



Участие ПИЯФ в SPD

Соснов Д.Е.

25.12.2024



Физика: *

- Одиночные спиновые ассиметрии, поперечная поляризация
- Многопартонные взаимодействия
- Экзотические резонансы
- Дикварки и т.п.

Straw-трекер **

(совместно с ОИЯИ, Дубна и ИЯФ, Алматы):

- R&D считающей электроники
- R&D изготовления straw-трубок
- Моделирование отклика трубок
- Оптимизация реконструкции треков

Компьютинг ***

Сотрудники ПИЯФ в SPD

- Барсов С. Г. **
- Егоров А. Ю. **
- Ким В. Т. *, **
- Кузнецова Е. В. **
- Малеев В. П. **
- Мосолова Е. О. **
- Сергеев А. В. *
- Соснов Д. Е. **
- Буланова С. А. *, **
- Зеленов А. В. *, **
- Кирьянов А. К. ***
- Лазарев А. А. *
- Малышев М. Ю. *
- Нартов А. В. **
- Скальненков А. Ю. **
- Федин О. Л. **

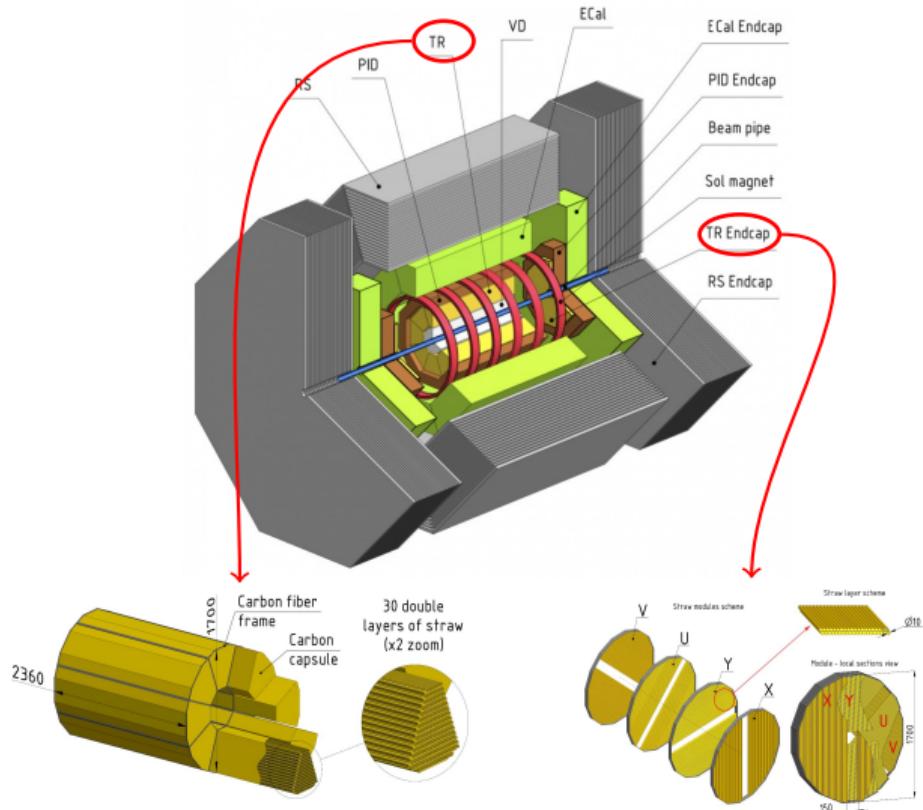


Основные направления физических задач SPD:

- V. V. Abramov et al., "Possible Studies at the First Stage of the NICA Collider Operation with Polarized and Unpolarized Proton and Deuteron Beams", *Phys.Part.Nucl.* **52** (2021) 6 1044, doi:[10.1134/S1063779621060022](https://doi.org/10.1134/S1063779621060022)
- A. Arbuzov et al., "On the physics potential to study the gluon content of proton and deuteron at NICA SPD" *Progress in Particle and Nuclear Physics* **119** (2021) 103858, doi:[10.1016/j.ppnp.2021.103858](https://doi.org/10.1016/j.ppnp.2021.103858)
- V. Abazov et al. (SPD Collaboration), "Technical Design Report of the Spin Physics Detector at NICA", *Natural Science Review*, **1** (2024) 1-325. arXiv:[2404.08317](https://arxiv.org/abs/2404.08317)

Straw-трекер SPD

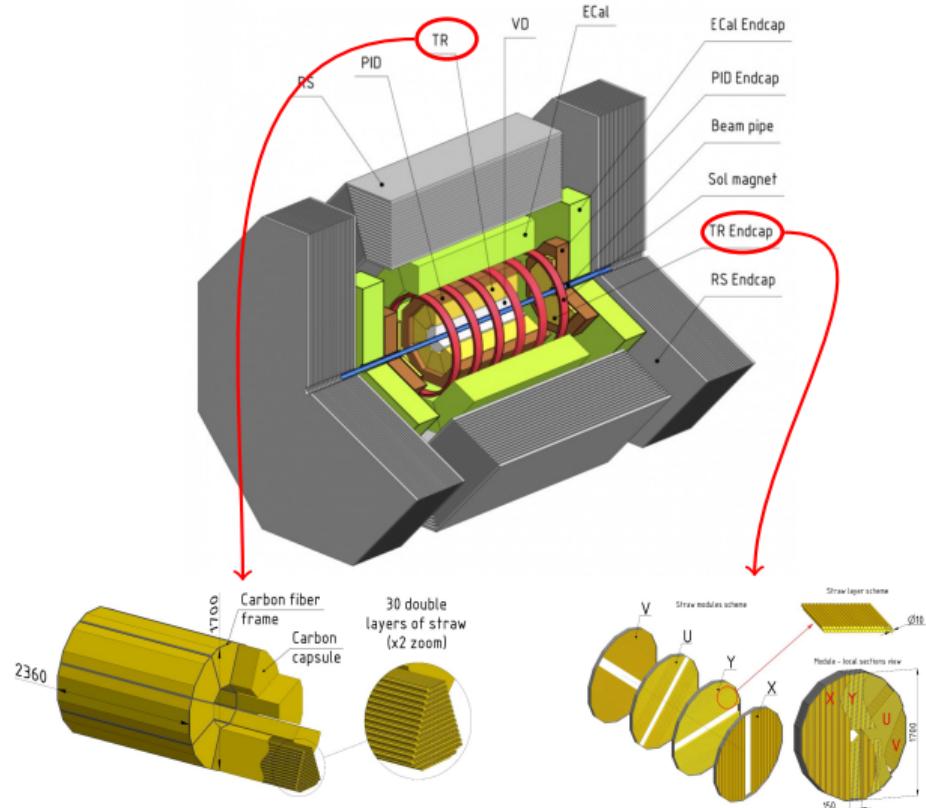
- Восстановление треков заряженных частиц
- Измерение импульсов частиц в магнитном поле
- Идентификация частиц по измеренным ионизационными потерями энергии
- Straw-трекер: ~ 20 тыс. straw-трубок диаметром 10мм в барельной части (ultra-sonic welding) и ~4 тыс в End-Cap (winding straw)



Цели R&D по выбору считывающей электроники straw-трекера:

- Определение требований к считающей электронике
- Изучение существующих ASIC^a потенциально подходящих для считывания сигналов со straw-трубок:
 - Измерение пространственного разрешения straw-трубок
 - Измерение зарядового разрешения

^aASIC – application-specific integrated circuit, интегральная схема специального назначения





Тестовые пучки в 2024 году

В 2024 году: 3 периода набора данных на CERN SPS (μ , 70 – 150 GeV) и 2 на CERN PS ($e/hadrons$, 300 – 5000 MeV).

Тестовые пучки CERN SPS

Основная цель: получение наилучшего возможного пространственного разрешения

- Апрель (10-24 апреля)
 - Комбинированный прототип, трекер MicroMegas
 - Считывающая электроника: TIGER, Mu2E (VMM3-based)
 - Номинальный режим
- Июль (26 июня – 10 июля)
 - Комбинированный прототип, трекер MicroMegas
 - Считывающая электроника: TIGER, Mu2E (VMM3-based)
 - Номинальный режим
- Сентябрь (18 сентября – 2 октября)
 - Прототип μ ST, AZALEA трекер
 - Считывающая электроника: sMDT ASD, Mu2E (VMM3-based)
 - Данные с магнитным полем, давлением, газом Ar/CO₂ 73/7

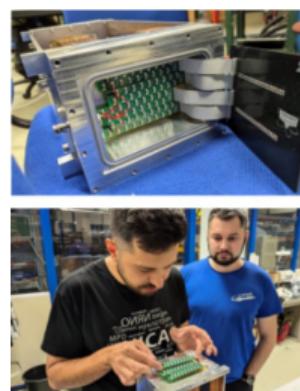
Тестовые пучки CERN PS

Основная цель: получение наилучшего возможного зарядового разрешения

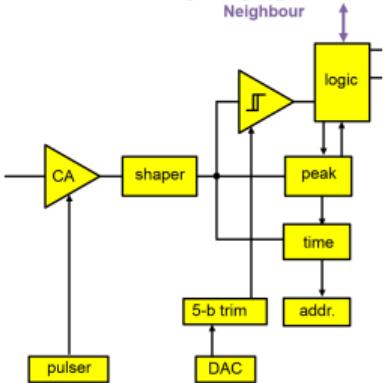
- Май (1-8 мая)
 - 2 отдельные straw-трубки:
 - Специальный усилитель со временем интегрирования 500ns (О.Н. Минко, ОИЯИ)
 - APIC v4.X (by GDD lab @CERN)
 - Координатный детектор: TimePix 4
- Октябрь (2-9 октября)
 - Отдельная straw-трубка со специальным усилителем, со временем интегрирования 500ns (О.Н. Минко, ОИЯИ)
 - Трекер: AZALEA

В тестовых измерениях используется два прототипа straw-трекера:

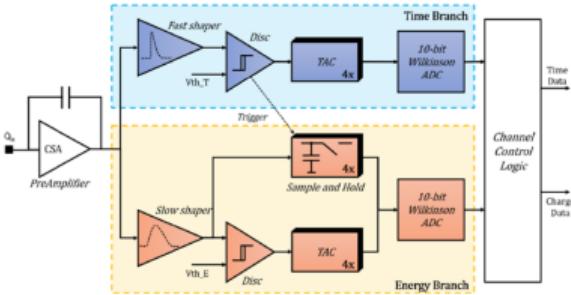
- Комбинированный прототип (Straw Combined Prototype) (с 2023 г.):
 - 36 straw-трубки диаметром 5 мм
 - 18 straw-трубки диаметром 10 мм
 - 8 straw-трубки диаметром 20 мм
- (μ Straw Tracker, μ ST) – Новый прототип со стерео-расположением трубок (с 2024 г.):
 - 4 double-layer planes: Y-U-V-Y
 - Stereo angle: 2°
 - Первый прототип интерфейса для подачи высокого и подключения считывающей электроники



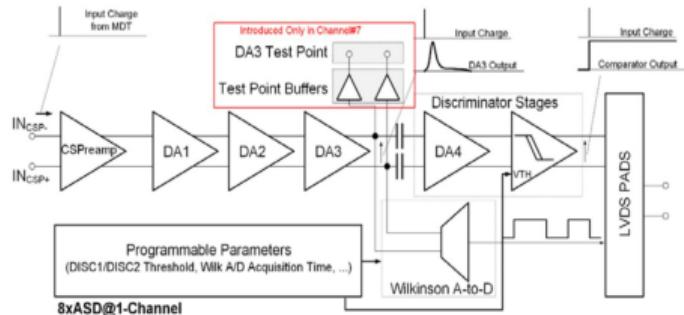
VMM3 ASIC



TIGER ASIC



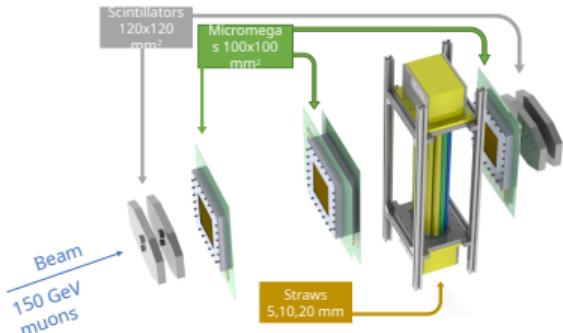
ASD



Основные различия:

- TIGER обладает двумя формирователями сигнала – для измерения времени и заряда
- ... Но обладает слишком высоким электронным усилением и малым диапазоном измеряемых зарядов
- VMM3 имеет выбор разных формирователей и значений электронного усиления, что позволяет собирать данные с изменением времени или энергии с высокой точностью
- ASD имеет меньшее время интегрирования, чем VMM3 и TIGER

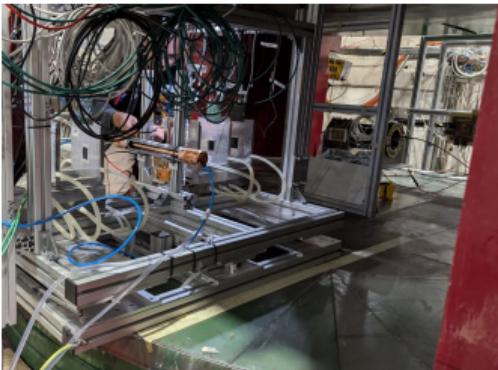
Тестовая установка на SPS, апрель-июль



Тестовая установка состоит из:

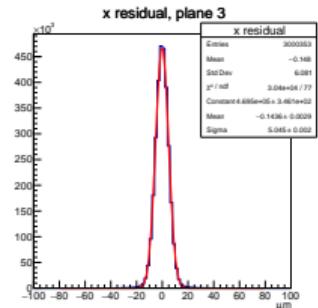
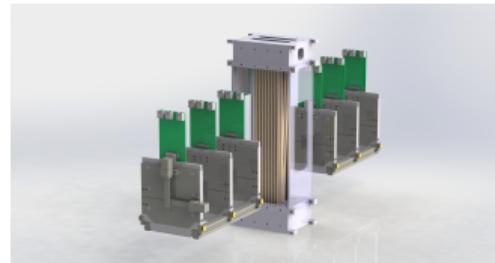
- 4 Сцинтиллятора
- 4 MicroMegas (с шагом $250\mu m$):
3 по оси X, 1 по оси Y
- Straw Combined Prototype

Тестовая установка на SPS, сентябрь



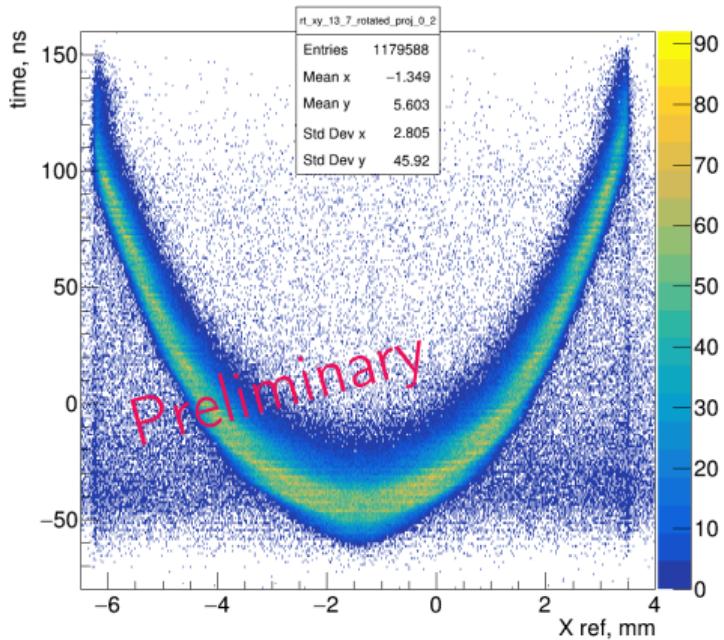
Тестовая установка состоит из:

- 2 Сцинтилятора
- Трекер AZALEA
- μ ST прототип

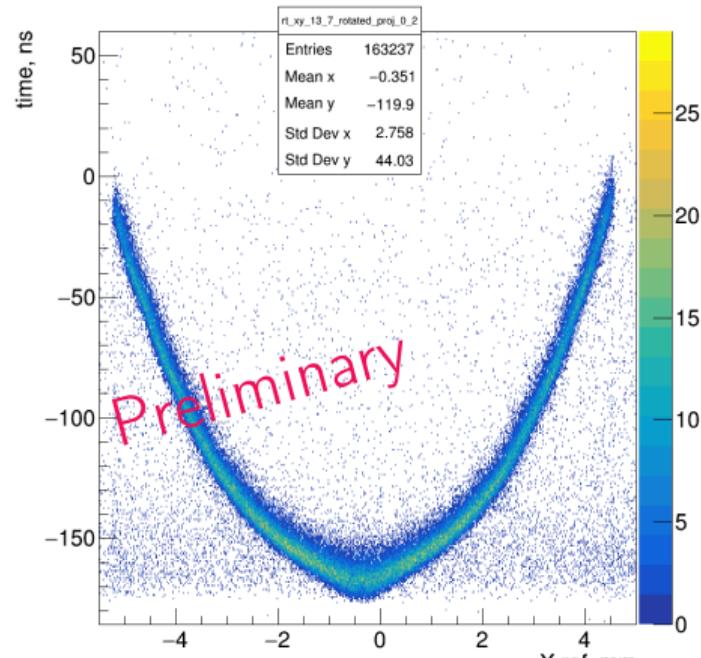


Примеры зависимости времени дрейфа от положения трека R(T)

Сентябрь, VMM3 ASIC



Сентябрь, ASD



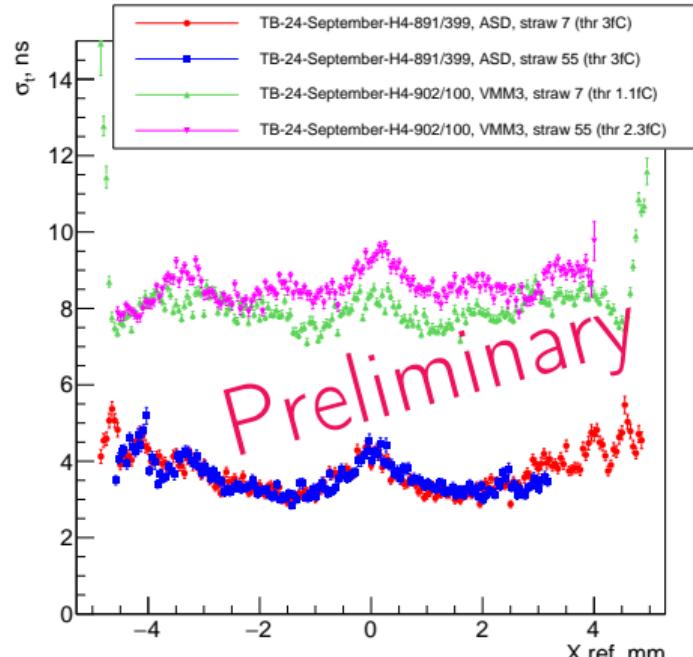
Временное разрешение, Ar/CO₂ 70/30:

- Сентябрь, считывание VMM3 ASIC, straw 7 (**красные круглые маркеры**)
- Сентябрь, считывание VMM3 ASIC, straw 55 (**синие квадратные маркеры**)
- Сентябрь, считывание ASD, straw 7 (**зеленые треугольные маркеры**)
- Сентябрь, считывание ASD, straw 55 (**фиолетовые треугольные маркеры**)

Лучшее полученное разрешение для straw-трубок диаметром 10мм:
3 (ASD) и 7 (VMM3) ns.

При этом:

- калибровка VMM3 не завершена
- VMM3 имеет больший peaking time
- VMM3 имеет проблемы с TDC



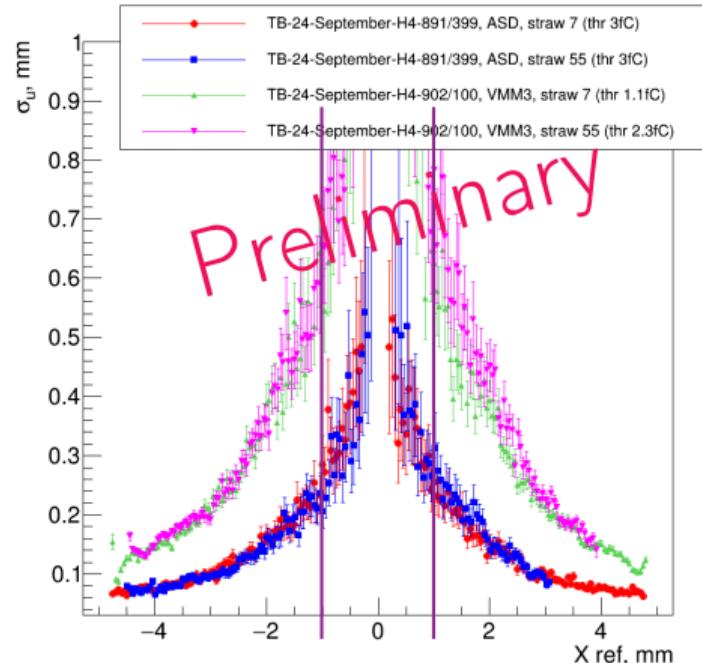
from VIII SPD Collaboration meeting, 5-8 ноября 2024

Пространственное разрешение, Ar/CO₂ 70/30:

Предварительные результаты не учитывающие
конечное разрешение референсного трекера
(средневзвешенное с ошибками для области
 $\pm[1 - 5] \text{ mm}$)

- VMM3 ASIC, straw 7: 270 μm
- VMM3 ASIC, straw 55: 320 μm
- ASD, straw 7: 122 μm
- ASD, straw 55: 139 μm

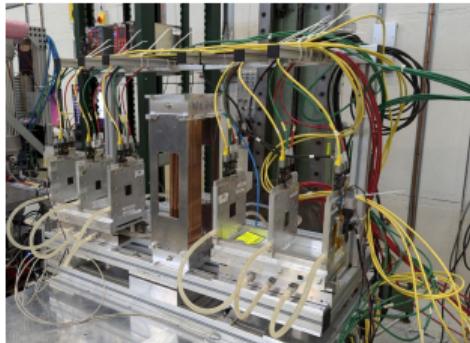
We are working on understanding the major
contribution to large resolution



from VIII SPD Collaboration meeting, 5-8 ноября 2024

Тестовая установка, PS, октябрь

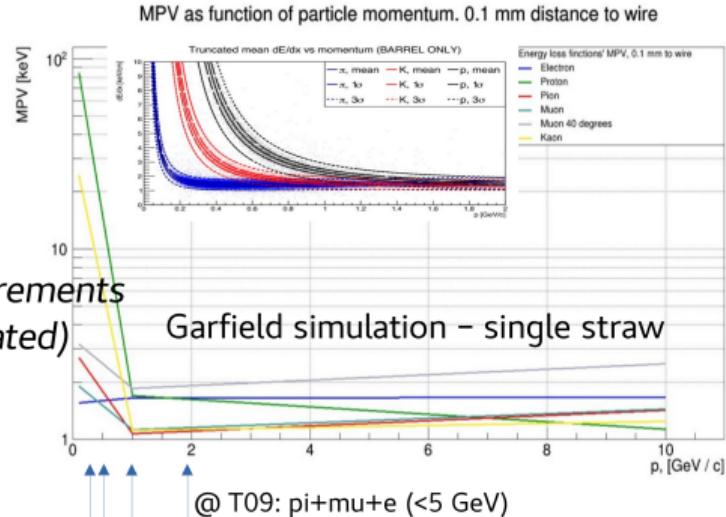
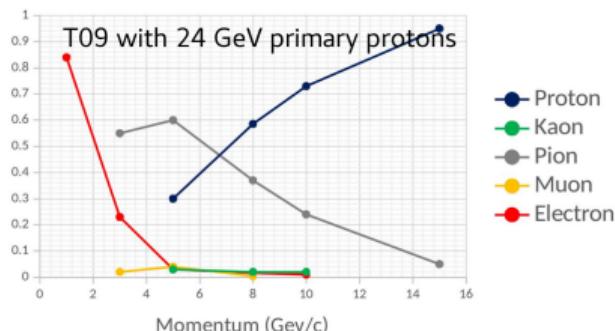
Тестовая установка состоит из:



- Трекер AZALEA (полученное разрешение 60-110 μm)
- Черенковский сцинтиллятор для выделения электронов
- Straw-трубки:
 - Отдельная трубка 10mm
 - Комбинированный прототип (20mm, 10mm & 5mm)
- Измерение зарядового разрешения
 - Специальный усилитель со временем интегрирования 500ns (О.Н. Минко, ОИЯИ)
 - Адроны 0.3, 0.5, 1, 2 GeV/c
 - Электроны: 2 GeV/c
- Измерение пространственного разрешения
 - Считывающая электроника: sMDT ASD, Mu2E (VMM3-based)
 - Адроны, 5 & 15 GeV/c

- **High momenta - timing performance**
 t vs R with VMM3 and ASD readouts
15, 5 and GeV $h+$, large statistics

- **Low momenta ≤ 2 GeV - charge measurements**
 - 2, 1, 0.5, 0.3 GeV (purity to be evaluated)
 - Q vs P (single straw)
 - time-over-threshold vs P (ASD readout)



Electrons are tagged with the Cherenkov detector 15 mV threshold

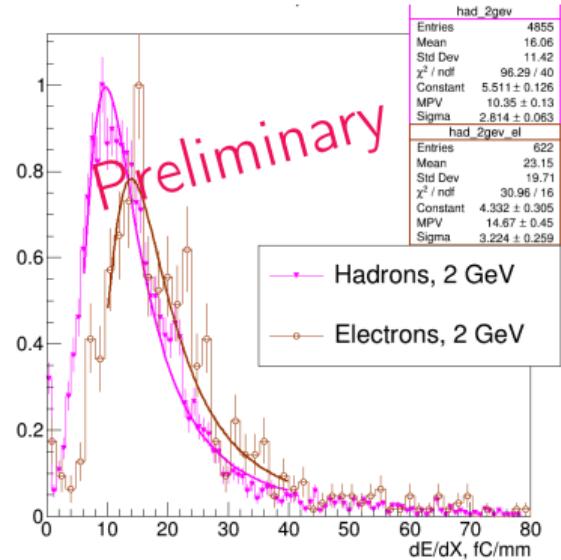
Tried to veto muons behind the concrete block

Last two days :

- decreased momenta of primary protons (down to 15 GeV)
=> higher population of low momentum hadrons

Первые результаты тестовых измерений на PS

- Специальный усилитель со временем интегрирования 500ns (О.Н. Минко, ОИЯИ)
- Анализ продолжается



from VIII SPD Collaboration meeting, 5-8 ноября 2024



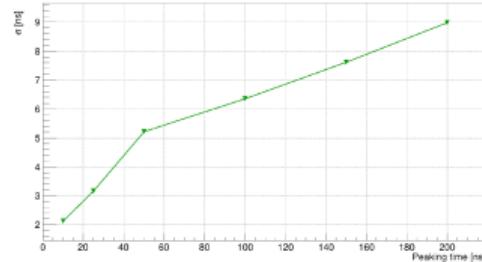
Реалистичный отклик straw-трубок



Текущая работа, связанная с моделированием реалистичного отклика straw-трубок:

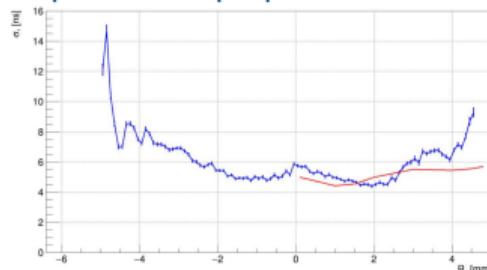
1. Выполнено моделирование генератором GARFIELD++ с использованием пакета LTSpice для моделирования электроники. Использованные модели: и TIGER и VMM3 ASIC.
2. Улучшение моделирования в пакете SPDRoot: добавлен отклик трековой системы SPD, полученный с помощью пакета GARFIELD, в программный пакет SPDRoot с использованием реалистичных параметризаций.

Зависимость временного разрешения сигнала от времени сбора заряда



генератор: GARFIELD++ LTSpice
from VII SPD Collaboration meeting, 20-24 мая 2024

Сравнение временного разрешения сигнала, TIGER

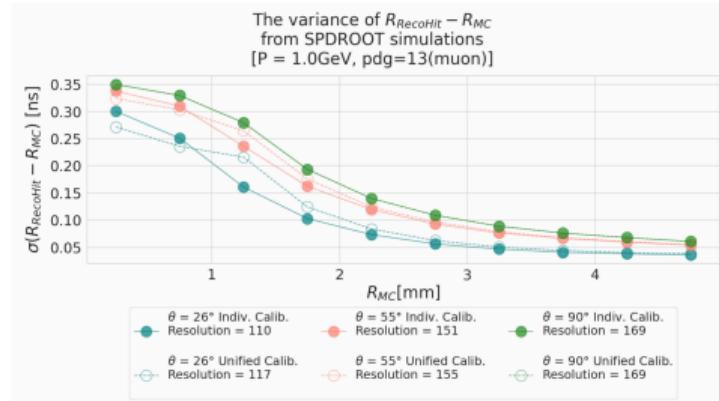


генератор: GARFIELD++; модель электроники: TIGER
from VII SPD Collaboration meeting, 20-24 мая 2024

Текущая работа, связанная с моделированием реалистичного отклика straw-трубок:

1. Выполнено моделирование генератором **GARFIELD++** с использованием пакета **LTS spice** для моделирования электроники. Использованные модели: и **TIGER** и **VMM3 ASIC**.
2. Улучшение моделирования в пакете **SPDRoot**: добавлен отклик трековой системы **SPD**, полученный с помощью пакета **GARFIELD**, в программный пакет **SPDRoot** с использованием реалистичных параметризаций.

Различие временного разрешения для смоделированного и реконструированных сигналов (**SPDRoot**)



from VIII SPD Collaboration meeting, 5-8 ноября 2024



Доклады:

1. В.Т. Ким, "Эксперимент SPD на коллайдере NICA", Совещание РДИГ-М, Дубна, 12 апреля 2024
2. V.T. Kim, "SPD NICA: Physics at the first stage" NICA Days, Алматы, 17 мая 2024
3. В.Т. Ким, "Статус эксперимента SPD на коллайдере NICA", 56-я Зимняя Школа ПИЯФ, Луга, 17-22 марта 2024
4. А.В. Зеленов, "Образование адронов с большими рТ при энергиях NICA", 56-я Зимняя Школа ПИЯФ, Луга, 17-22 марта 2024
5. V.T. Kim, "SPD Physics at the first stage" HSF1-2024, Гатчина, 17 мая 2024
6. A.V. Zelenov, "Large pT baryon and exotic state production at NICA energies", Гатчина, 8-12 июля 2024
7. A. Mukhamejanova, S.A. Bulanova, V.V. Bautin "Garfield++ / LTSpice for modelling response of Straw Tubes with custom readout", 2nd DRD1 Collaboration Meeting Topical Workshop on Electronics for Gaseous Detectors, 17-21 июня 2024
8. V.T. Kim, "SPD at NICA Collider: Status and Outlooks", 7th Forum Nuclear Science and Technologies, Алматы, 7-11 октября 2024
9. V.T. Kim, "SPD Experiment at NICA Collider: Status and Outlooks", 7th ICPPA-2024, Москва, 22-25 октября 2024



Доклады (SPD Collaboration Meetings):

1. S.A. Bulanova, "Garflied++/LTSpice studies of the straw tube response", VII SPD Collaboration Meeting, Алматы, 20-24 мая 2024
2. A.V. Zelenov, "Large-pT particle production in pp-collisions at NICA energies", VII SPD Collaboration Meeting, Алматы, 20-24 мая 2024
3. D.E. Sosnov, "Straw testbeam results", VIII SPD Collaboration Meeting, Дубна, 5-8 ноября 2024
4. A.V. Zelenov, "Diquark role in production of baryons and exotic hadrons for SPD NICA energies", VIII SPD Collaboration Meeting, Дубна, 5-8 ноября 2024
5. E.O. Mosolova, "Overview of the Straw Tracker simulation studies", VIII SPD Collaboration Meeting, Дубна, 5-8 ноября 2024

Публикации:

1. V. Abazov et al. (SPD Collaboration), "Technical Design Report of the Spin Physics Detector at NICA", *Natural Science Review*, 1 (2024) 1-325. [arXiv:2404.08317](https://arxiv.org/abs/2404.08317)
2. V. Bautin et al., "TIGER ASIC as a candidate front end electronics solution for future Straw Trackers", *Physics of Particles and Nuclei Letters*, 21 (2024) 4, 731–734.
[doi:10.1134/S1547477124701206](https://doi.org/10.1134/S1547477124701206)



Выводы

Физика

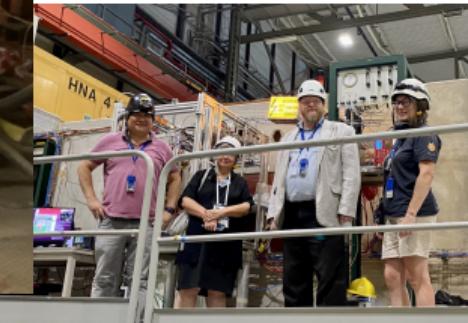
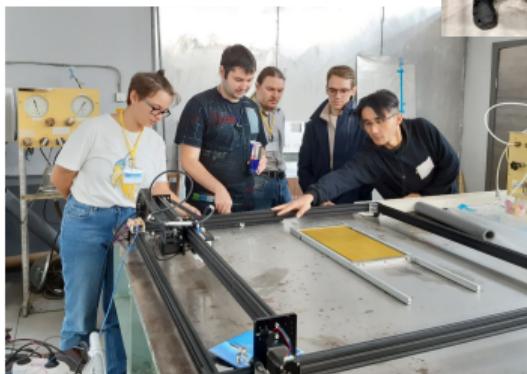
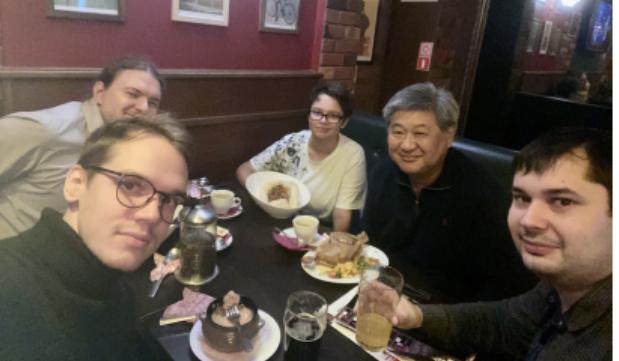
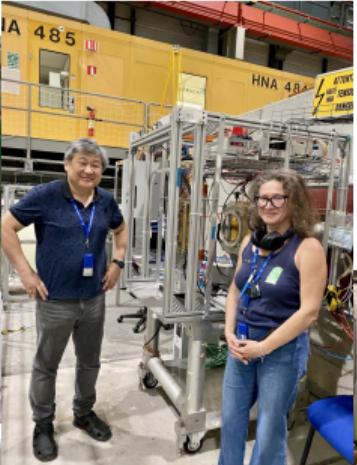
- Проведены оценки поляризации Λ
- Проведены оценки различных выходов адронов и экзотических состояний (тетракварки) с большими p_T и их кореляций
- Разрабатывается Монте-Карло генератор:

Компьютинг

- Продолжена разработка концепции компьютеринга SPD, включающая ПИЯФ в качестве SPD TIER-1

Straw-трекер

- Проведены изменения на тестовых пучках SPS с имеющимися вариантами считывающей электроники
- Проведены испытания нового прототипа со стереоуглами, а также прототипа интерфейса для подачи высокого напряжения и подключения электроники
- Проведены измерения пространственного и зарядового разрешения, ведется анализ данных
- Продолжается работа по моделированию реалистичного отклика straw-трубок
- Запланированы тестовые измерения как на CERN PS/SPS, так и на СЦ-1000 (ПИЯФ)



Спасибо за внимание!

И счастливого нового года!

