные аспекты физической программы эксперимента SPD.

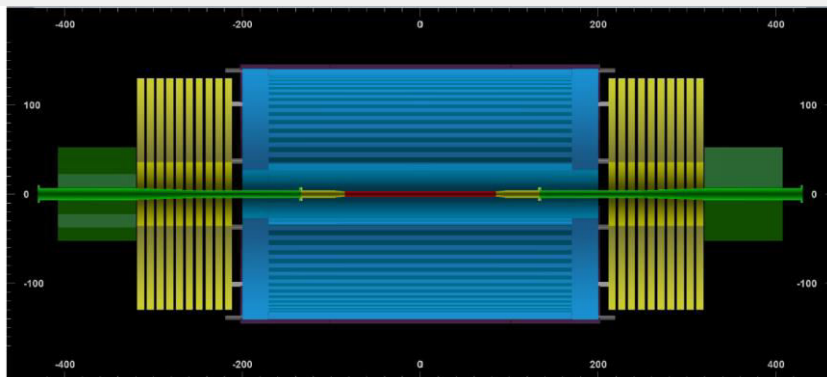
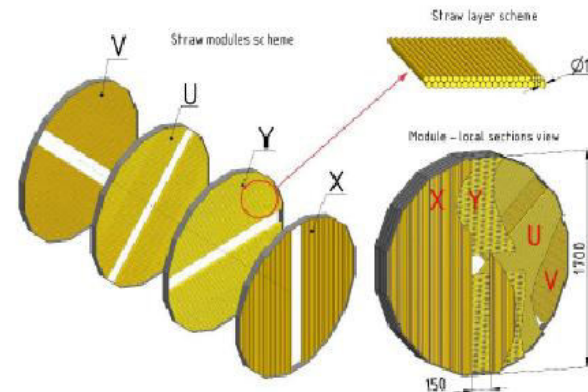
Форвардный трековый детектор.

- ❖ Детектирующий элемент – тонкостенные дрейфовые трубки.
- ❖ Основа конструкции – станция из 4 слоев трубок, направленных в разные стороны.
 - ✓ dZ станции ~ 6 см, радиационная длина ~ 0.112X0.
- ❖ Рассмотрено 2 варианта с 5 и 10 станциями с каждой стороны.
- ❖ Детектор перекрывает диапазон по псевдобыстроте $1.47 < |\eta| < 2.5$.



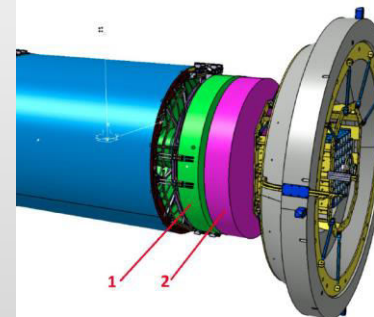
Each straw tube:

- Tube diameter: 10 mm
- Tube thickness: 30 μm kapton
- Wire diameter: 30 μm tungsten
- Gas: ArCO₂: 70%/30%
- Hit resolution ~ 100 μm
- Effective radiation length: 0.112% X₀ per station



- Main goal: reduce combinatorics for track finding
- 10 equidistant stations
- Rmin = 35.7 cm, Rmax = 130 cm

Realistic 3D model



- L₀ = 85 cm instead of 100 cm in the toy model
- $\eta_{\text{min}} = 1.55$
- $\eta_{\text{max}} = 2.47$

- Just received a realistic 3D model with all mechanical substructures
- Defines a more realistic envelope for the forward tracker
- Radial limitations:
 - R_{inner} = 357 mm
 - R_{outer} = 1300 mm
- Two volumes possible:
 - Green: z from 2100 to 2450 mm
 - Pink: z from 2550 to 2950 mm
 - The gap due to beam pipe support (can be eliminated if beam pipe is fixed to the tracker volume)

Форвардный трековый детектор.

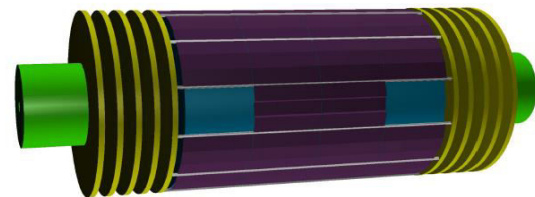
❖ Конструкция была интегрирована в mpdroot.

Моделирование и расчеты показали, что:

- ❖ Предложенная конструкция может обеспечить приемлемое импульсное разрешение до $|\eta| < 2.5$, например показано, что при $\eta \sim 2.0$ можно достичь импульсного разрешения $\Delta p_T / p_T \sim 0.05$
- ❖ 10 станций улучшают разрешение для больших импульсов и ухудшают для малых, но этот вариант выглядит предпочтительней.

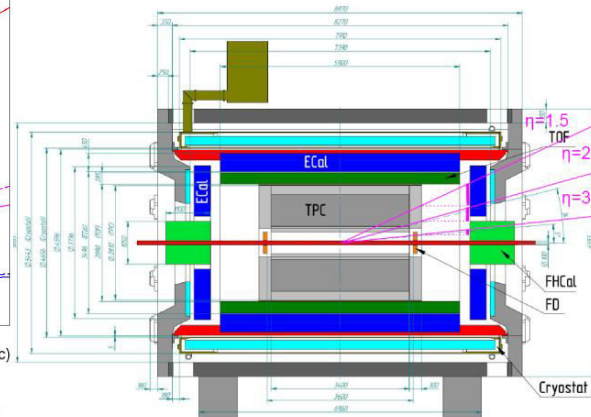
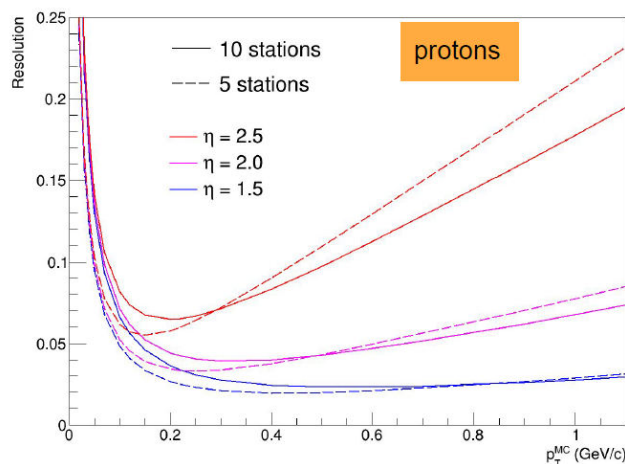
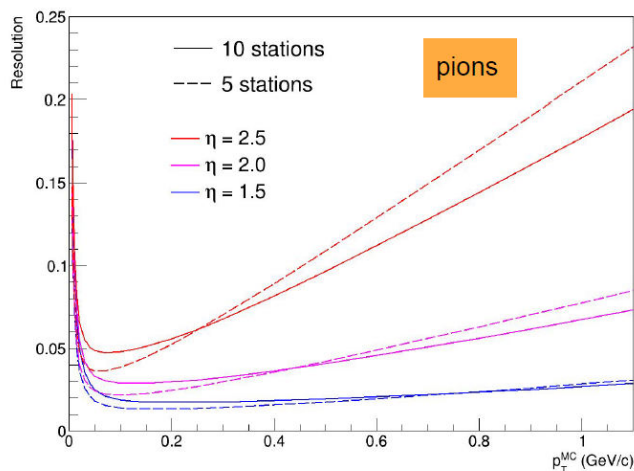
```

> mpdroot (mpdrose dev)
├── Includes
├── build
├── cmake
├── core
├── detectors
│   ├── bbc
│   ├── emc
│   ├── etof
│   ├── ftd
│   └── fwd
│       ├── MpdFwd.cxx
│       ├── MpdFwd.h
│       ├── MpdFwdHit.cxx
│       ├── MpdFwdHit.h
│       ├── MpdFwdHitProducer.cxx
│       ├── MpdFwdHitProducer.h
│       ├── MpdFwdLinkDef.h
│       ├── MpdFwdPoint.cxx
│       ├── MpdFwdPoint.h
│       ├── MpdFwdTrack.cxx
│       ├── MpdFwdTrack.h
│       ├── MpdFwdTrackProducer.cxx
│       └── MpdFwdTrackProducer.h
│           └── CMakeLists.txt
├── legacy
├── mult
├── sts
├── tof
└── tpc
    
```



- Flexible detector construction code
 - MpdFwd
- Data structures:
 - MpdFwdPoint
 - MpdFwdHit
 - MpdFwdTrack
- Ideal hit and track producers:
 - MpdFwdHitProducer
 - MpdFwdTrackProducer

Momentum resolution: 5 vs 10 stations



$$\frac{\Delta p_T}{p_T} |_{m.s.} = \frac{N}{\sqrt{(N+1)(N-1)}} \frac{0.0136 \text{ GeV} / c}{0.3 \beta B_0 L_0} \sqrt{\frac{d_{tot}}{X_0 \cos \theta}} (1 + 0.038 \ln \frac{d}{X_0 \cos \theta})$$

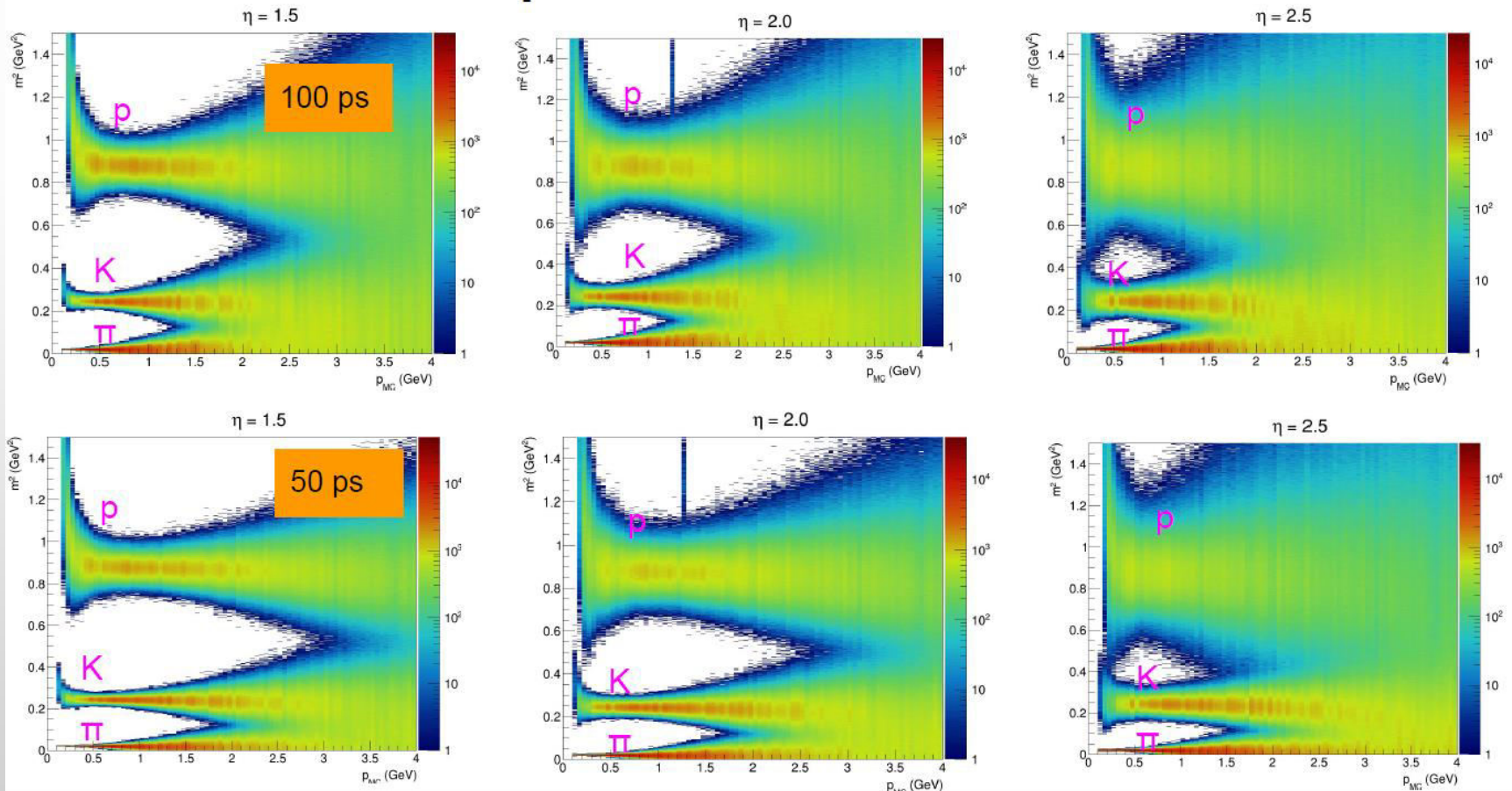
$$\frac{\Delta p_T}{p_T} |_{res.} = \frac{\sigma_{rf} p_T}{0.3 B_0 L_0^2} \sqrt{\frac{720 N^3}{(N-1)(N+1)(N+2)(N+3)}}$$

- Using analytical estimates (proved to be consistent with MC)
- 10 stations instead of 5:
 - Degradation at low p_T due to multiple scattering
 - Significant improvement at high p_T
- Increased number of stations looks feasible
- Next: realistic tracking with ACTS

Форвардный трековый детектор.

- ❖ Дополнительно проведено исследование возможности по идентификации.
- ❖ Рассмотрен TOF в качестве гибридной последней станции (координаты и время, RPC или TGC) с временным разрешением 50-100 пс.
- ❖ При разрешении 50 пс можно эффективно разделить протоны и каоны до импульсов ~ 3 ГэВ/с, а каоны и пи-мезоны до импульсов $\sim 1.5-2$ ГэВ/с в зависимости от диапазона по псевдобыстроте.

TOF: squared mass distributions



Форвардный трековый детектор.

- ❖ Предложена базовая концепция форвардного детектора.
- ❖ Выполнено моделирование ядро-ядерных столкновений при энергиях коллайдера NICA, используя программное обеспечение mpdroot и генераторы UrQMD и HSD.
- ❖ Разработана геометрическая модель детектора и алгоритмы оцифровки данных форвардного детектора в рамках программного обеспечения mpdroot.
- ❖ Выполнен анализ полученных в результате моделирования распределений адронов для определения оптимальной структуры форвардных детекторов, их разрешения, сегментации, загрузки и других характеристик.
- ❖ Предложенная конструкция может обеспечить приемлемое импульсное разрешение до $|\eta| < 2.5$.
- ❖ Идентификация частиц возможна до $|\eta| < 2.5$.
- ❖ Расчеты по оптимизации конструкции показывают, что вариант с 10 станциями с каждой стороны выглядит предпочтительней.

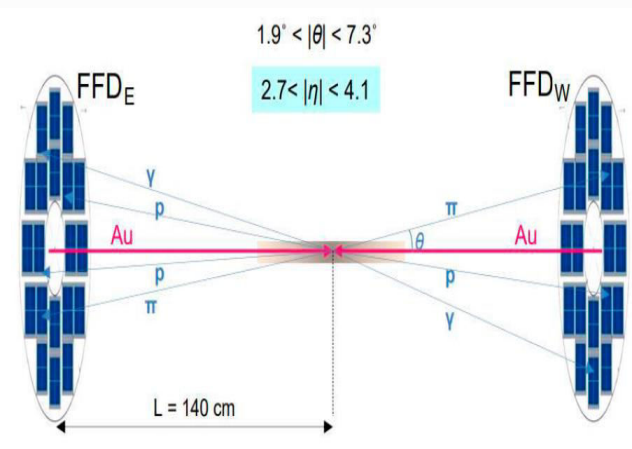
Возможности триггерной системы

N. Burmasov, D. Ivanishchev, M. Maksimov, M. Malaev, M. Pokidova, Yu. Ryabov

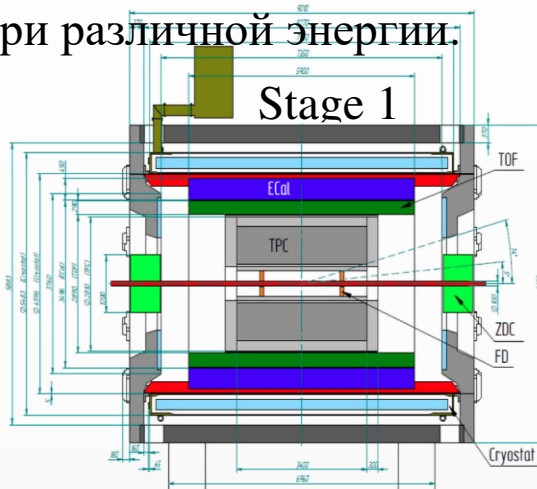
Задача: Исследование возможностей спектрометра MPD (ст.

1) производить отбор событий в различных сталкивающихся системах при различной энергии.

Fast forward detector (FFD)

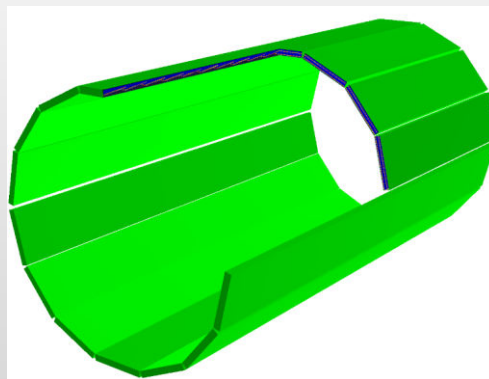


- 2×20 Cherenkov modules. 2×80 channels.
- Specially designed for event selection.
- Good time and vertex resolutions.
- Provides T_0 for TOF and ECal. Designed time resolution ≤ 50 ps.



Time of flight system (TOF)

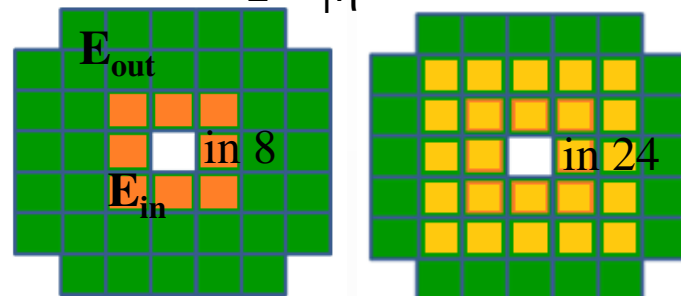
$$|\eta| \leq 1.4$$



- 14×2×10 MRPC detectors.
- Fast enough for event triggering.

Forward Hadron Calorimeter (FHCAL)

$$2 < |\eta| < 5$$



- 2×48 equivalent sampling lead/scintillator calorimeter modules.
- Time and event vertex resolutions are not good enough compared to FFD.
- Fast enough for event triggering.

MPD Trigger

$$\text{FFD: } |\Delta\phi| < 2\pi, 2.7 < |\eta| < 4.1$$

$$\text{FHCAL: } |\Delta\phi| < 2\pi, 2 < |\eta| < 5$$

$$\text{TOF: } |\Delta\phi| < 2\pi, |\eta| \leq 1.4$$

- Fast enough.
- Have suitable electronics.
- Cover different rapidity ranges.
- Measure different signals.
- Complement each other.

Возможности триггерной системы

➤ Collision systems:

- p+p, p+Bi, C+C, Xe+Xe and Bi+Bi.
- $\sqrt{s_{NN}} = 4, 7$ and 11 GeV (9,2 GeV for results validation).

➤ Event generators:

- DCM-QGSM-SMM for p+Bi, C+C, Xe+Xe, Bi+Bi.
 - realistic z-vertex distribution (± 200 cm) with $\sigma_z \sim 50$ cm.
 - inelastic collisions with $b \sim 0-16$ fm ($\sim 0.5 \times 10^6 - 1 \times 10^6$ events for every collision system).
- PYTHIA8 for p+p and p+Bi (TOF).

➤ Particles propagation through MPD:

- Full event reconstruction with default MpdRoot.
- Geant-4.
- FFD, FHCAL and TOF standard procedures as described in Victor Riabov presentations:

(<https://indico.jinr.ru/event/3448/contributions/18622/attachments/14091/23624/TriggerMassProductions.pdf>)

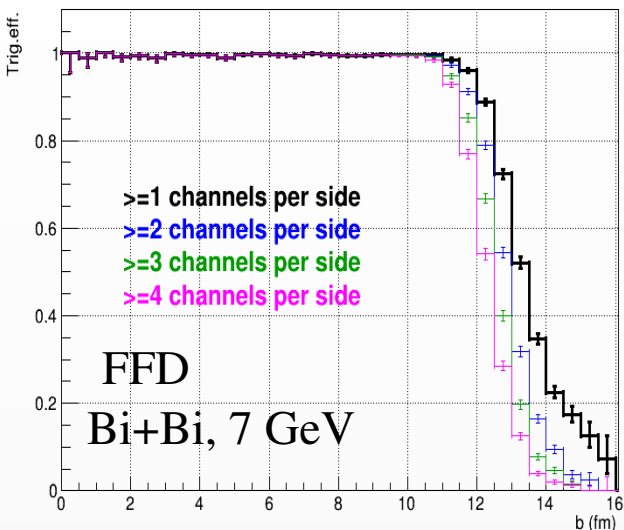
➤ Trigger configurations and definition:

- Different combinations of FFD, FHCAL and TOF detectors
- FFD
 - Default is ≥ 1 fired channel per side for symmetric and on one side for asymmetric collision system.
 - Optional: $\geq 2, 3$ or 4 modules per or on one side.
 - $|z\text{-vertex}| < 140$ cm (should be wider by 10 – 20 cm during online selection).
- FHCAL:
 - Default is ≥ 1 fired module per side for symmetric and on one side for asymmetric collision system.
 - Optional (per or on one side): ≥ 2 modules, ≥ 1 module in inner region 8, ≥ 1 module in inner region 24.
 - Optional: ≥ 1 modules in 8, 24 or 44 inner region, ≥ 1 modules in 8 or 24 or 44 inner regions.
 - $|z\text{-vertex}| < 150$ cm (should be wider by 20 – 30 cm during online selection).
- TOF:
 - Default ≥ 1 fired detector.
 - Optional: $\geq 2, 3, 4$ fired detectors.

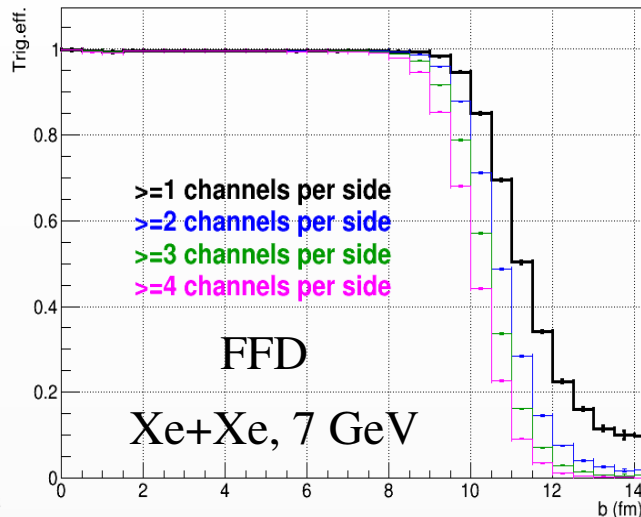
Возможности триггерной системы

Trigger efficiency vs impact parameter b (fm)

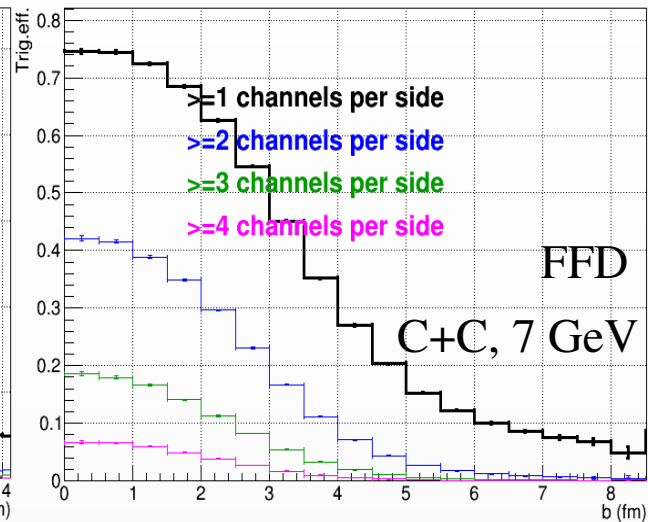
FFD trigger efficiency vs. impact parameter



FFD trigger efficiency vs. impact parameter

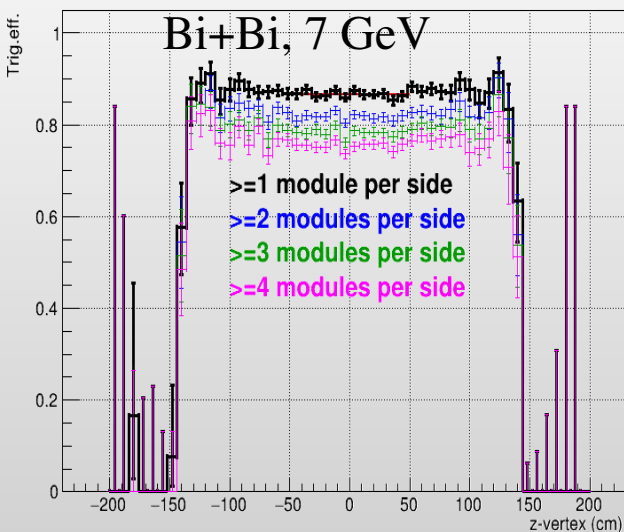


FFD trigger efficiency vs. impact parameter

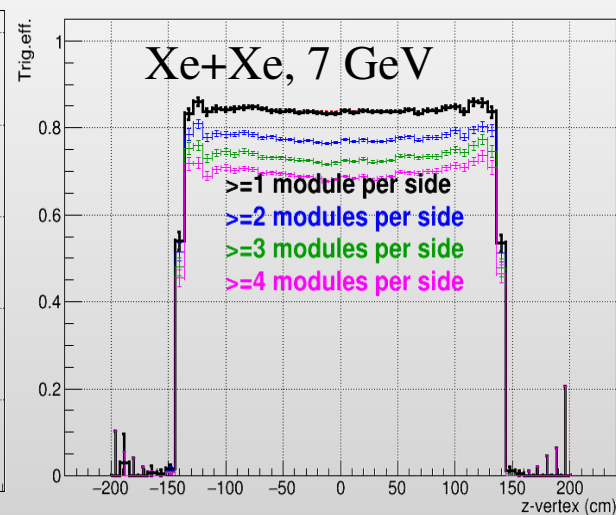


Trigger efficiency vs z-vertex (cm)

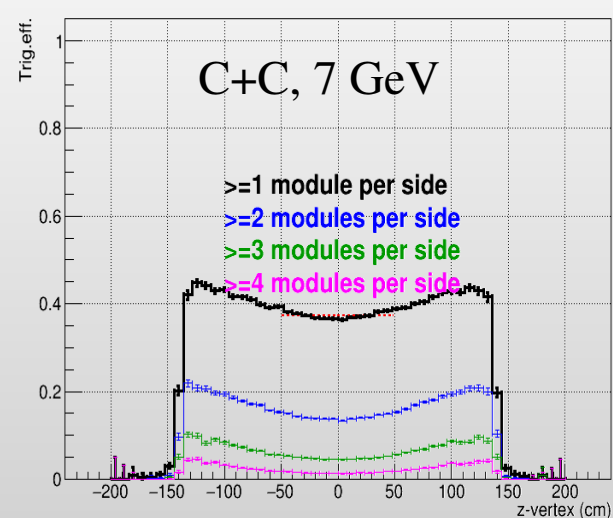
FFD trigger efficiency vs. z-vertex



FFD trigger efficiency vs. z-vertex

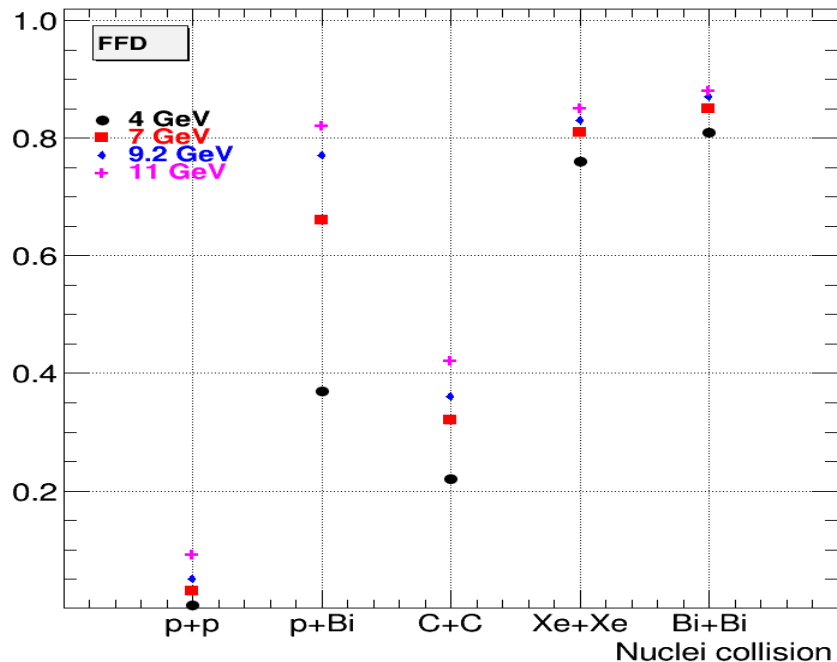


FFD trigger efficiency vs. z-vertex

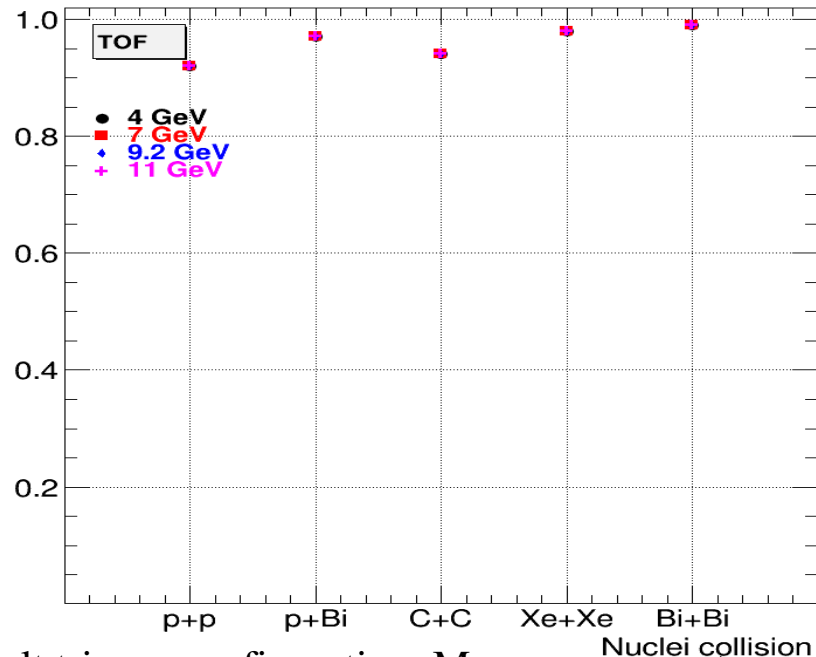


Возможности триггерной системы

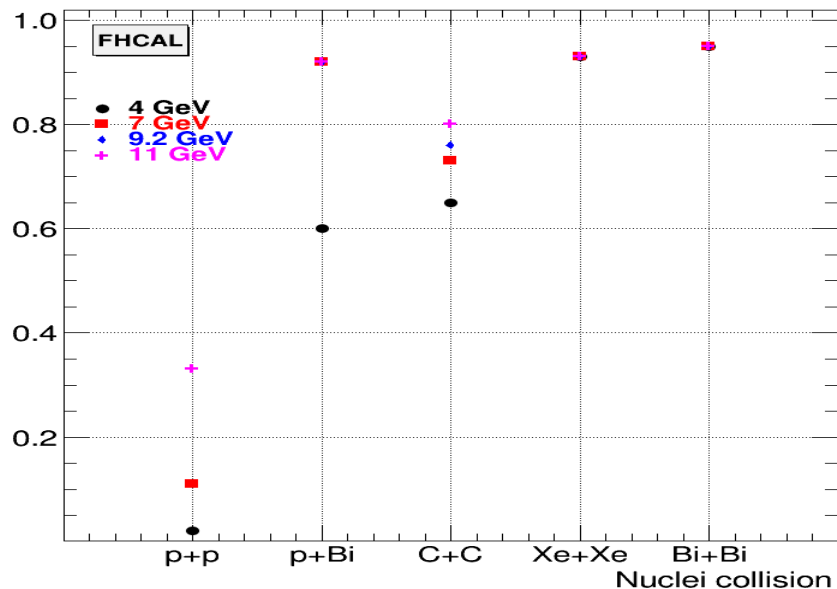
Trig.eff.



Trig.eff.



Trig.eff.



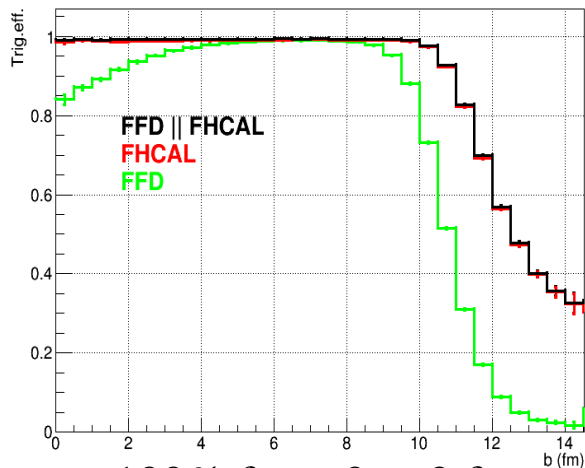
- Default trigger configuration. Mean over z-vertex.
- Trigger efficiencies are decreasing with decreasing $\sqrt{s_{NN}}$ except TOF and FHCAL in Xe+Xe and Bi+Bi.
- Xe+Xe and Bi+Bi:
TOF(98-99%)>FHCAL(93-95%)>FFD(76-88%).
- p+p, p+Bi and C+C:
TOF(92-97%)>FHCAL(2-92%)>FFD(0.5-82%).

Возможности триггерной системы

Xe+Xe, 4 GeV

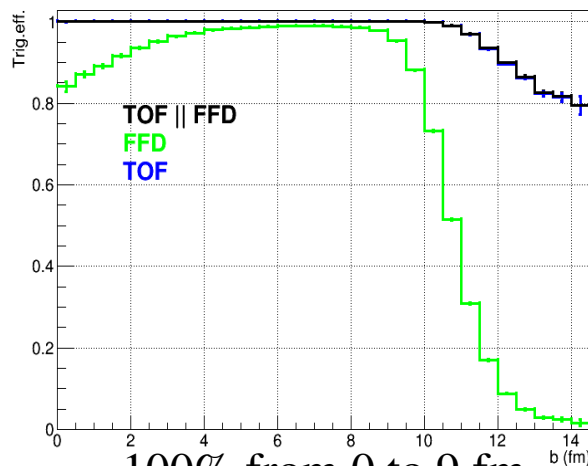
Trigger efficiency vs impact parameter b (fm)

FFD||FHCAL trigger efficiency vs. b (fm)



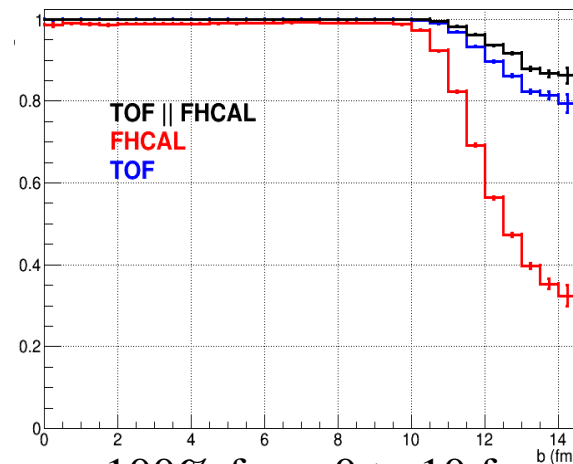
100% from 0 to 9 fm

FFD||TOF trigger efficiency vs. b (fm)



100% from 0 to 9 fm

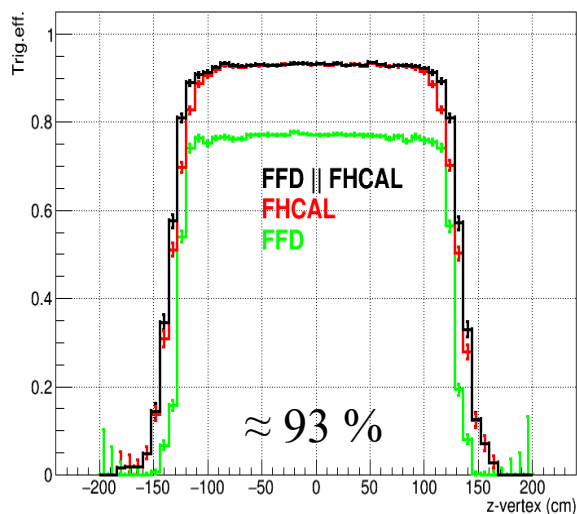
FHCAL||TOF trigger efficiency vs. b (fm)



100% from 0 to 10 fm

Trigger efficiency vs z-vertex (cm)

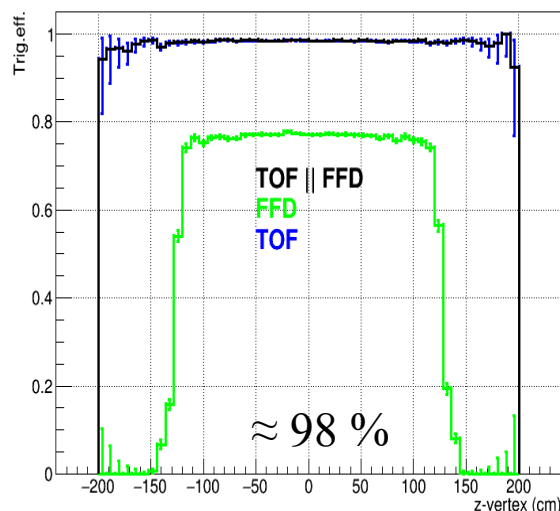
FFD||FHCAL trigger efficiency vs. z-vertex



≈ 93 %

FFD||FHCAL ~ FHCAL

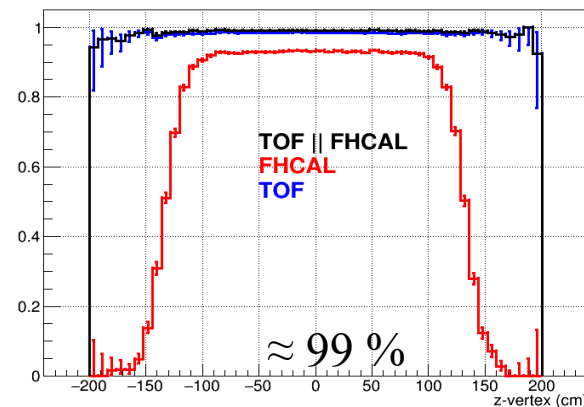
FFD||TOF trigger efficiency vs. z-vertex



≈ 98 %

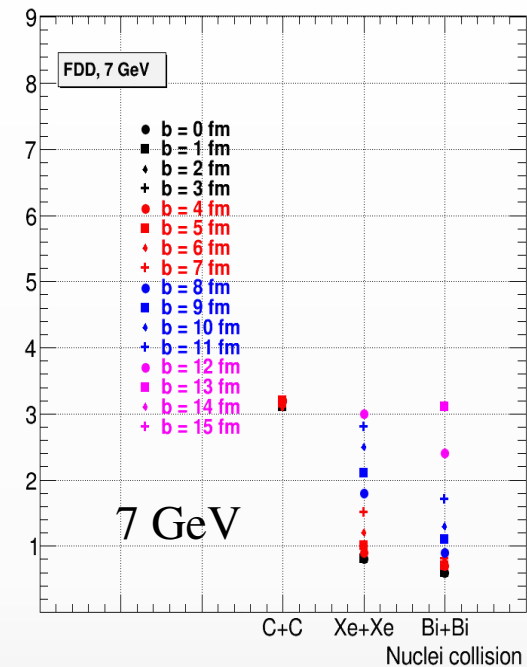
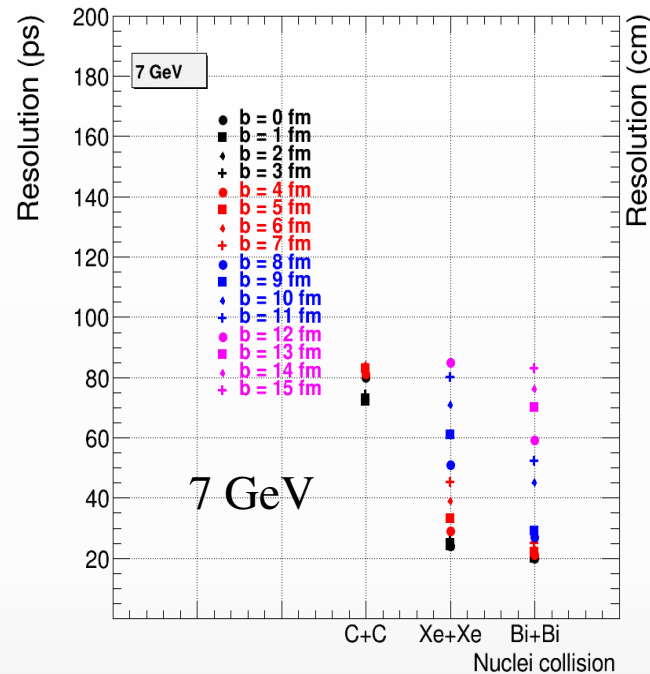
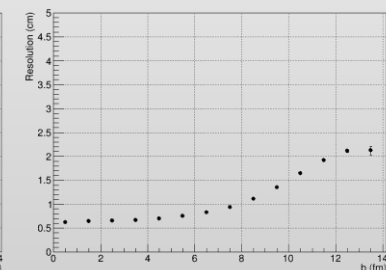
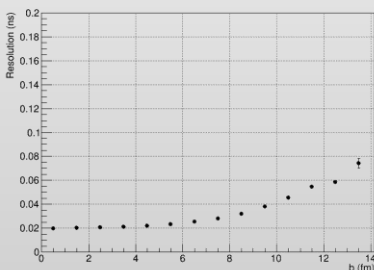
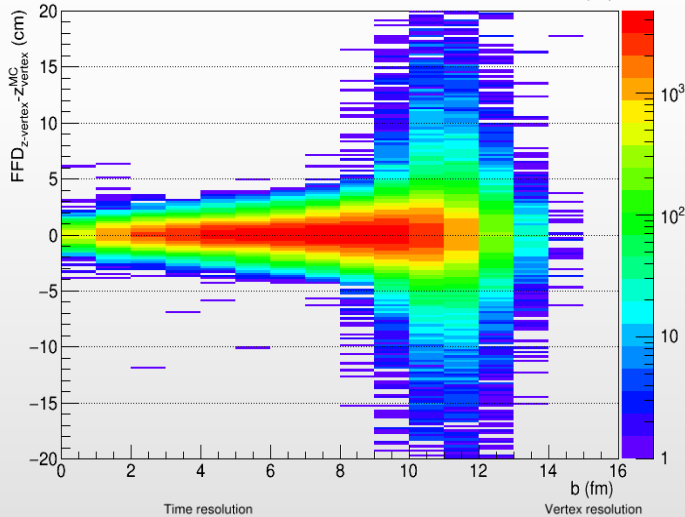
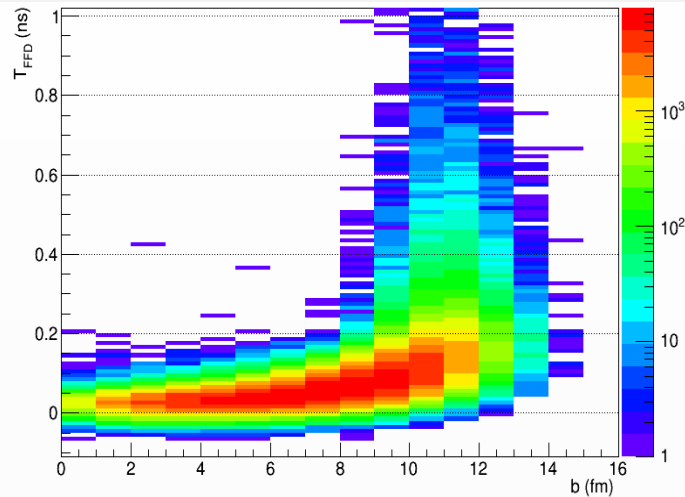
TOF||FFD ~ FFD

FHCAL||TOF trigger efficiency vs. z-vertex



≈ 99 %

TOF||FHCAL > TOF,
especially in the region of the
most peripheral collisions



• T₀ resolution is worsen with increasing impact parameter and decreasing $\sqrt{s_{\text{NN}}}$.

• Bi+Bi and Xe+Xe: > 15 – 50 ps for the most central and < 45 – 85 ps for the most peripheral collisions.

• z-vertex resolution is worsen with increasing impact parameter and decreasing $\sqrt{s_{\text{NN}}}$.

• Bi+Bi and Xe+Xe: > 0.5 – 1 cm for the most central and < 1.5 – 4 cm for the most peripheral collisions.

Возможности триггерной системы

- ✓ Отбор событий в столкновениях тяжелых ядер ($Bi + Bi$) и ядер промежуточной массы ($Xe + Xe$) при $\sqrt{s_{NN}} = 4, 7, 9,2$ и 11 ГэВ может осуществляться с помощью подсистем FFD, FHCAL и TOF и их комбинаций, за исключением столкновений $Xe + Xe$ при $\sqrt{s_{NN}} = 4$ ГэВ, где FFD не имеет области со 100%-ной эффективностью в зависимости эффективности триггера от прицельного параметра.
- ✓ Эффективность триггера FFD и FHCAL недостаточно высока для выбора событий в легких и асимметричных системах столкновений ($p+p$, $p+Bi$ и $C+C$).
- ✓ TOF имеет решающее значение для выбора событий в таких системах.
- ✓ Логика, основанная на сочетании TOF и FHCAL в конфигурации по умолчанию, является наиболее перспективной.
- ✓ Добавление FFD к этой комбинации незначительно увеличивает эффективность.
- ✓ Разрешение FFD по времени (T_0): $15-150$ пс в зависимости от центральности и системы столкновений.
- ✓ Разрешение z-вершины FFD: $0,5-8$ см. Разрешение z-вершины FHCAL составляет около $20-40$ см.

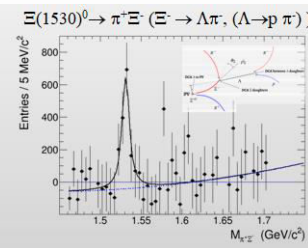
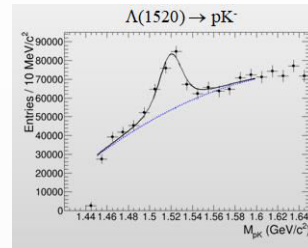
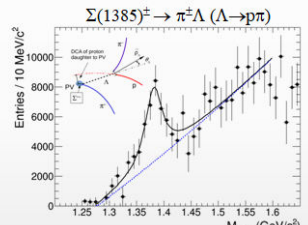
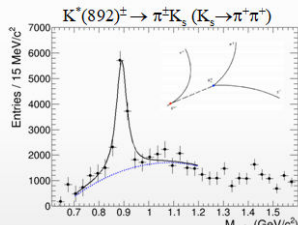
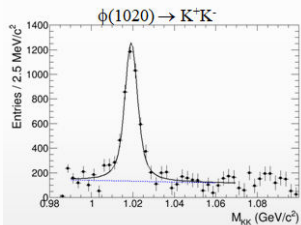
Традиционные направления.

Short-lived resonances

increasing lifetime →

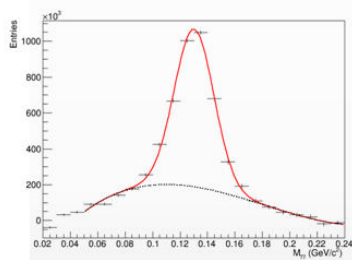
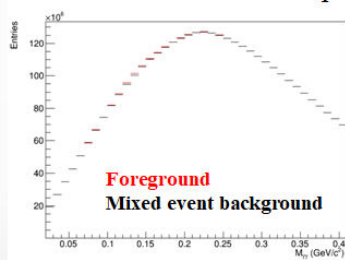
	$\rho(770)$	$K^*(892)$	$\Sigma(1385)$	$\Lambda(1520)$	$\Xi(1530)$	$\phi(1020)$
τ (fm/c)	1.3	4.2	5.5	12.7	21.7	46.2
σ_{rescatt}	$\sigma_{\pi}\sigma_{\pi}$	$\sigma_{\pi}\sigma_K$	$\sigma_{\pi}\sigma_{\Lambda}$	$\sigma_K\sigma_p$	$\sigma_{\pi}\sigma_{\Xi}$	$\sigma_K\sigma_K$

- ❖ Resonances probe reaction dynamics and particle production mechanisms vs. system size and $\sqrt{s_{\text{NN}}}$:
 - ✓ hadron chemistry and strangeness production, lifetime and properties of the hadronic phase, spin alignment of vector mesons, flow etc.

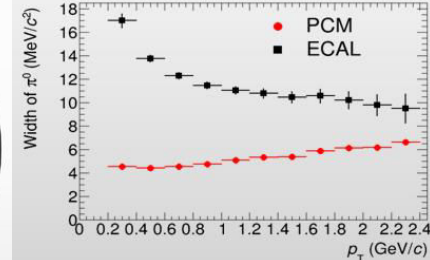
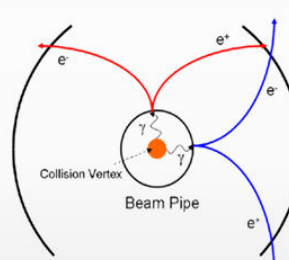
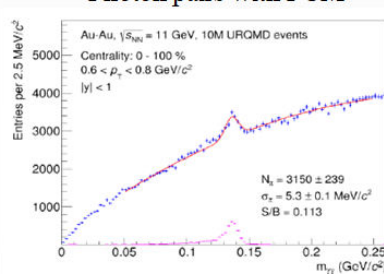


Reconstruction of photons

Photon pairs in the ECAL

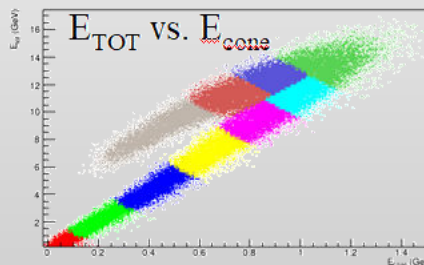
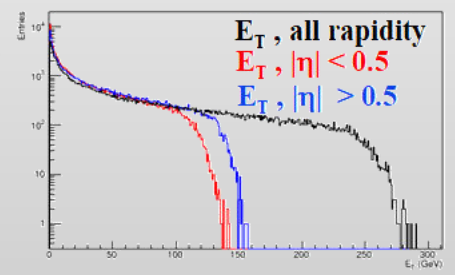
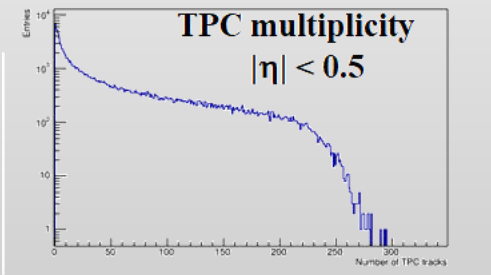


Photon pairs with PCM



Centrality categorization (DCM-QGSM-SMM)

- ❖ Use TPC multiplicity, transverse energy E_T and FHCAL energy to determine event centrality



Summary

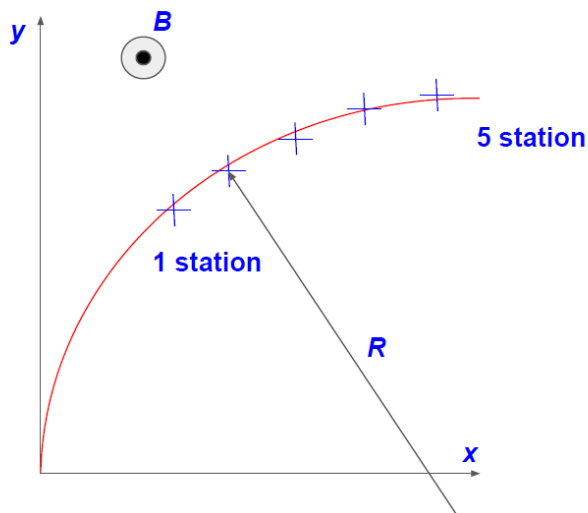
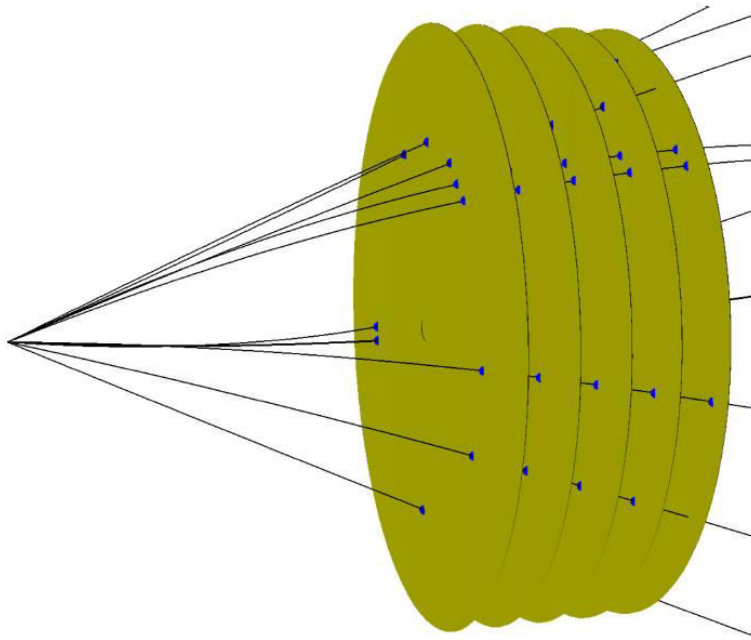


- ❖ Физическая программа эксперимента MPD не окончательная и каждый вклад важен
- ❖ Сотрудники ПИЯФ участвуют в работе многих рабочих групп в коллаборации MPD и вносят свой вклад в полученные результаты
- ❖ Планируем продолжать работы по представленным направлениям.
- ❖ Новые участники приветствуются!

С НОВЫМ ГОДОМ!

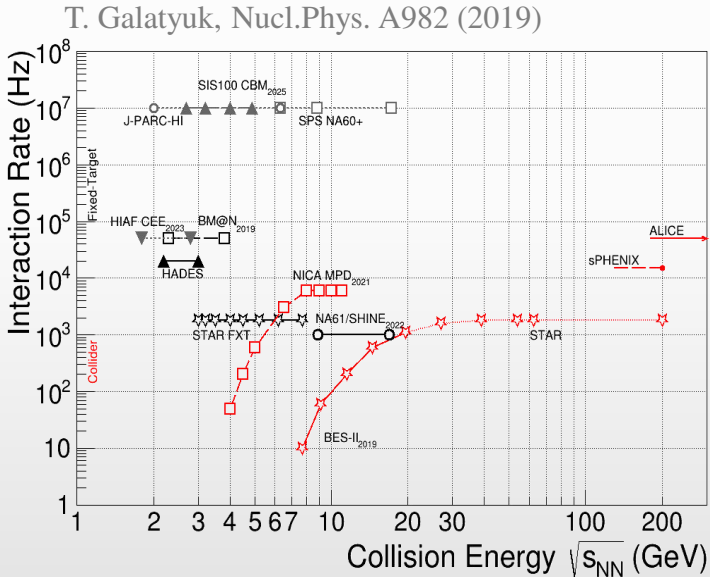
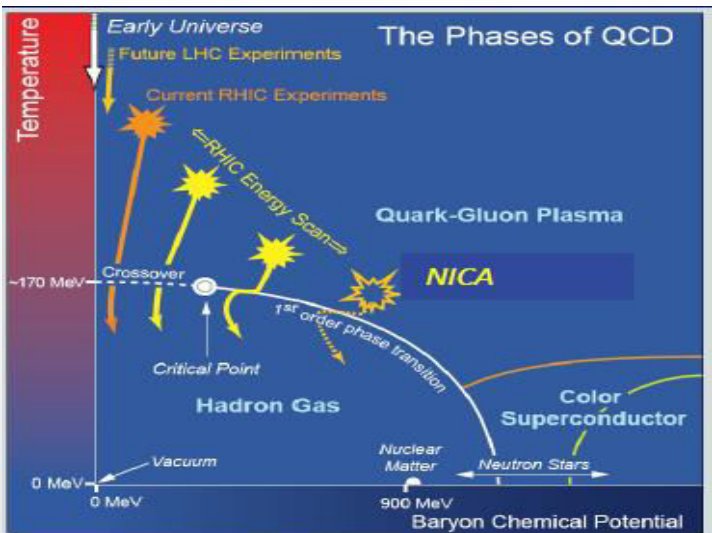
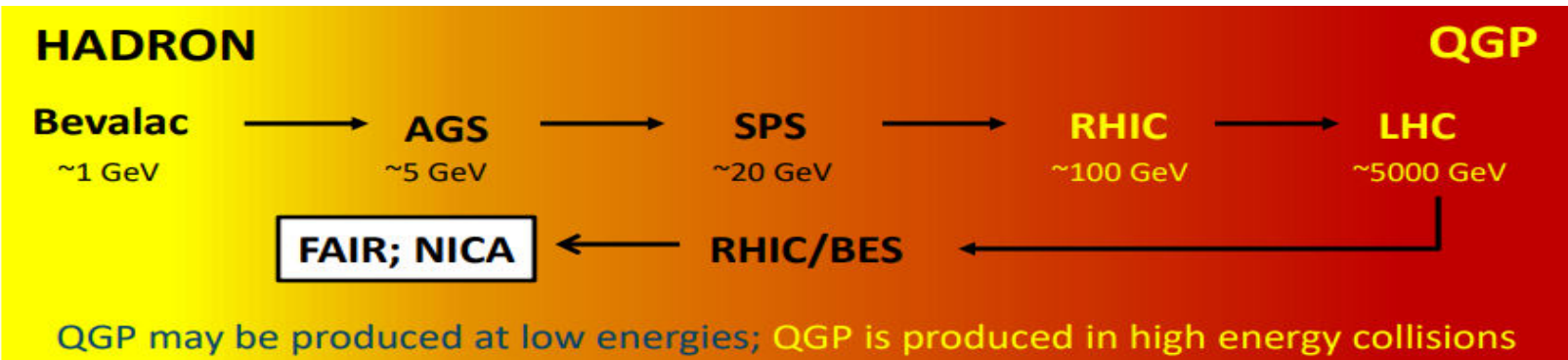
BACKUP

Форвардный трековый детектор.

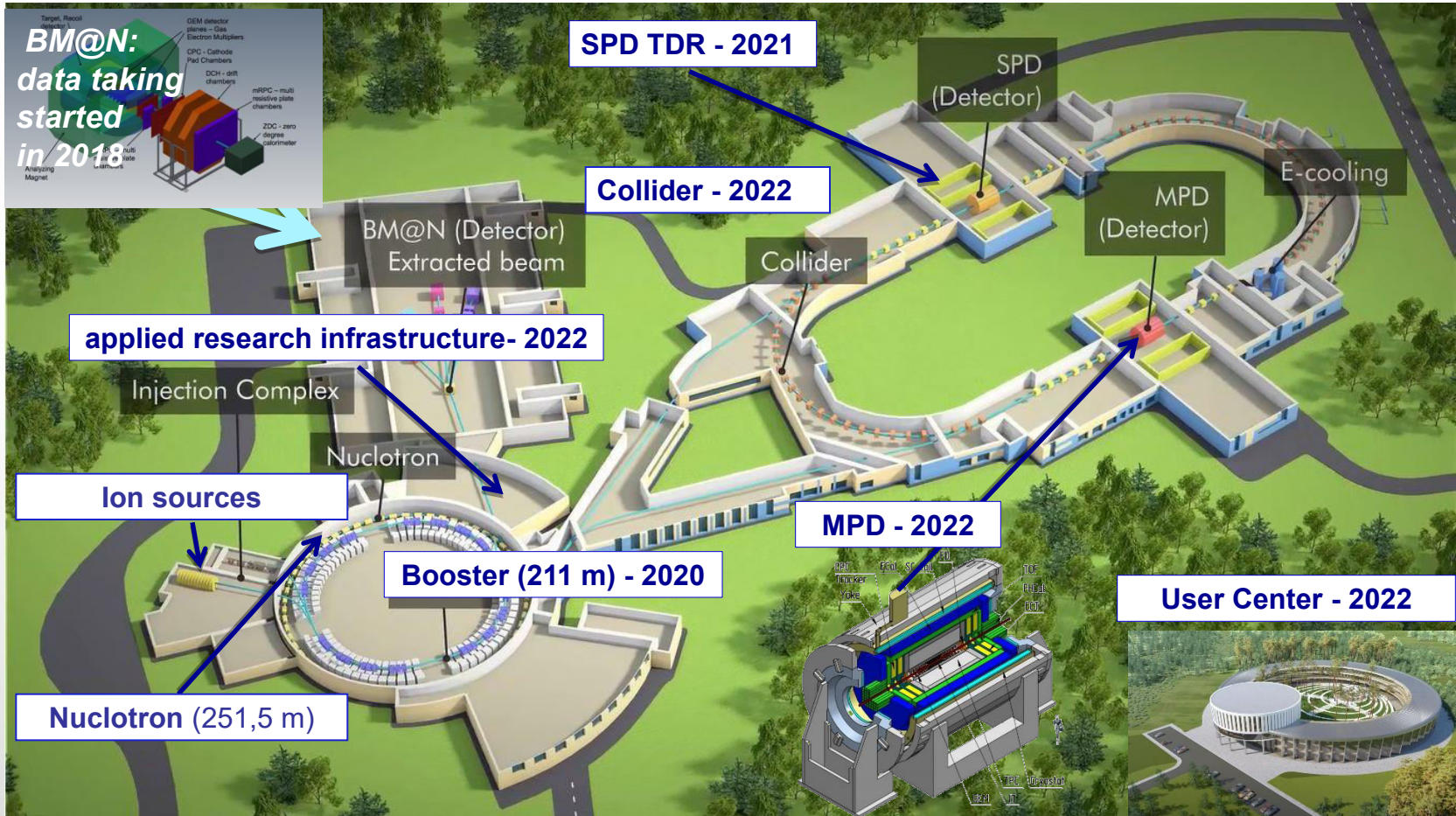


- Collect hits originating from the same MC track
- Fit smeared (x,y) measurements with a circle
- Extract curvature radius R
- Derive reconstructed $p_T = 0.3 B R$
- Compare with generated p_T
- Caveats:
 - constant B only
 - no energy loss correction
 - no accounting for multiple scattering effects
 - TPC track segments not included
- Anyway, good enough for preliminary momentum resolution estimates

Introduction

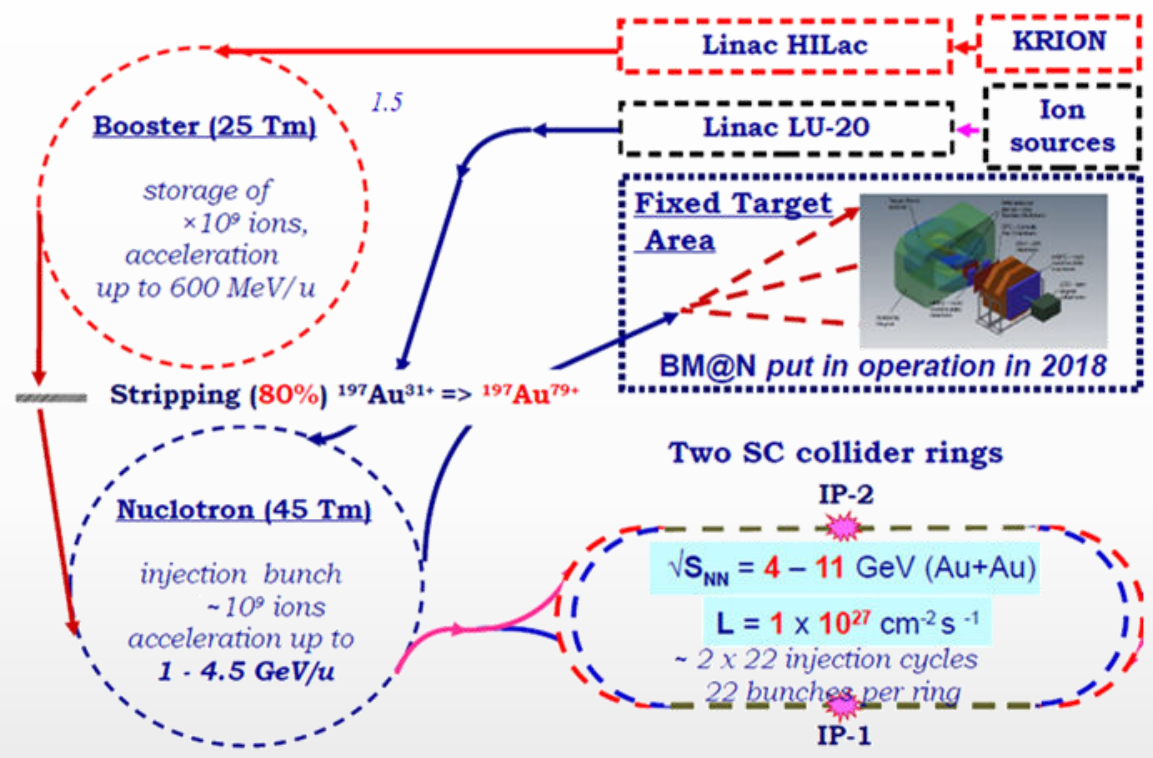


- ❖ Study of the QCD medium at extreme net baryon densities, phase transition at $\rho_c \sim 5\rho_0$
- ❖ Studied in several ongoing and future experiments:
 - ✓ collider experiments: maximum phase space, minimally biased acceptance, free of target parasitic effects
 - ✓ fixed-target experiments: high rate of interactions, easily upgradeable, better vertex-finder for heavy flavor decays



- ❖ Budget ~ 500 M\$
- ❖ First collisions in MPD – end of 2023

Accelerator Complex in Dubna



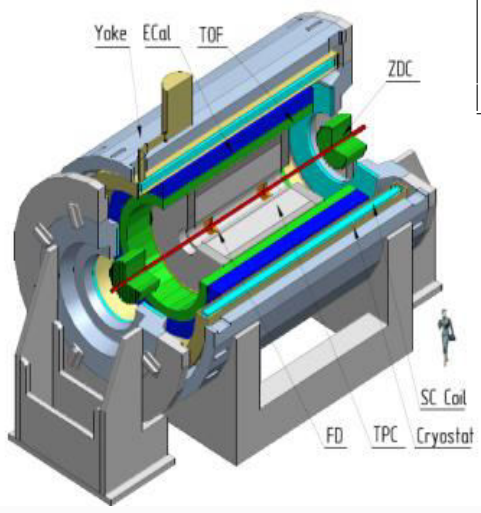
❖ Expected limitations in Stage-I:

- ✓ without electron cooling in collider, with stochastic cooling, reduced number of RFs → not-optimal beam optics
- ✓ reduced luminosity ($\sim 10^{25}$ is the goal for 2023) → collision rate $\sim 100 \text{ Hz}$
- ✓ collision system available with the current sources: C (A=12), N (A=14), Ar (A=40), Fe (A=56), Kr (A=78-86), Xe (A=124-134), Bi (A=209) → start with Bi+Bi @ 9.2 GeV in 2023, Au+Au @ 4-11 GeV to come later

- ❖ Year 2021:
 - ✓ extensive commissioning of Booster
 - ✓ heavy-ion (Fe/Kr/Xe) run of full Booster + Nuclotron setup
- ❖ Year 2022:
 - ✓ completion of collider and Nuclotron-to-collider transfer lines
 - ✓ assembly of the MPD detector
- ❖ Year 2023:
 - ✓ technical run with Bi+Bi @ 9.2 GeV (7.7 GeV is the second priority) with luminosity $\sim 10^{25} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
 - ✓ collect $\sim 100 \text{ M}$ minimum bias events with the MPD to be used for detector alignment, calibration and physics
- ❖ Year 2024:
 - ✓ Au+Au beams (source), beam acceleration in collider up to top energy (Au+Au @ 11 GeV)
- ❖ Year 2025 and beyond:
 - ✓ reaching design luminosity, system size and collision energy scan by request

Multi-Purpose Detector

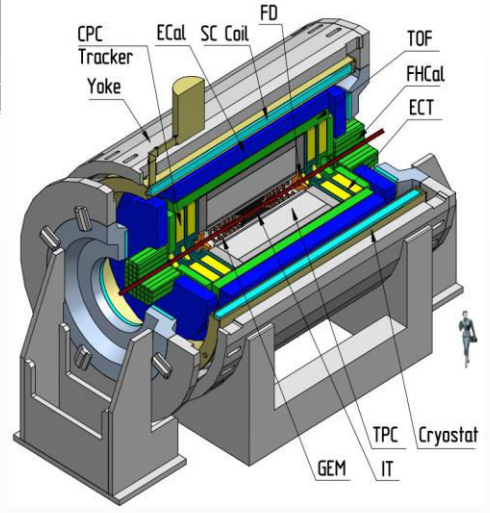
Stage- I



Length	340 cm
Vessel outer radius	140 cm
Vessel inner radius	27 cm
Default magnetic field	0.5 T
Drift gas mixture	90% Ar+10% CH ₄
Maximum event rate	7 kHz ($L = 10^{27} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)



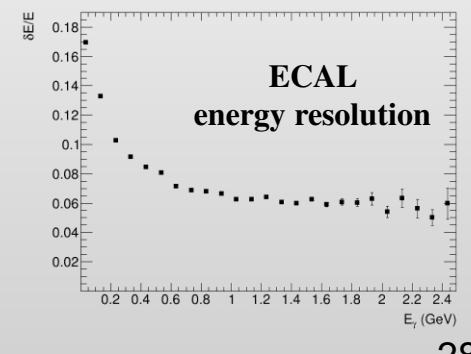
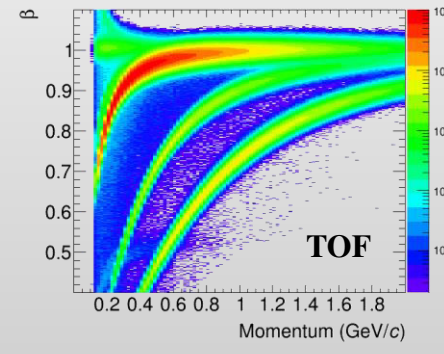
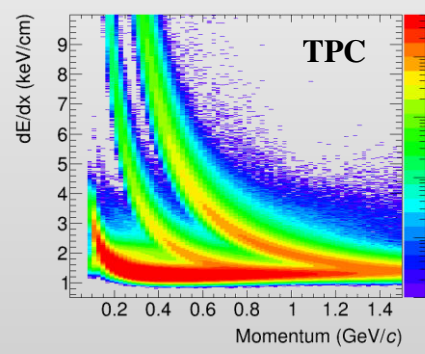
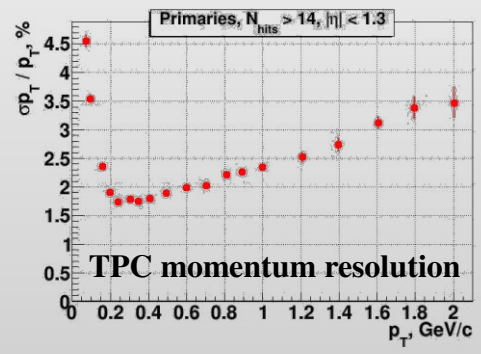
Stage- II



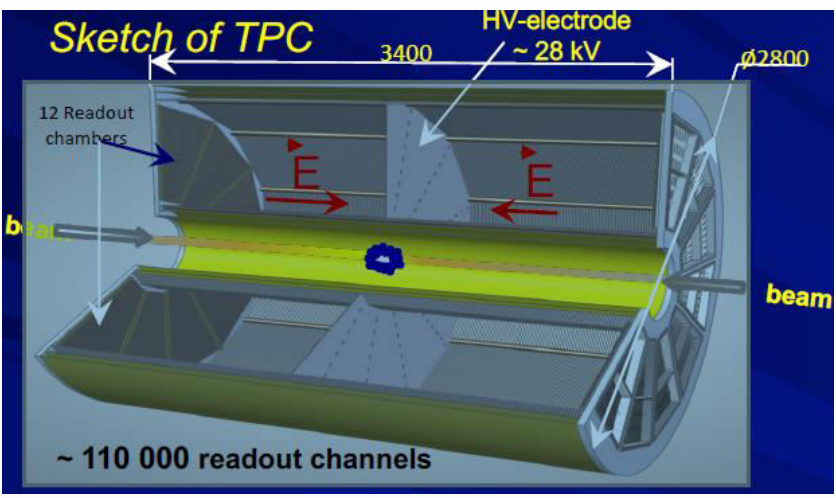
- TPC:** $|\Delta\phi| < 2\pi, |\eta| \leq 1.6$
- TOF, EMC:** $|\Delta\phi| < 2\pi, |\eta| \leq 1.4$
- FFD:** $|\Delta\phi| < 2\pi, 2.9 < |\eta| < 3.3$
- FHCAL:** $|\Delta\phi| < 2\pi, 2 < |\eta| < 5$

- + ITS (heavy-flavor measurements)**
- + forward spectrometers**

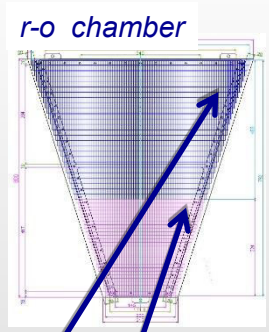
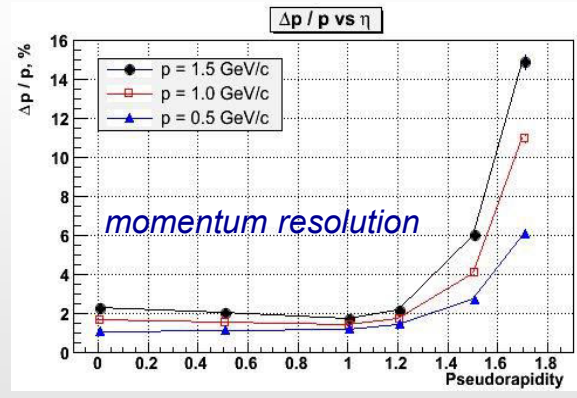
Au+Au @ 11 GeV (UrQMD + full chain reconstruction)



Time Projection Chamber (TPC): main tracker



length	340 cm
outer Radii	140 cm
inner Radii	27 cm
gas	90%Ar+10%CH ₄
drift velocity	5.45 cm / μ S;
drift time	< 30 μ S;
# R-O chamb.	12 + 12
# pads/ chan.	95 232
max rate	< 7 kGz ($L = 10^{27}$)



FE electronics: FEC64SAM – dual SAMP4 card (ALICE technology)

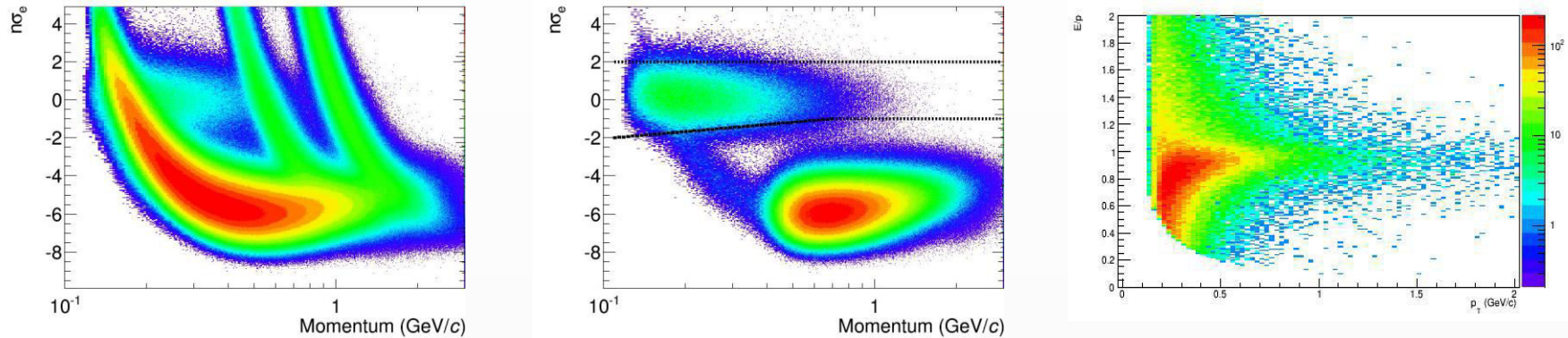
pad structure:

- rows – 53
- large pads 5×18 mm²

Read-Out Chambers (ROCs) are ready and tested (production at JINR)
 113 Electronics sets (8%) produced
 Two sites (Moscow, Minsk) tested for electronics production
 C1-C2 and C3-C4 cylinders assembled
 TPC flange under finalization

Reconstruction of electrons

- ❖ Charged particle tracks are reconstructed in the TPC
- ❖ Particles are identified in the TPC ($\langle dE/dx \rangle$), TOF ($v/c \sim 1$) and ECAL ($E/p \sim 1$)



- ❖ Reasonable electron track reconstruction efficiency and electron purity after multiparametric optimization of selections

