



Участие ПИЯФ в SPD

Соснов Д.Е.

25.12.2024



Физика: *

- Одинокные спиновые асимметрии, поперечная поляризация
- Многопартонные взаимодействия
- Экзотические резонансы
- Дикварки и т.п.

Straw-трекер **

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

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

Компьютинг ***

Сотрудники ПИЯФ в SPD

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

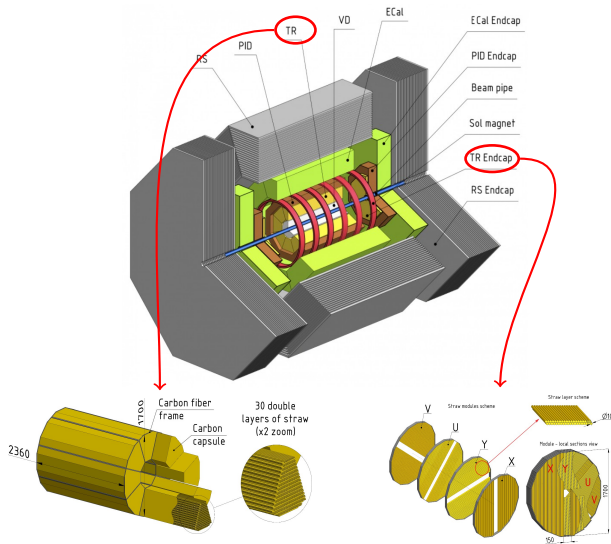


Основные направления физических задач SPD:

- 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

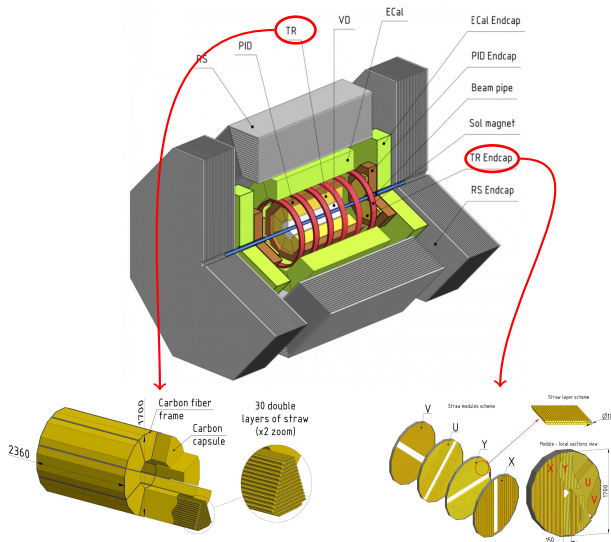
- Восстановление треков заряженных частиц
- Измерение импульсов частиц в магнитном поле
- Идентификация частиц по измеренным ионизационным потерям энергии
- Straw-трекер: ~ 20 тыс. straw-трубок диаметром 10мм в барельной части (ultra-sonic welding) и ~4 тыс в End-Cap (winding straw)



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

- Определение требований к считывающей 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

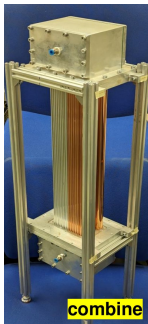
Тестовые пучки CERN PS

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:

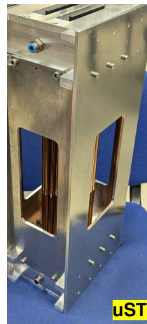
- Комбинированный прототип (Straw Combined Prototype) (с 2023 г.):
 - 36 straw-трубки диаметром 5 мм
 - 18 straw-трубки диаметром 10 мм
 - 8 straw-трубки диаметром 20 мм
- (μ Straw Tracker, μ ST) – Новый прототип со стерео-расположением трубок (с 2024 г.):
 - 4 double-layer planes: Y-U-V-Y
 - Stereo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



combine



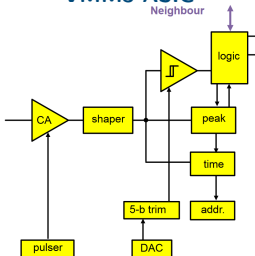
Прототипы сделаны в ОИЯИ
(Т. Еник и др.)



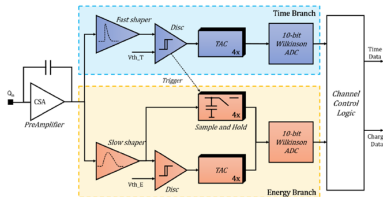
uST

VMM3 ASIC

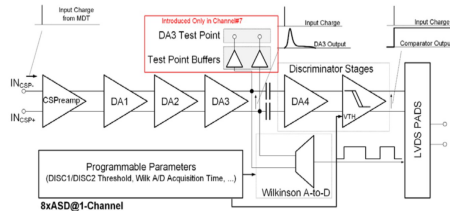
Neighbour



TIGER ASIC



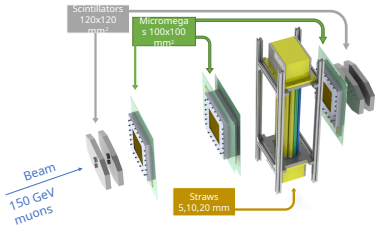
ASD



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

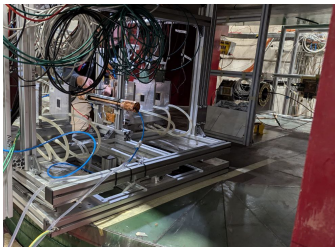


Тестовая установка состоит из:

- 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

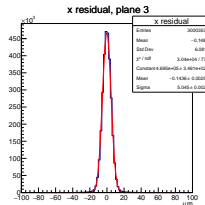
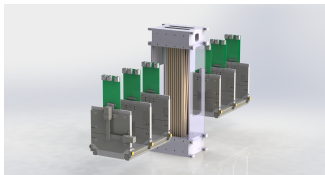
Трекер AZALEA



Тестовая установка состоит из:

- 2 Сцинтиллятора
- Трекер AZALEA
- μ ST прототип

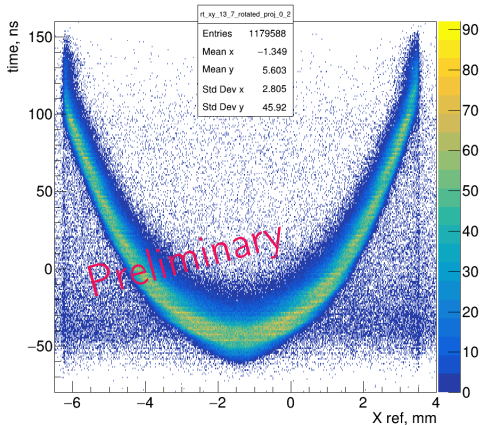
- AZALEA: The AIDA-2020 Zero-suppressed Acquisition Located at the East-Area telescope (разработан в рамках проекта EUDET)
- Состоит из:
 - 6 плоскостей с сенсорами MIMOSA 26 (размер пикселя $18.4\mu\text{m}$)
 - FEI4 Si плоскость (использовалось в качестве триггера и разрешения наложенных треков)
 - Trigger Logic Unit (TLU)
- Разрешение трекера: $\sim 6\mu\text{m}$



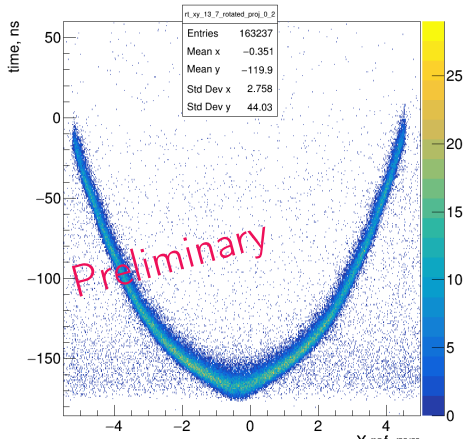


Примеры зависимости времени дрейфа от проложения трека $R(T)$

Сентябрь, VMM3 ASIC



Сентябрь, ASD





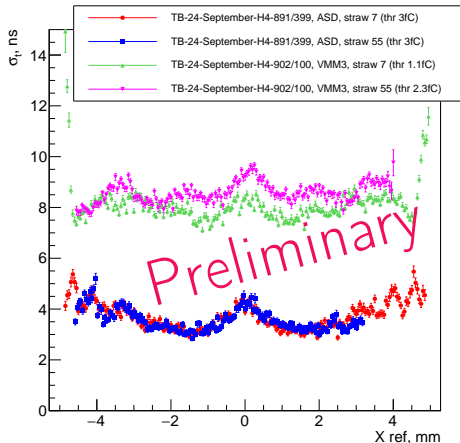
Временное разрешение, Ar/CO₂ 70/30:

- 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 большой peaking time
- VMM3 имеет проблемы с TDC



from VIII SPD Collaboration meeting, 5-8 ноября 2024

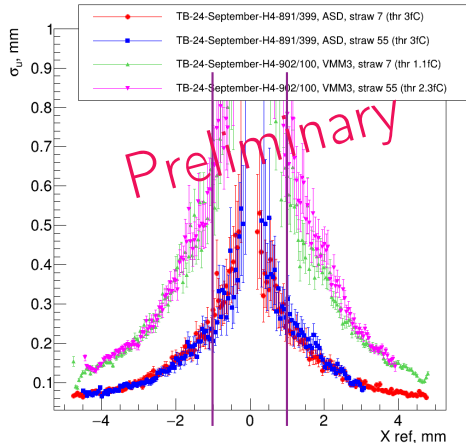


Пространственное разрешение, Ar/CO₂ 70/30:

Предварительные результаты не учитывающие
конечное разрешение референсного трека
(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

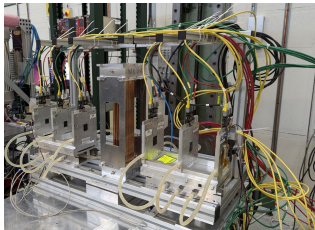


from VIII SPD Collaboration meeting, 5-8 ноября 2024

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

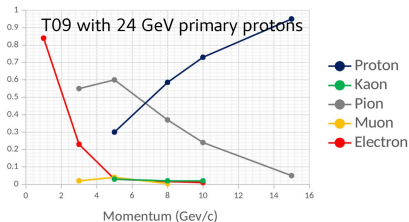
15, 5 and GeV h+, large statistics

- Low momenta ≤ 2 GeV - charge measurements

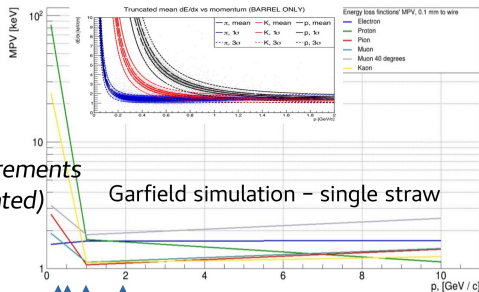
- 2, 1, 0.5, 0.3 GeV (purity to be evaluated)

- Q vs P (single straw)

- time-over-threshold vs P (ASD readout)



MPV as function of particle momentum. 0.1 mm distance to wire



Garfield simulation - single straw

@ T09: pi+mu+e (< 5 GeV)

Electrons are tagged with the Cherenkov detector 15 mV threshold

Tried to veto muons behind the concrete block

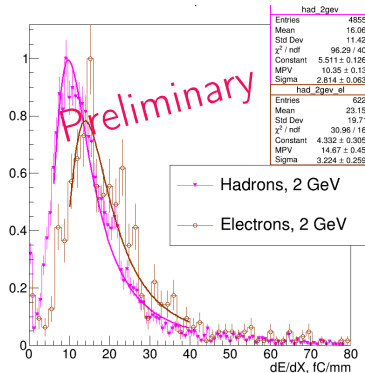
Last two days :

- 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



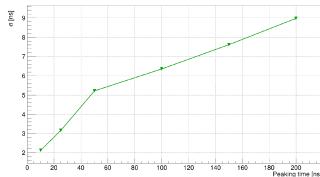
from VIII SPD Collaboration meeting, 5-8 ноября 2024



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

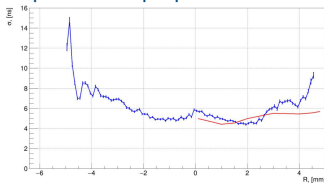
1. Выполнено моделирование генератором GARFIELD++ с использованием пакета LTSpice для моделирования электроники. Использованные модели: и TIGER и VMM3 ASIC.
2. Улучшение моделирования в пакете SPDRoot: добавлен отклик трековой системы SPD, полученный с помощью пакета GARFIELD, в программный пакет SPDRoot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



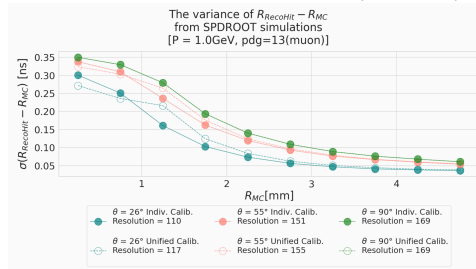
генератор: GARFIELD++; модель электроники: TIGER
from VII SPD Collaboration meeting, 20-24 мая 2024



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

1. Выполнено моделирование генератором GARFIELD++ с использованием пакета 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.

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 p_T при энергиях NICA”, 56-я Зимняя Школа ПИЯФ, Луга, 17-22 марта 2024
5. V.T. Kim, “SPD Physics at the first stage” HSFI-2024, Гатчина, 17 мая 2024
6. A.V. Zelenov, “Large p_T 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, "Garfield++/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

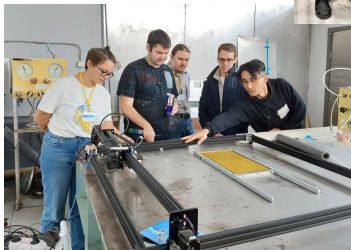
- Проведены оценки поляризации Λ
- Проведены оценки различных выходов адронов и экзотических состояний (тетракварки) с большими p_T и их корреляций
- Разрабатывается Монте-Карло генератор:

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 ЦЭ-1000 (ПИЯФ)



Спасибо за внимание!

И счастливого нового года!

