

Эксперимент СПАСЧАРМ (ИФВЭ, У-70)

**Изучение Спиновых АСимметрий
в образовании легких резонансов и ЧАРМония на
ускорителе У-70**

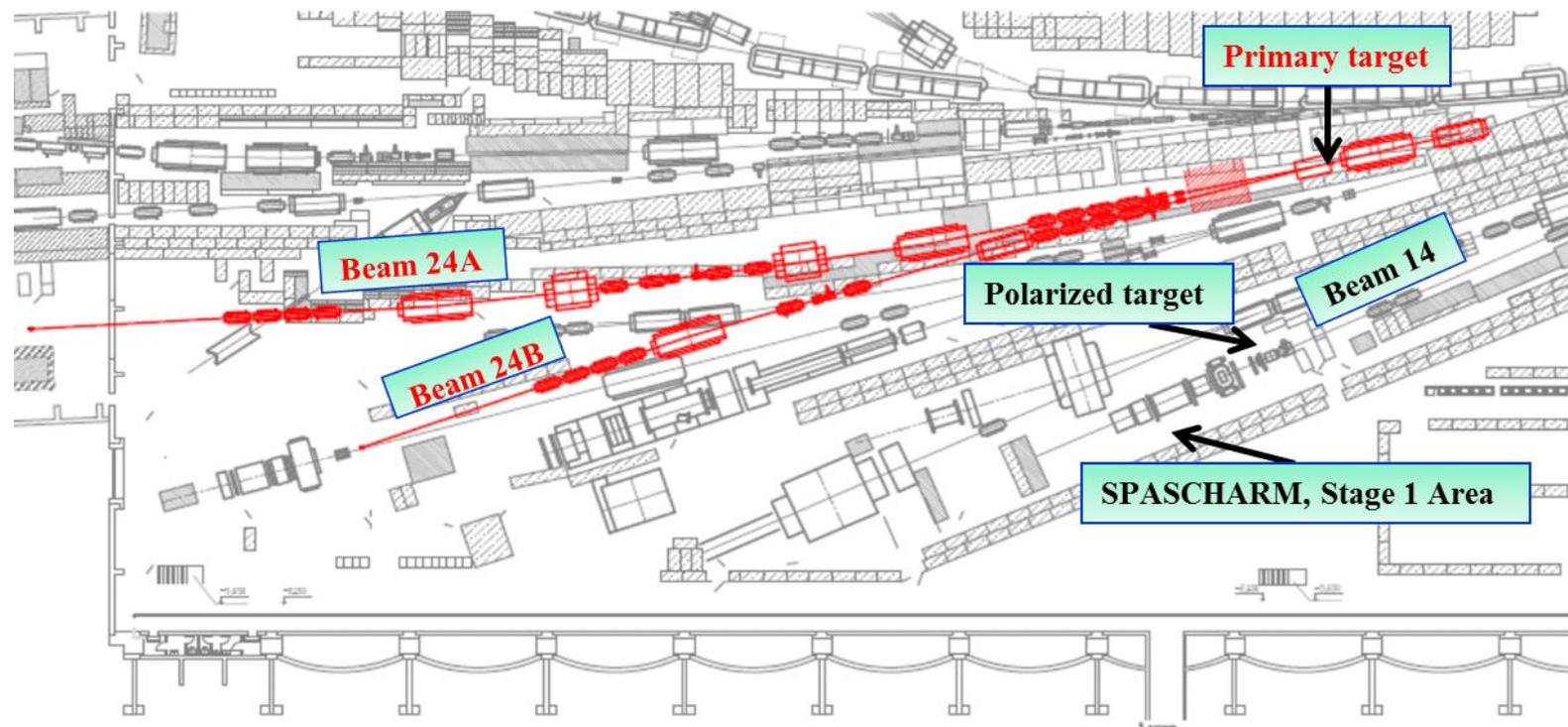
**НИЦ КИ – ИФВЭ, НИЦ КИ – ПИЯФ,
НИЦ КИ – ИТЭФ, ОИЯИ, МИФИ**

Участники от ПИЯФ

**В.А. Андреев, А.Б. Гриднев, Н.Г. Козленко, В.С. Козлов,
Д.В. Новинский, В.И. Тараканов, В.С. Темирбулатов**

Стратегия эксперимента СПАСЧАРМ

- **Этап 1.** Действующий эксперимент на канале 14
- **Этап 2.** Создание пучка поляризованных протонов и антипротонов (в будущем, канал 24)



Стратегия эксперимента СПАСЧАРМ

На 24 канале У-70

- Односпиновая асимметрия A_N инклюзивного рождения J/ψ и χ_1/χ_2 на пучке поляризованных протонов.
- Ожидаемая статистика за 40 дней набора данных:
- Пучок поляризованных p (45 GeV, $4 \cdot 10^7$ p/cycle):
- 10000 J/ψ и 1000 χ_1/χ_2 состояний.
- Статистическая точность измерения асимметрии J/ψ - 7%
- Измерение соотношения сечений рождения χ_1/χ_2
- для определения механизма рождения чармония
- на пучках протонов и пионов.
- Измерение двухспиновой асимметрии A_{LL} для изучения $\Delta G/G(x)$.
- Одновременно исследование A_{NN} и A_N рождения J/ψ , χ_1/χ_2 .
- Двухспиновые эффекты в различных реакциях

Стратегия эксперимента СПАСЧАРМ

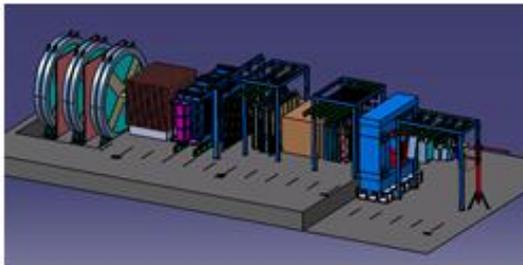
Препринт ИФВЭ (2019)

ЭЧАЯ, №1, pp. 69-184 (2023)



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
ИМЕНИ А.А. ЛОГУНОВА

Концептуальный проект эксперимента СПАСЧАРМ.
(Проект документа, 01.10.2017)



Сотрудничество ИИИ «Курчатовский Институт» - ИФЭЭ - ОИЯИ - ИИИЭУ МИФИ

ISSN 1063-7796, Physics of Particles and Nuclei, 2023, Vol. 54, No. 1, pp. 69–184. © Pleiades Publishing, Ltd., 2023.
Russian Text © The Author(s), 2023, published in Fizika Elementarnykh Chastits i Atomnogo Yadra, 2023, Vol. 54, No. 1.

*Dedicated to the memory
of Professors S.B. Nurushev and Yu.M. Kazarinov*

Conceptual Design of the SPASCHARM Experiment

V. V. Abramov^a, I. L. Azhgirey^a, A. A. Borisov^a, S. I. Bukreeva^a, A. N. Vasiliev^{a, c}, V. I. Garkusha^a,
Yu. M. Goncharenko^a, A. M. Gorin^a, A. A. Derevshchikov^a, V. N. Zapolsky^a, A. N. Isaev^a,
N. K. Kalugin^a, V. A. Kachanov^a, A. S. Kozhin^a, A. K. Likhoded^a, A. V. Luchinsky^a, E. V. Maslova^a,
V. A. Maishev^a, Yu. M. Melnik^a, A. P. Meshchanin^a, N. G. Minaev^a, V. V. Moiseev^a, D. A. Morozov^a,
V. V. Mochalov^{a, c, *}, K. D. Novikov^a, L. V. Nogach^a, S. V. Poslavsky^a, A. F. Prudkoglyad^a,
S. V. Ryzhikov^a, V. I. Rykalin^a, A. D. Ryabov^a, T. D. Ryabova^a, A. V. Ryazantsev^a, P. A. Semenov^{a, c},
V. A. Senko^a, S. R. Slabospitsky^a, M. M. Soldatov^a, L. F. Solovyov^a, A. V. Uzunyan^a,
R. M. Fakhruddinov^a, N. A. Shalanda^a, V. I. Yakimchuk^a, A. E. Yakutin^a, N. A. Bazhanov^b, D. V. Belov^b,
N. S. Borisov^b, V. P. Volnykh^b, S. V. Goloskokov^b, I. S. Gorodnov^b, A. S. Dolzhikov^b, A. B. Lazarev^b,
A. B. Neganov^b, Yu. A. Plis^b, O. V. Teryaev^b, A. N. Fedorov^b, Yu. N. Uzikov^{b, g}, Yu. A. Usov^b,
A. A. Bogdanov^c, M. B. Nurusheva^c, V. A. Okorokov^c, V. L. Rykov^c, M. N. Strikhanov^c, I. G. Alekseev^c,
V. M. Nesterov^d, V. V. Ryltsov^d, E. I. Samigullin^d, D. N. Svirida^d, V. A. Andreev^e, A. B. Gridnev^e,
N. G. Kozlenko^e, V. S. Kozlov^e, V. A. Kuznetsov^e, D. V. Novinsky^e, V. I. Tarakanov^e, V. S. Temirbulatov^e,
I. A. Tsurakov^e, and V. I. Krivoruchko^f (SPASCHARM Collaboration)

^a Kurchatov Institute, A.A. Logunov National Research Center, Institute of High Energy Physics,
Protvino, Moscow oblast, 142281 Russia

^b Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Moscow oblast, 141980 Russia

^c Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education, National Research Nuclear University MEPhI,
Moscow, 115409 Russia

^d Kurchatov Institute, National Research Center, (KKTEF), Moscow, 117218 Russia

^e B.P. Konstantinov Petersburg Institute of Nuclear Physics, Kurchatov Institute, National Research Center,
@, Leningrad oblast, 188300 Russia

- Март-апрель 2018 г.: 5-недельный набор на поляризованной мишени
- Ноябрь-декабрь 2021 г: 6-недельный набор (C, Si, Al, Cu, Sn, Pb, W), пентанол (неполяризов.)
- Ноябрь-декабрь 2021 г: 2-недельный набор (Al, Cu, Sn, Pb), без РТ

Основные цели состоявшихся сеансов 2018-2022 гг.

1. Проверить в реальных экспериментальных условиях весь комплекс имеющейся аппаратуры установки СПАСЧАРМ
2. Провести первый полноценный набор статистики на поляризованной мишени при энергии π^- пучка 28 ГэВ
3. А-зависимость сечений π^+ , π^- , K_s^0 , ω (782) и др.,
4. Выстроенность векторных мезонов [ω (782), ρ (770) и др.]
5. Поляризация Λ -гиперонов.

Пучок 28 ГэВ: 97.5% π^- , ~2% K^- , 0.22% антипротоны.

Преимущества СПАСЧАРМ

Широкая физическая программа и систематические исследования явления поляризации

Разнообразие пучков: поляризованные пучки протонов и антипротонов, неполяризованные π^\pm , K^\pm , p , $p\text{-bar}$, d , C .

Исследование множества реакций одновременно.

Поперечно и продольно поляризованные и ядерные мишени.

Множество изучаемых поляризационных величин: A_N , P_N , A_{NN} , A_{LL} , D_{NN} , ρ_{ik} , ...

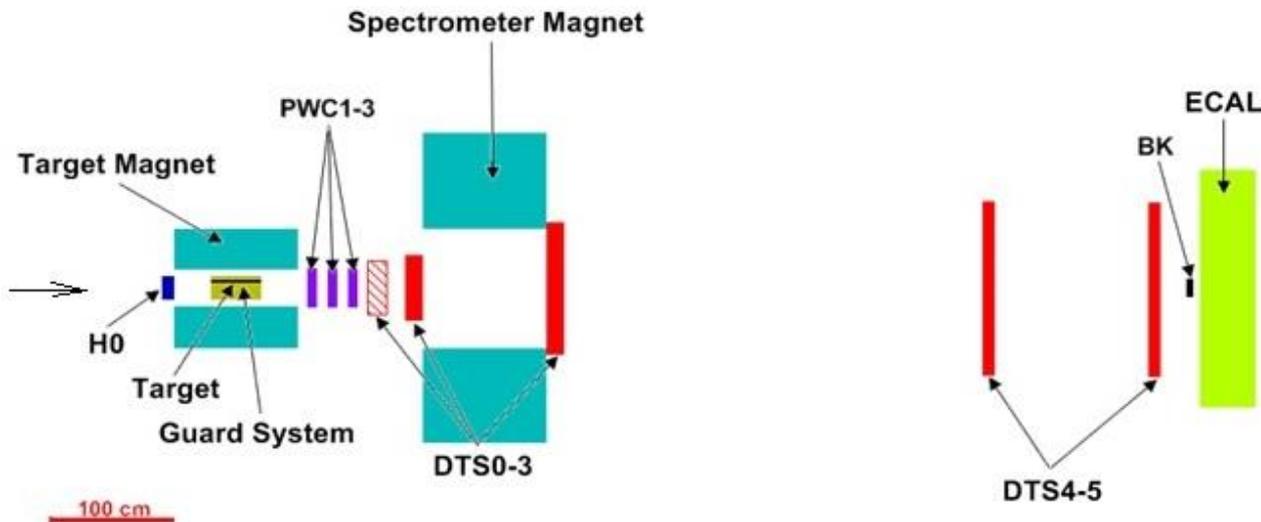
Полное покрытие азимутальных углов для снижения систематических ошибок, большой кинематический диапазон

Идентификация вторичных частиц, и заряженных, и нейтральных, например γ , π^0 , π^\pm , K^\pm , p , $p\text{-bar}$, d .

Использование спин-ротатора для получения поперечно- и продольно поляризованных пучков и уменьшения систематики.

Система сбора данных, быстро собирающая большой объем информации.

Установка СПАСЧАРМ



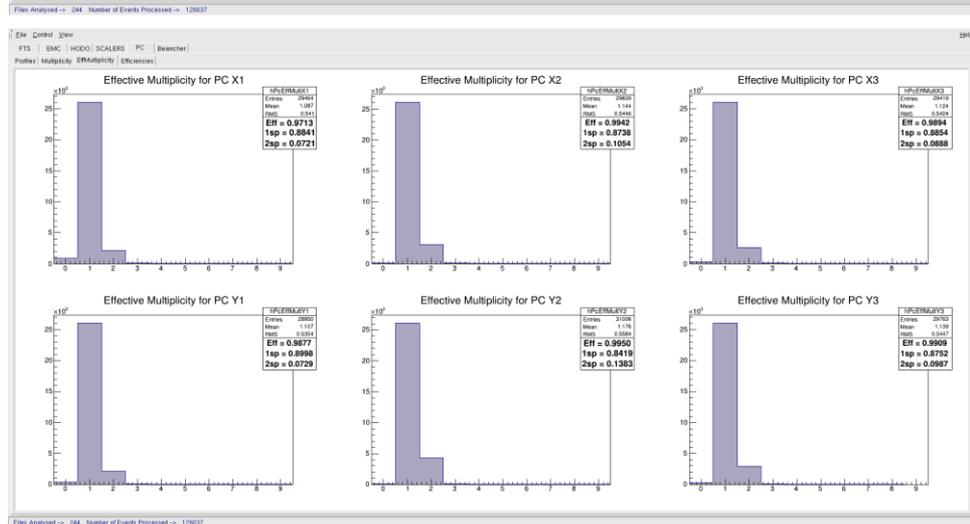
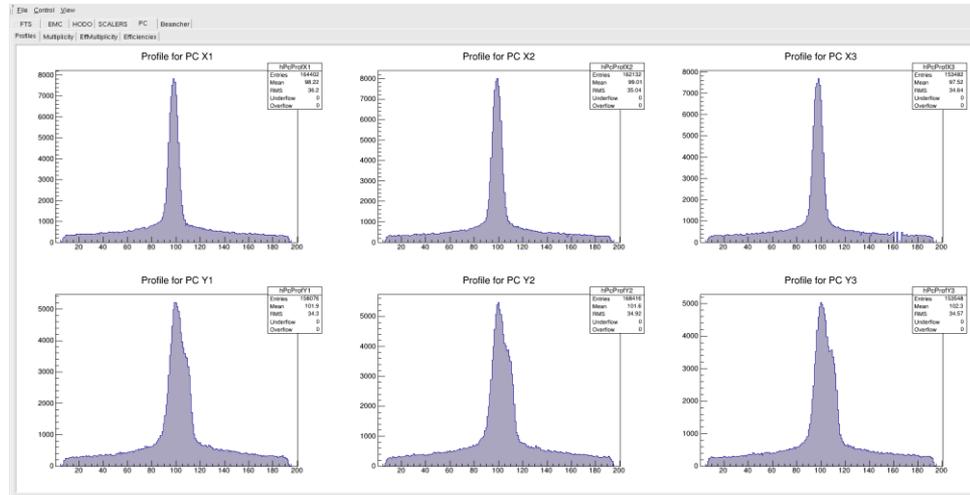
Пучковая аппаратура, в т.ч. волоконный годоскоп (H0).

Комплекс поляризованный мишени, включая магнит «Динозавр» и охранную систему для эксклюзивных реакций (Guard System).

Широкоапертурный спектрометрический магнит СПАСЧАРМ.

Трековая система, включая **6 плоскостей проп.камер** (PWC1-3), – DT - 18 ($\uparrow 30$) плоскостей до магнита и 27 плоскостей после магнита
Электромагнитный калориметр ЧСПП-720 из свинцового стекла.

Установка СПАСЧАРМ



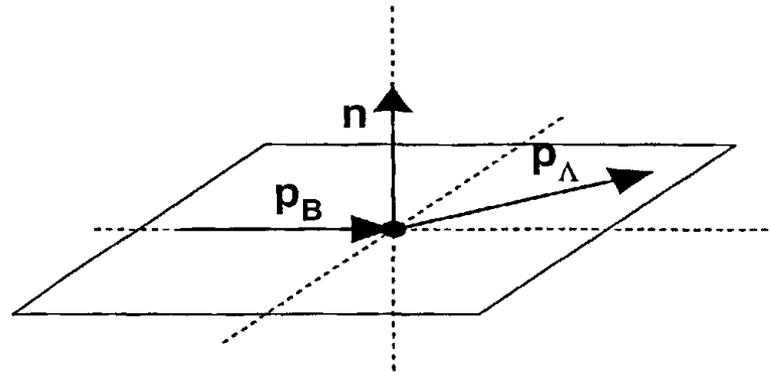
Ожидаемые результаты исследований

- **Разнообразии типов пучков, конечных состояний и наличие нескольких измеряемых односпиновых наблюдаемых позволяют провести глобальное исследование.**
- **Анализ этих данных дает возможность выявить закономерности поведения односпиновых наблюдаемых от аромата участвующих в реакции кварков, спиновой структуры адронов, содержащих эти кварки и кинематических переменных.**
- **Сравнение с моделями (Сиверса и Коллинза, вклада высших твистов, Абрамова, хромомангнитной струны – Рыскин, вращения партонных и т.д.) всей совокупности данных может позволить сделать важный шаг в определении механизма поляризационных явлений.**

Интерес к проблеме

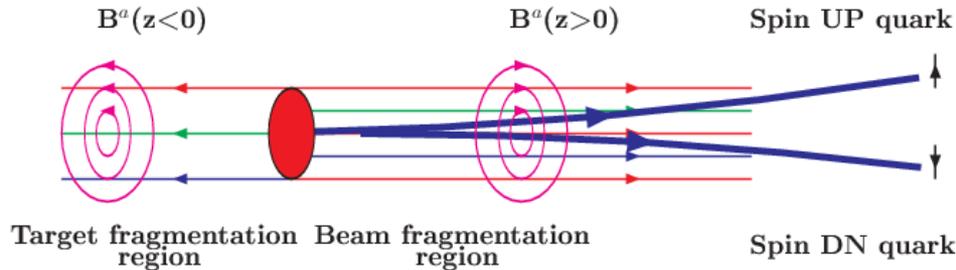
- Зависимость от кинематики.
- Зависимость от типа частиц пучка и мишени, особенно в области фрагментации.
- Измерение поляризации гиперонов возможно благодаря наличию слабого распада, происходящего с нарушением пространственной четности

$$dN/d\Omega = (1 + \alpha P e_p) / 4\pi = (1 + \alpha P \cos\theta_p) / 4\pi$$

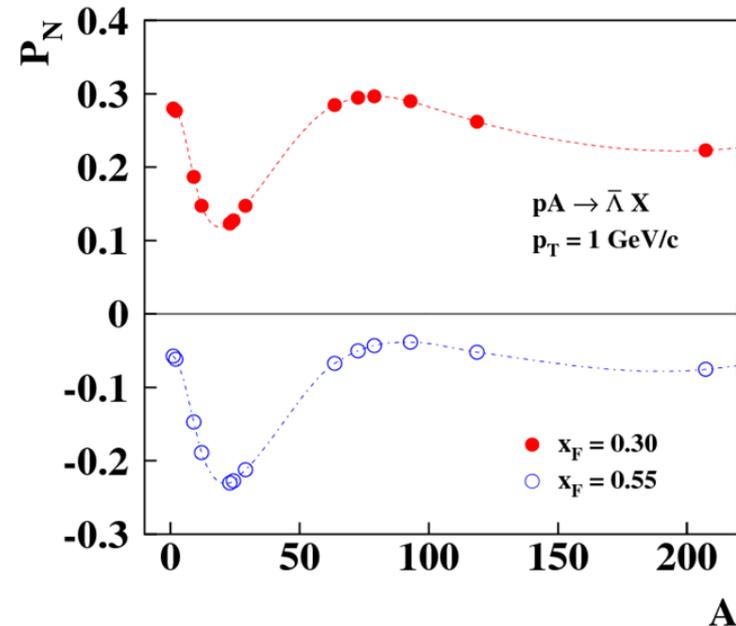
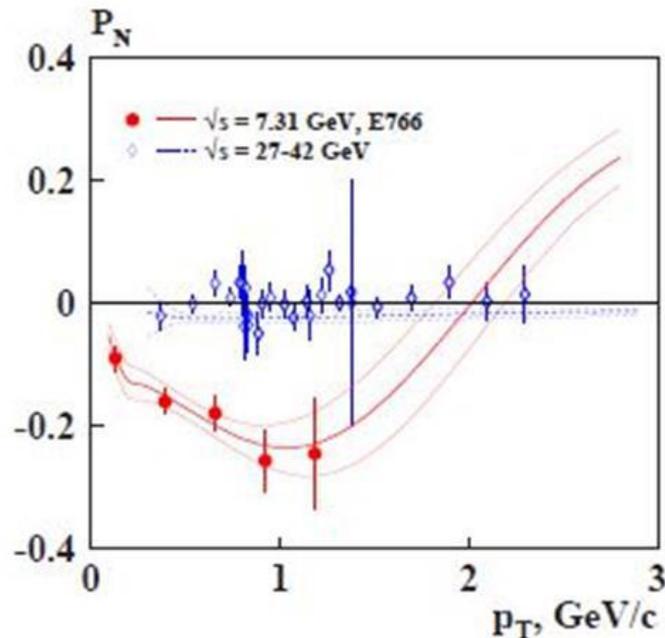


Исследование поляризации гиперонов

Модель ХПК (В.В. Абрамов, ИФВЭ)

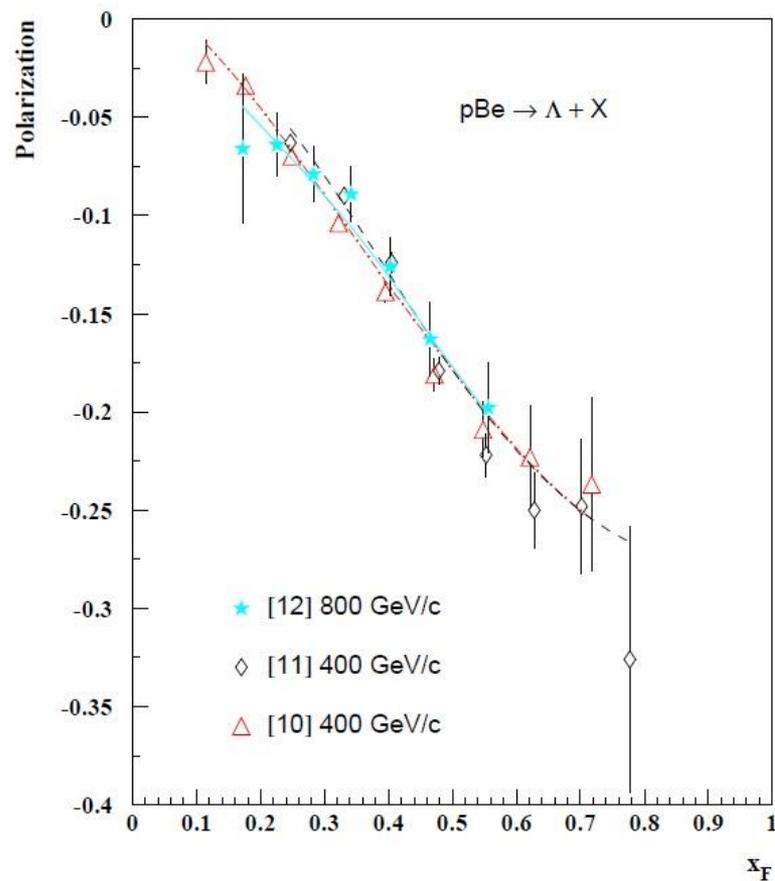
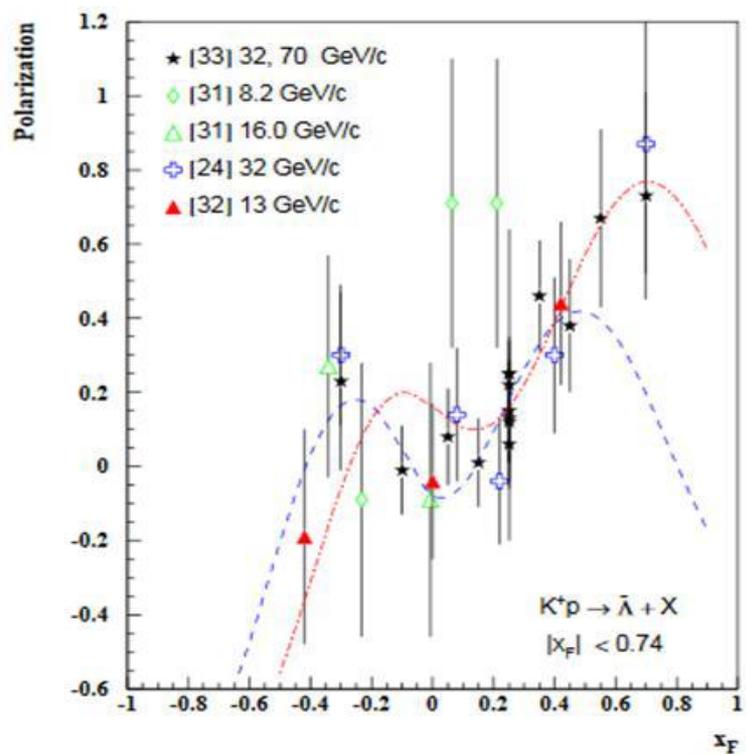


Механизм хромомагнитной поляризации кварков (микроскопический аппарат Штерна-Герлаха). Кварк-пробник отклоняется влево или вправо в неоднородном поле V^a



Исследование поляризации гиперонов

■ Сравнение с моделью ХПК (Абрамов)



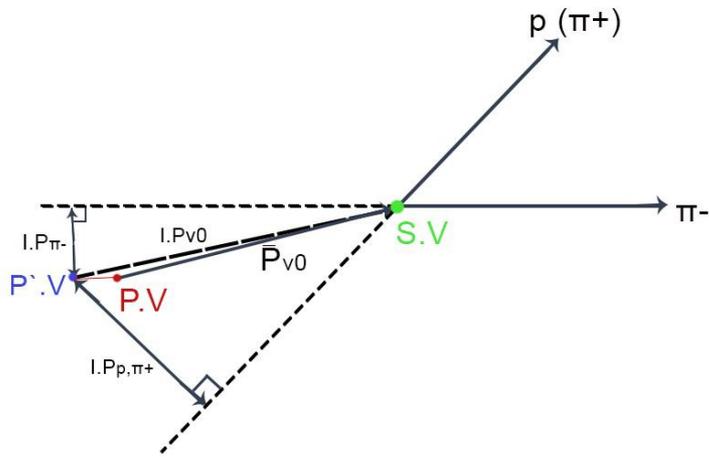
Исследование поляризации гиперонов

Expected statistics and accuracy

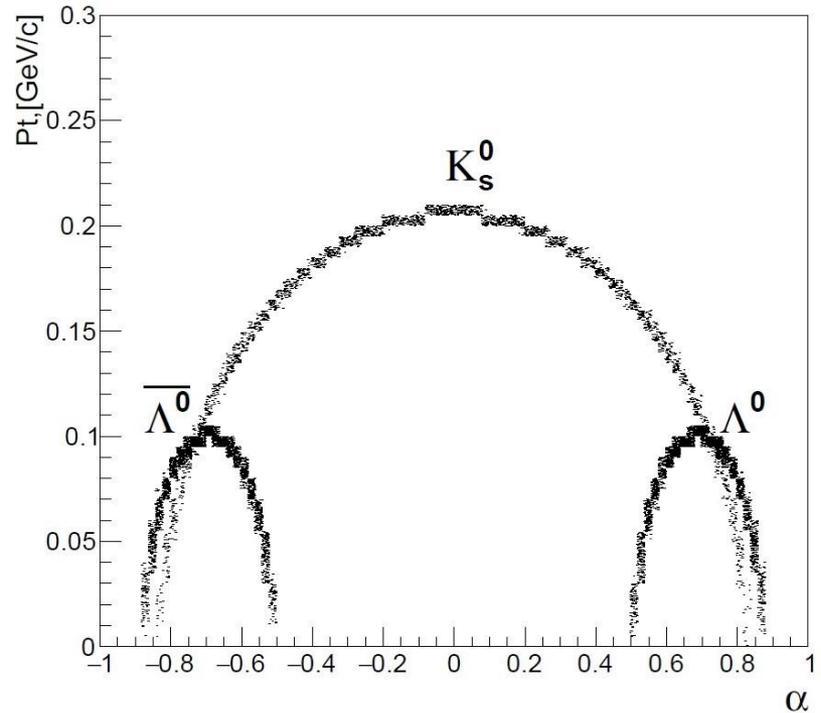
| GeV/c | $0 < p_Z \leq 4.0$ | $4.0 < p_Z \leq 8.0$ | $8.0 < p_Z \leq 12.0$ | $12.0 < p_Z \leq 16.0$ | $p_Z > 16.0$ |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|------------------|
| $0 < p_T \leq 0.25$ | $6.6 \cdot 10^5$ | $1.6 \cdot 10^6$ | $5.0 \cdot 10^5$ | $9.3 \cdot 10^4$ | $3.2 \cdot 10^4$ |
| $0.25 < p_T \leq 0.5$ | $3.0 \cdot 10^5$ | $2.4 \cdot 10^6$ | $1.1 \cdot 10^6$ | $3.0 \cdot 10^5$ | $1.1 \cdot 10^5$ |
| $0.5 < p_T \leq 1.0$ | $3.0 \cdot 10^3$ | $1.0 \cdot 10^6$ | $1.3 \cdot 10^6$ | $4.6 \cdot 10^5$ | $1.6 \cdot 10^5$ |
| $p_T > 1.0$ | - | $4.9 \cdot 10^3$ | $1.1 \cdot 10^5$ | $1.1 \cdot 10^5$ | $5.0 \cdot 10^4$ |

| GeV/c | $0 < p_Z \leq 4.0$ | $4.0 < p_Z \leq 8.0$ | $8.0 < p_Z \leq 12.0$ | $12.0 < p_Z \leq 16.0$ | $p_Z > 16.0$ |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|--------------|
| $0 < p_T \leq 0.25$ | 0.016 | 0.01 | 0,018 | 0.043 | 0.073 |
| $0.25 < p_T \leq 0.5$ | 0.024 | 0.008 | 0.012 | 0.024 | 0.039 |
| $0.5 < p_T \leq 1.0$ | 0.237 | 0.013 | 0.011 | 0.019 | 0.033 |
| $p_T > 1.0$ | - | 0.186 | 0.039 | 0.039 | 0.058 |

Анализ данных



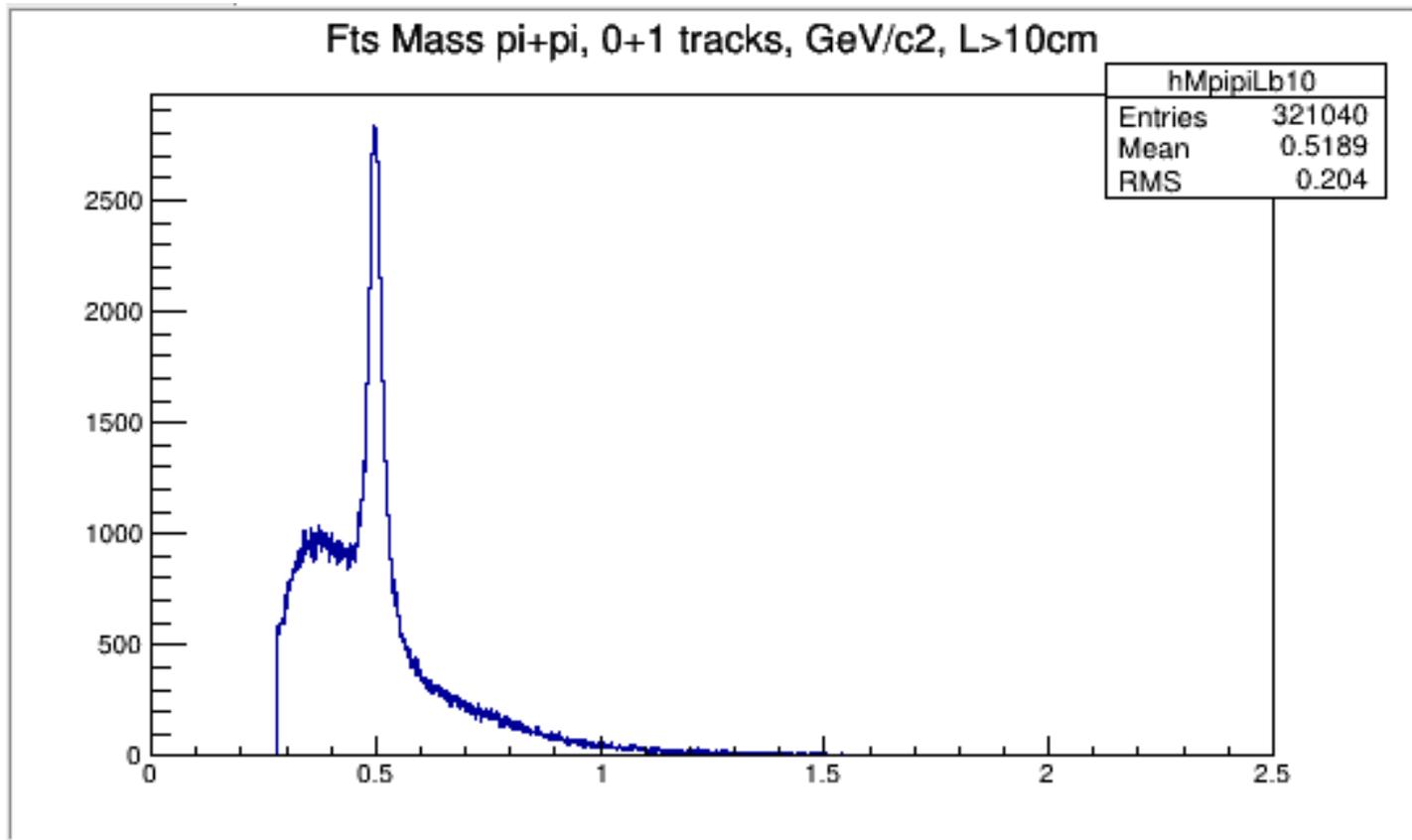
The Criterion Of Armenteros-Podolanski



$$\pi^- p \rightarrow K_S^0 \Lambda, \quad \Lambda \rightarrow \pi^- p, \quad K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$$

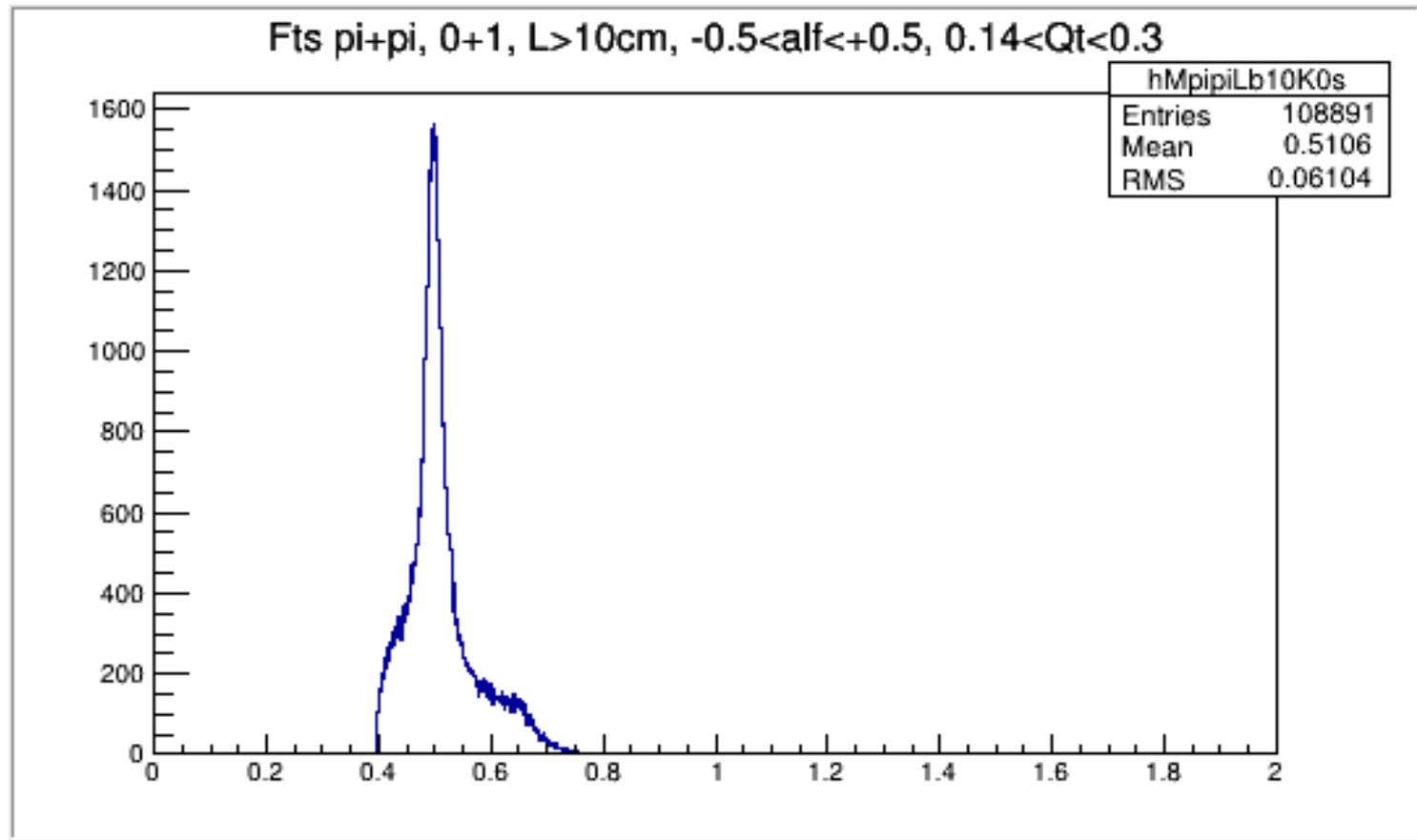
$$\alpha = (p(+)) - p(-) / (p(+) + p(-))$$

Анализ данных



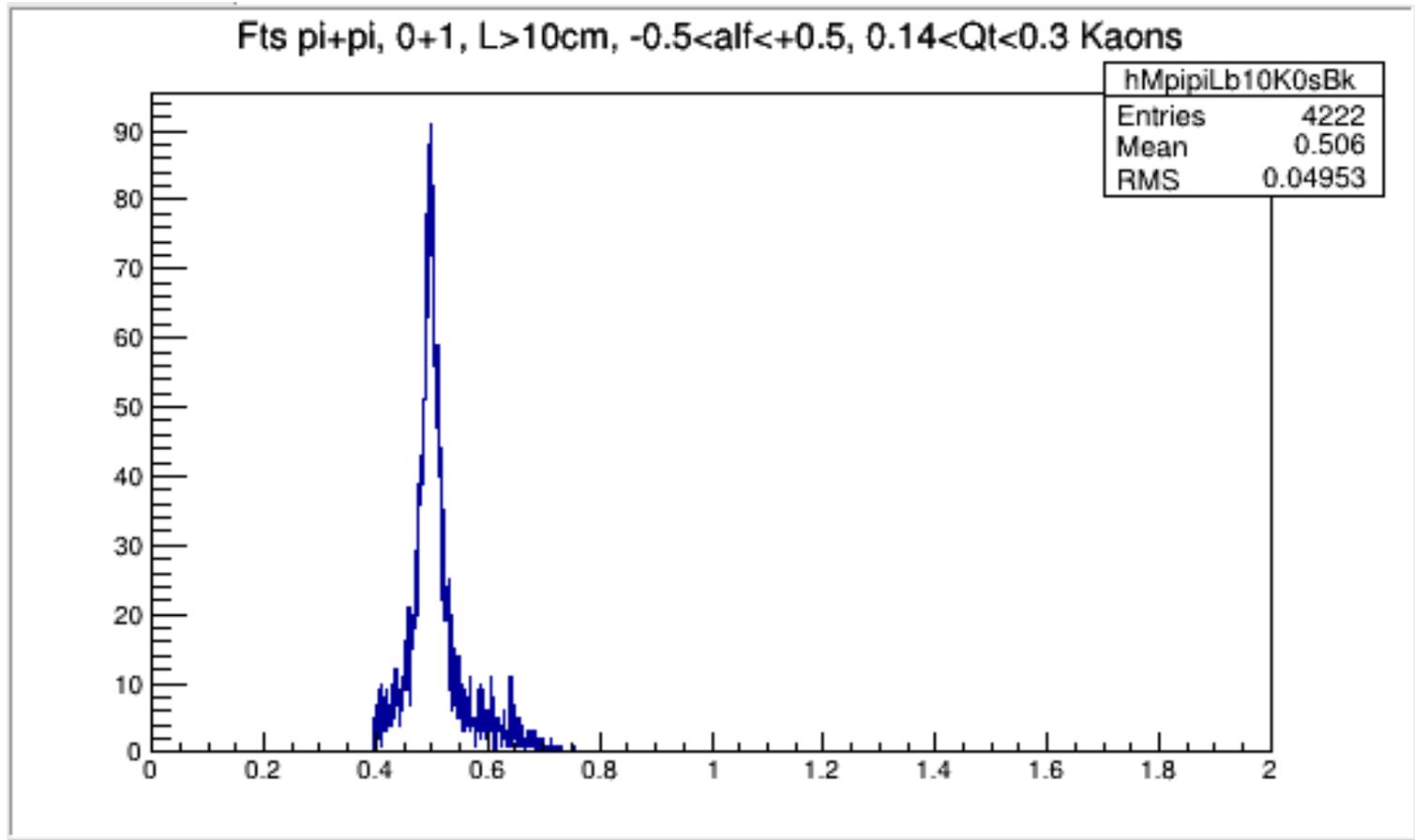
Распределение по массе пары $\pi^+ \pi^-$ для ядерных мишеней в осеннем сеансе 2021 для отрицательного пучка частиц с импульсом 28 ГэВ/с. Масса (ось X) в ГэВ/с².

Анализ данных



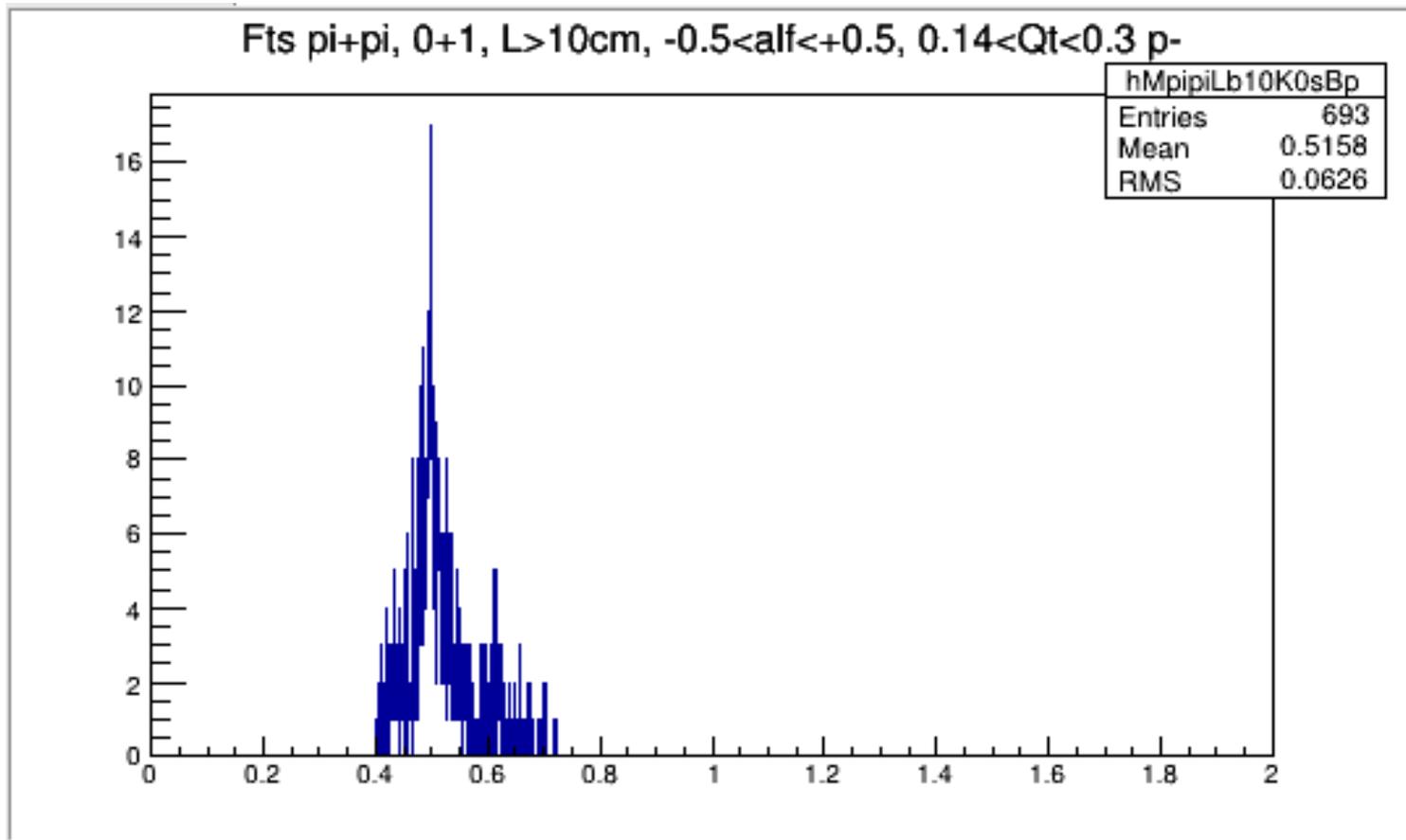
Распределение по массе пары $\pi^+ \pi^-$ для ядерных мишеней в осеннем сеансе 2021 для отрицательного пучка частиц с импульсом 28 ГэВ/с. Использован дополнительно отбор по критерию Подольянского -Арметроса-(П-А). Параметры отбора П-А указаны на рисунке вверху.

Анализ данных



Распределение по массе пары $\pi^+ \pi^-$ для ядерных мишеней в осеннем сеансе 2021 для K^- -пучка с импульсом 28 ГэВ/с.

Анализ данных



Распределение по массе пары $\pi^+ \pi^-$ для ядерных мишеней в осеннем сеансе 2021 для p^- -пучка с импульсом 28 ГэВ/с.

Планируемые статьи на 2023-2024 гг.

- **1. Экспериментальная установка СПАСЧАРМ для исследования спиновых эффектов во взаимодействии адронов при энергиях У-70.**
- **2. Выстроенность (spin alignment) и инвариантные сечения $\rho(770)$ - и $\omega(782)$ - мезонов в инклюзивном образовании при взаимодействии пионов и каонов с энергией 28 ГэВ с ядрами.**
- **3. Поляризация и инвариантные сечения Λ -гиперонов в области фрагментации пучка пионов и каонов с энергией 28 ГэВ при взаимодействии с ядрами.**
- **4. А-зависимость инвариантных сечений инклюзивно образованных K_s - мезонов на пучках пионов и каонов с энергией 28 ГэВ.**
- **5. А-зависимость инвариантных сечений инклюзивно образованных π^+ , π^- и π^0 -мезонов на пучках пионов, каонов и антипротонов с энергией 28 ГэВ.**

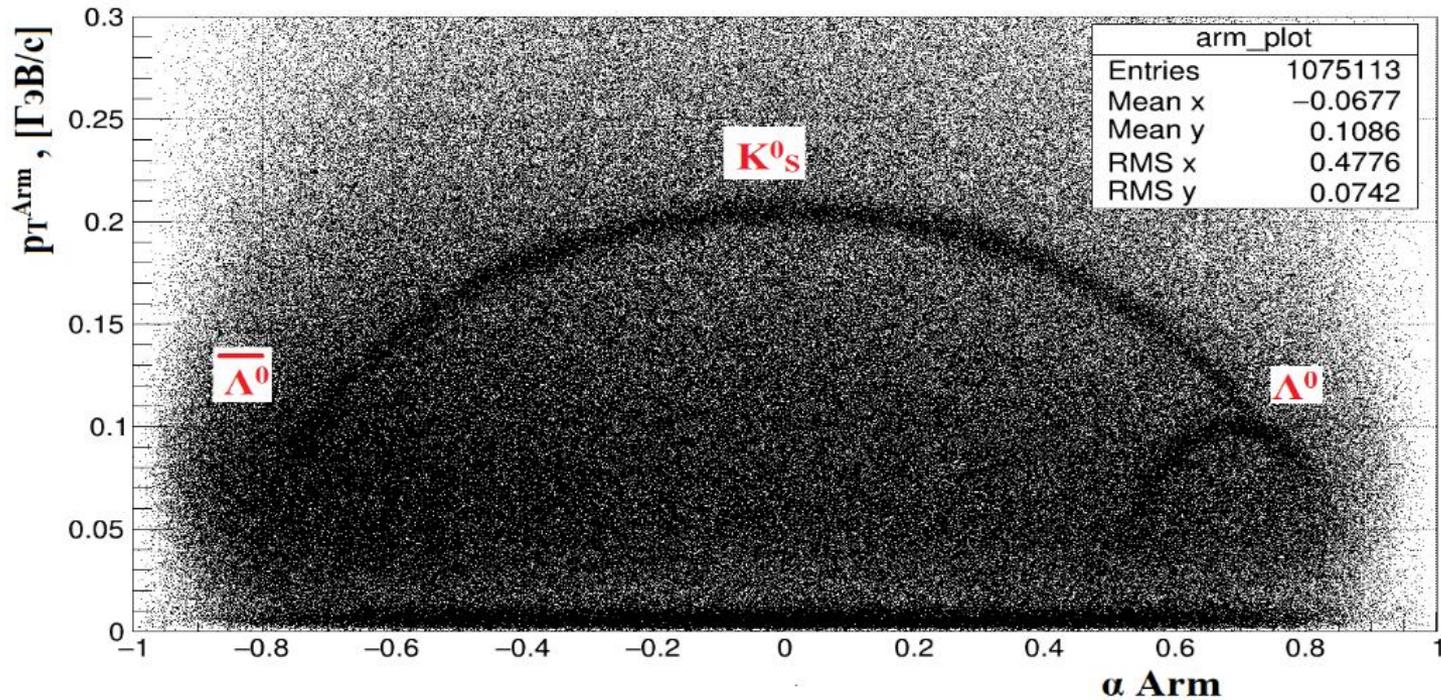
Выводы и планы

- В ИФВЭ на канале №14 синхротрона У-70 выполняется эксперимент по систематическому исследованию поляризационных явлений сильного взаимодействия в двух десятках реакций в широкой кинематической области.
- За 3 физические экспозиции набрано около 3 млрд. соб.
- Первые месяцы 2023 г. – испытания ДК и их перевозка в Протвино.
- Участие в наборе данных, моделирование и анализ в реакции рождения Λ

Спасибо за внимание!
И
С наступающим Новым годом!

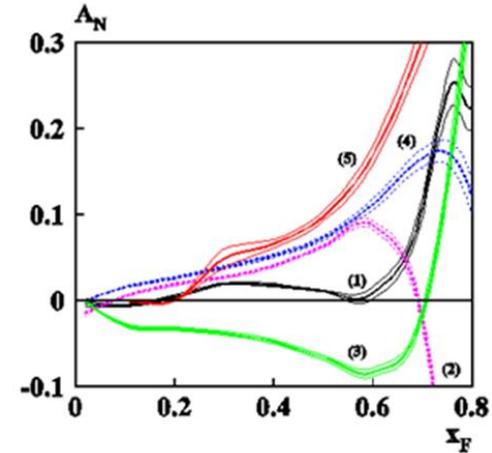
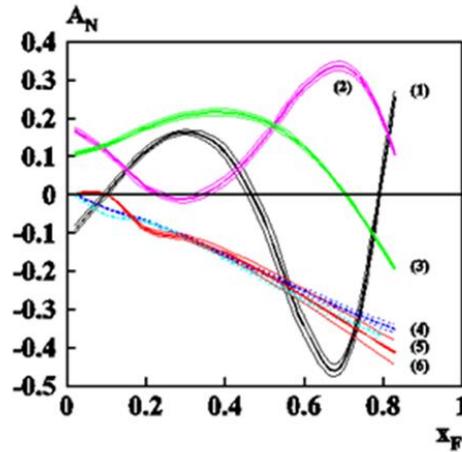
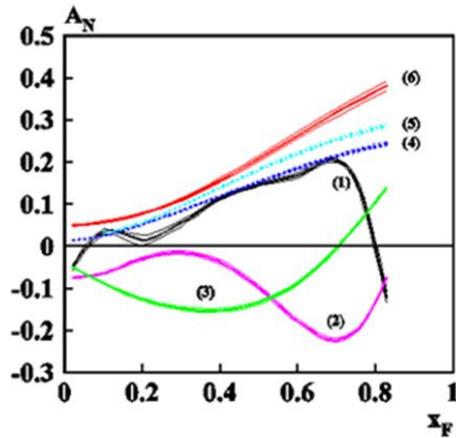
Backup

Установка СПАСЧАРМ



The Z-coordinate of the secondary vertex > 8 cm from the primary vertex
Distance between h^+ and h^- tracks < 0.6 cm
The criterion of Armenteros-Podolyansky

Некоторые предсказания



- Предсказания асимметрии для реакций
- $p \uparrow + p(A) \rightarrow \pi^+ + X$ (слева),
- $p \uparrow + p(A) \rightarrow \pi^- + X$ (в центре)
- и $p \uparrow + p(A) \rightarrow \pi^0 + X$ (справа).

Пучковая аппаратура

Состав пучка ($3 \cdot 10^6$ част./с, 28 ГэВ):

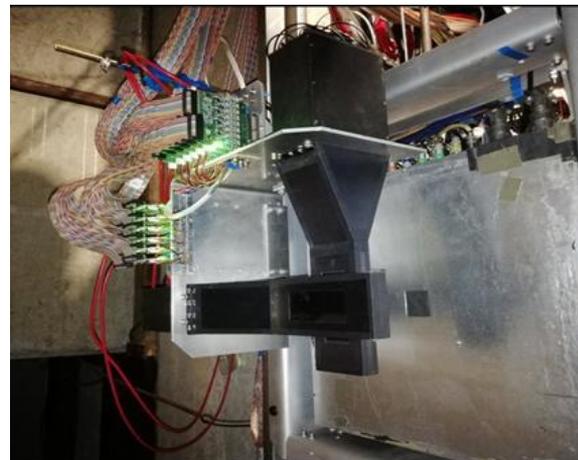
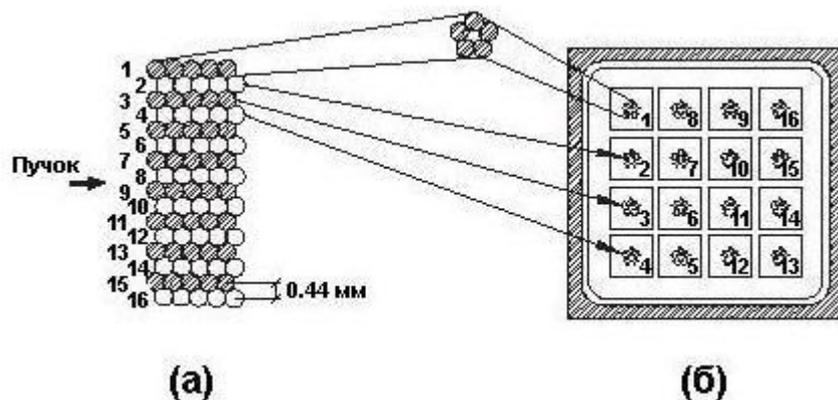
97.5% π^- , 1.45% K^- , 0.22% \bar{p} .

Пучковая аппаратура:

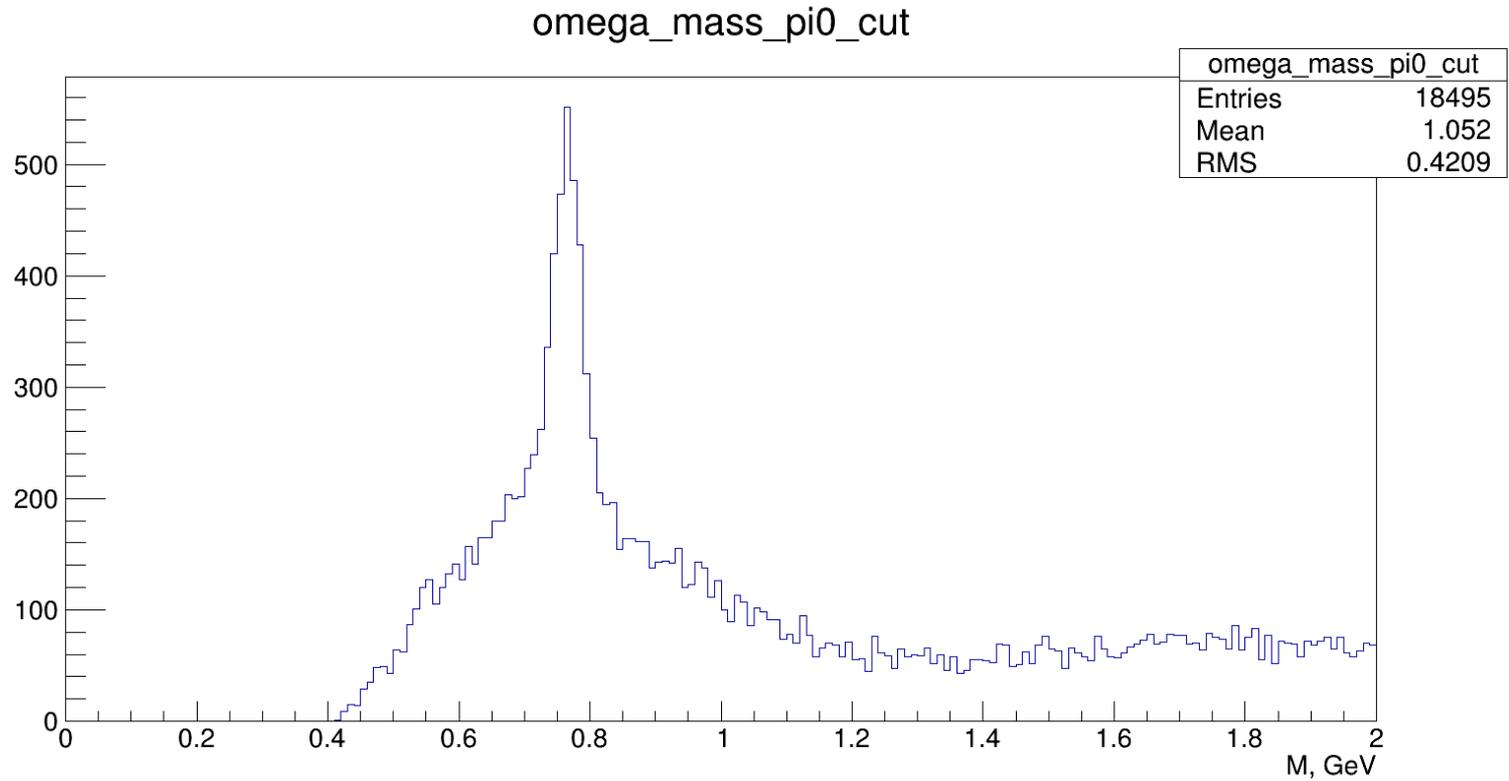
пороговые черенковские счетчики $\check{C}1$ - $\check{C}3$

- π^- любые два из $\check{C}1$ - $\check{C}3$;
- K^- $\check{C}1 \cdot \check{C}2 \cdot \check{C}3$
- p $\bar{\check{C}}1 \cdot \bar{\check{C}}2 \cdot \bar{\check{C}}3$

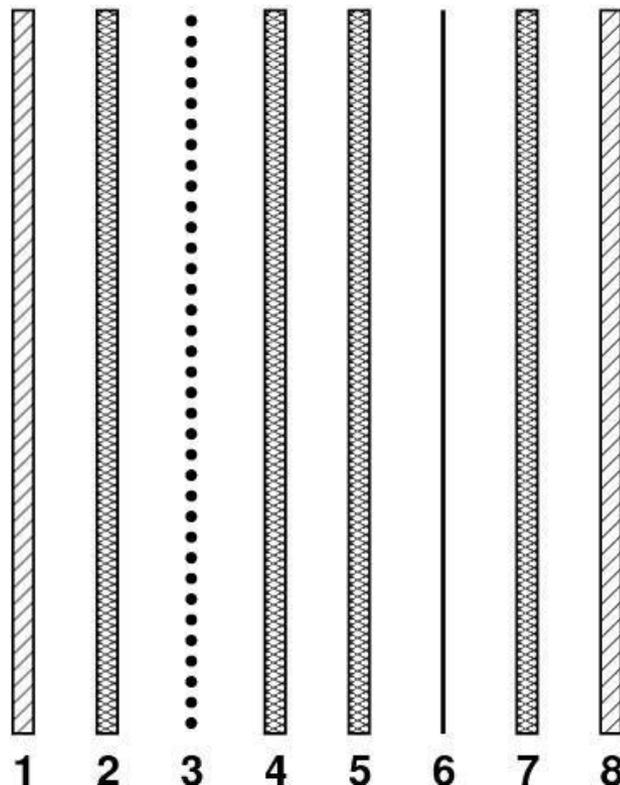
Волоконный годоскоп с разрешением **125 мкм** :



Анализ данных



Трековая система, пропкмеры



3, 6 — плоскости сигнальных проволочек,
2, 4, 5, 7 — высоковольтные электроды,
1, 8 — майларовые окна, ограничивающие газовый объем.

Набор данных

Сеанс 124 смены 16 марта – 16 апреля 2018 года

16-27 марта 46 смен Подготовка установки к набору.

27.03 – 10.04 56 смен Набор статистики на поляризованной мишени.

10.04 – 16.04 22 смены Набор статистики на углеродной мишени и «пустышке».

8 экспозиций с векторами поляризации мишени вдоль вектора магнитной индукции поля магнита мишени «+» и против «-», перекачка поляризации осуществлялась через каждые двое суток, начиная с 9:00 утра.

Набрано в весеннем сеансе 2018 года:

~800 млн. событий на поляризованной мишени

~300 млн. событий на углероде и «пустышке»

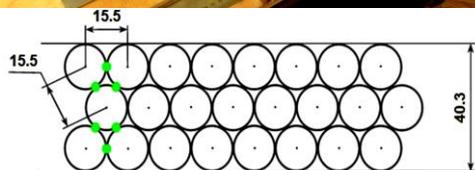
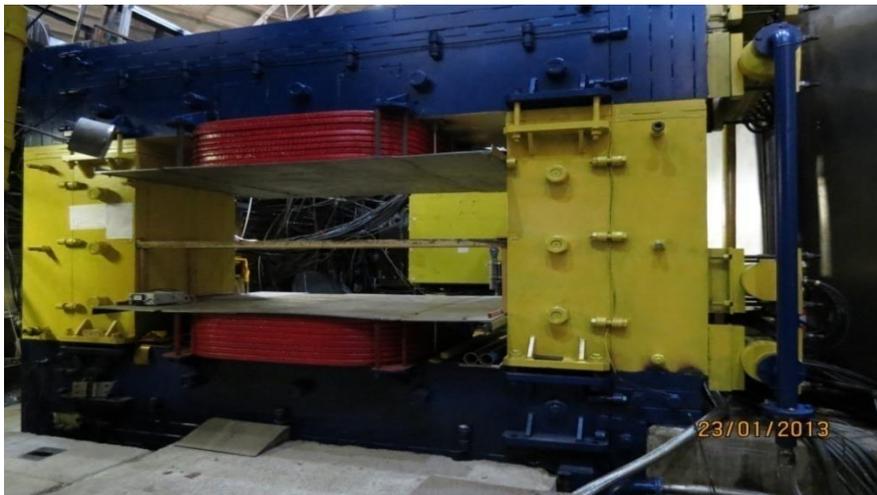
ИТОГО: 1.1 млрд. событий

Установка СПАСЧАРМ

- В наличии есть действующий электромагнитный калориметр из свинцового стекла на 720 каналов электроники. Он откалиброван на электронном пучке с энергией 19 ГэВ.
- Собран, испытан и уже отработал широко-апертурный спектрометрический магнит СПАСЧАРМ. Апертура магнита по вертикали 1 м, по горизонтали 2.3 м. Поле в центре магнита при существующем источнике питания составляет 6 кГс.
- В состав установки введен новый волоконный годоскоп с разрешением **125 мкм**. Размещен перед мишенью.
- В состав установки введены ТРИ двухкоординатные пропорциональные камеры ПИЯФ-ИТЭФ с рабочими областями 20 см х 20 см с разрешением лучше **300 мкм** (в сумме 1200 каналов). Размещены сразу после мишени.

Экспериментальная установка (I этап)

Спектрометрический магнит. Трековая система



● - место склейки



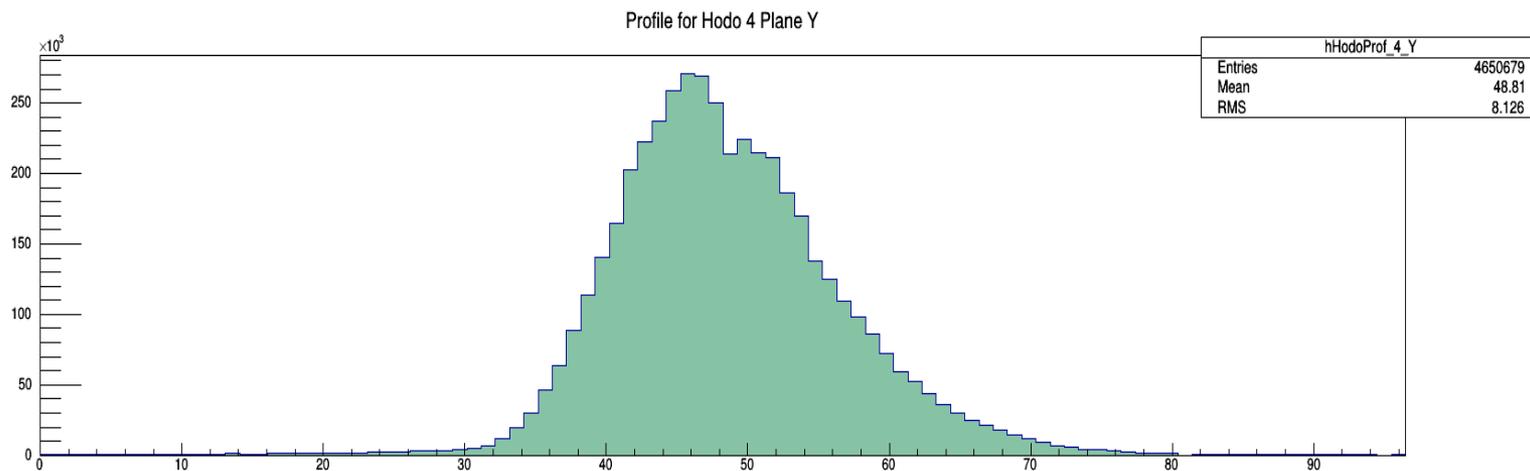
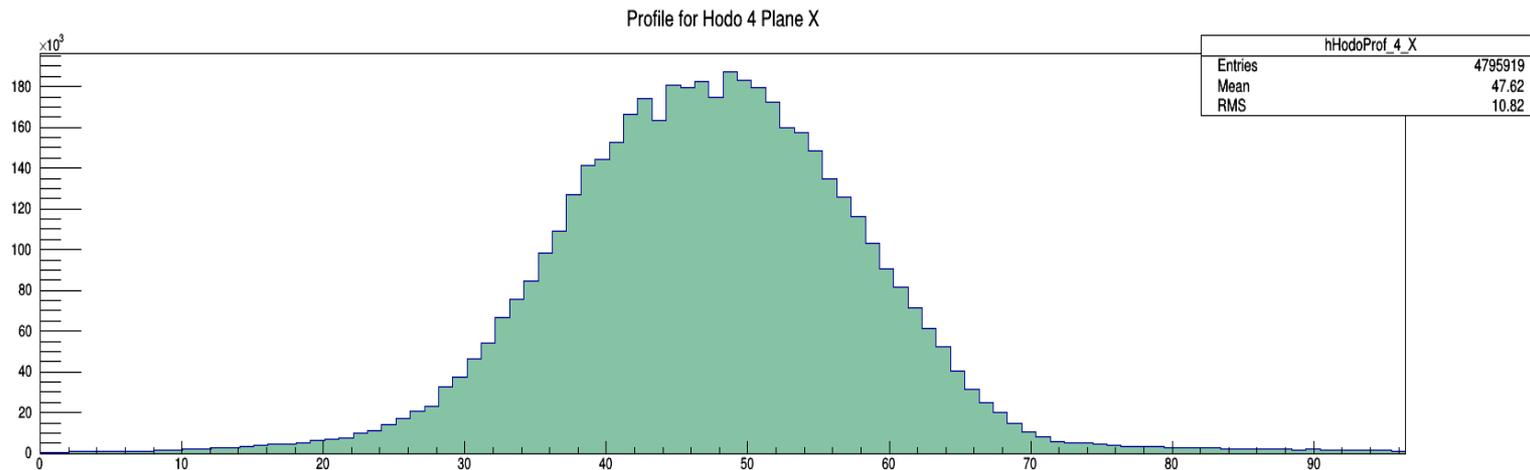
Экспериментальная установка (I этап)

Трековая система

| Имя | Расстояние от мишени, [м] | Композиция камер | Шаг проволоки (диаметр трубок), [мм] | Размер камеры, Y[см] × X[см] | Число каналов |
|------|---------------------------|------------------|--------------------------------------|------------------------------|---------------|
| DTS1 | 1,67 | X,Y,U,V | 30 | 72 × 96 | 336 |
| DTS3 | 5,29 | X,Y,U | 30 | 120 × 168 | 432 |
| DTS4 | 8,07 | X,Y,U | 30 | 192 × 240 | 672 |
| DTS5 | 9,77 | X,Y,U | 30 | 192 × 240 | 672 |
| PC1 | 0,55 | X,Y | 1 | 20 × 20 | 400 |
| PC2 | 0,63 | U,V, + 15° | 1 | 20 × 20 | 400 |
| PC3 | 0,68 | U,V, - 15° | 1 | 20 × 20 | 400 |
| DTS0 | 1,00 | U,V,X,Y | 15 | 48 × 48 | 384 |

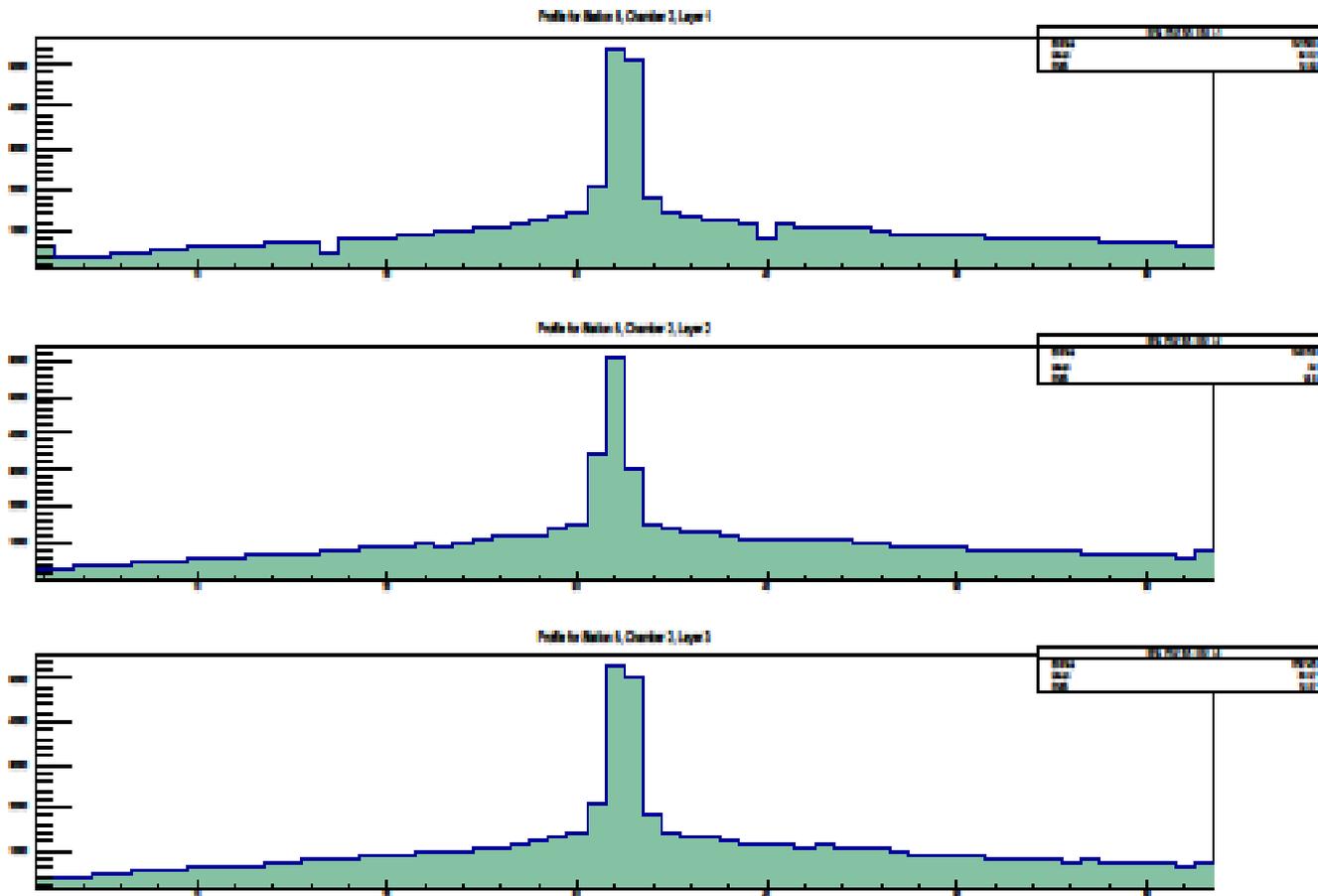
Экспериментальная установка (I этап)

Профили пучка на волоконном годоскопе



Экспериментальная установка (I этап)

Распределение по X сработавших проволочек на станции дрейфовых трубок №5



Набор данных

Сеанс 124 смены 16 марта – 16 апреля 2018 года

16-27 марта 46 смен Подготовка установки к набору.

27.03 – 10.04 56 смен Набор статистики на поляризованной мишени.

10.04 – 16.04 22 смены Набор статистики на углеродной мишени и «пустышке».

8 экспозиций с векторами поляризации мишени вдоль вектора магнитной индукции поля магнита мишени «+» и против «-», перекачка поляризации осуществлялась через каждые двое суток, начиная с 9:00 утра.

Набрано в весеннем сеансе 2018 года:

~800 млн. событий на поляризованной мишени

~300 млн. событий на углероде и «пустышке»

ИТОГО: 1.1 млрд. событий

Поляризованная мишень



- ***Target material:*** pentanol $C_5H_{12}O$ with TEMPO radical
- ***Polarization value:*** up to **75%**
- ***Dilution factor*** **7.3**
- ***Target dimensions:*** length **200 mm**, diameter **18 mm**
- ***Target thickness:*** **13.2 g/cm²** which is **~10% of interaction length** for 28 GeV pions and **~15%** - for 50 GeV protons

Polarized target operates at extremely low temperature achieved by dilution of He₃ in He₄:

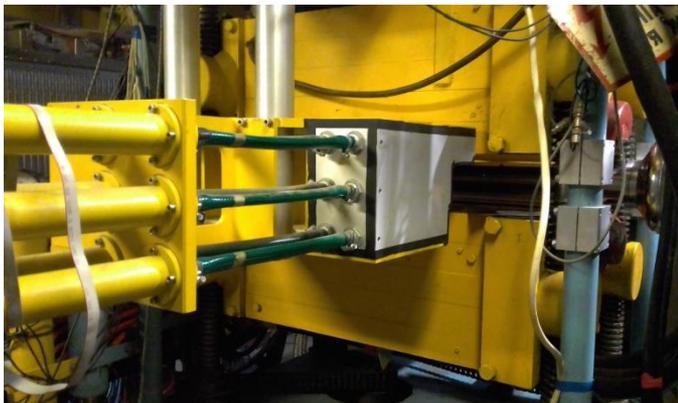
- ***The RF-pumping*** of polarization takes place in **2.4 T** magnetic field at RF-frequency of **~70 GHz** at the temperature of **~ 100 mK**
- ***Polarization decay time is*** **~1000-2000 hours** in **0.4 T** magnetic field at the temperature of **30-40 mK**- ***Polarization reversal:*** every 1-2 days



Изучение эксклюзивных реакций

- Ожидается увеличение статистики примерно на порядок в реакциях $\pi^- p \rightarrow \omega(782)n$ и $\pi^- p \rightarrow \eta'(958)n$, а также в 3-4 раза в реакциях $\pi^- p \rightarrow f_2(1270)n$ и $\pi^- p \rightarrow a_2(1320)n$.
- Впервые будет измерена асимметрия в реакции $\pi^- p \rightarrow a_0(980)n$, когда $a_0(980)$ распадается на $\eta(550)$ и π^0 . (ожидается эффект более 50%).
- Данные по эксклюзивным реакциям будут набираться параллельно с данными по инклюзивным реакциям.

Вето («охранная») система



Veto detector for charged particles and γ -quants

- Scintillator-Lead sandwich of the thickness $\sim 5X_0$
- Light-collection, using 1 mm wave-shifting fibers BFC-91AMC
- Photodetectors: photomultipliers ФЭУ-84.
- Total number of channels: 12

Usage:

- Trigger and/or offline veto for elastic, quasi-elastic and some other exclusive processes
- The veto system has shown its usefulness for the better selection of events within the target rather than in surrounding materials

Ожидаемые результаты

Ожидаемые результаты весеннего сеанса: односпиновые асимметрии в области фейнмановской переменной $x_F > 0.3$ и поперечного импульса $p_T > 0.5$ ГэВ/с в реакциях

- $\pi^- + p_{\uparrow} \rightarrow \pi^- X$
- $\pi^- + p_{\uparrow} \rightarrow \pi^+ X$
- $\pi^- + p_{\uparrow} \rightarrow \pi^0 X$
- $\pi^- + p_{\uparrow} \rightarrow \rho(\pi^- \pi^+) X$
- $\pi^- + p_{\uparrow} \rightarrow \omega(\pi^- \pi^+ \pi^0) X$ и т.д.

Началась обработка данных.

Физические задачи эксперимента с поляризованной мишенью (2018-...)

- Измерение односпиновой асимметрии и некоторых резонансов, которые распадаются на пионы ($\rho \rightarrow \pi^+\pi^-$, $\omega \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$, $\eta'(958)$, $f_0(980)$, $a_0(980)$, $f_2(1270)$) в области фрагментации пионного пучка на поляризованной протонной мишени
- Детальное исследование различных поляризационных эффектов в инклюзивных процессах образования частиц и резонансов, состоящих из легких u , d и s -кварков.
- Основной задачей проекта на первом этапе является детальное исследование поляризационных эффектов в инклюзивных процессах. Эксперименты с использованием мезонных пучков обнаружили отличную от нуля односпиновую асимметрию, как в центральной области, так и в области фрагментации пучка.

Формула вычисления односпиновой асимметрии

Односпиновая асимметрия определяется как

$$A_N^H(x_f, p_t) = \frac{1}{P_{target}} \frac{1}{\langle \cos\phi \rangle} \cdot \frac{\sigma_{\uparrow}^H(x_f, p_t) - \sigma_{\downarrow}^H(x_f, p_t)}{\sigma_{\uparrow}^H(x_f, p_t) + \sigma_{\downarrow}^H(x_f, p_t)}$$

P_{target} – средняя поляризация мишени;

ϕ – азимутальный угол;

(При малых углах ϕ считается, что все вторичные частицы вылетают под азимутальным углом 0°).

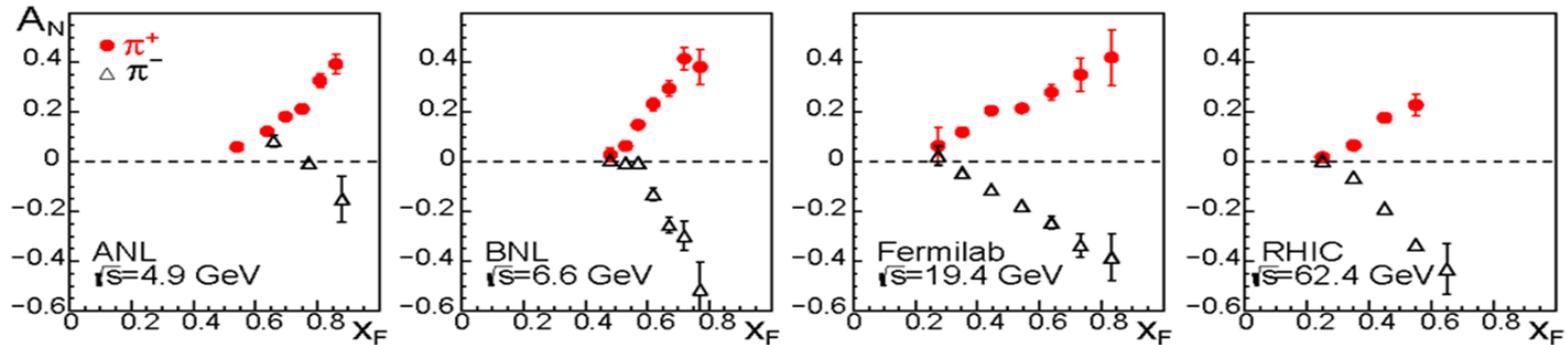
Измеряемая асимметрия

$$A_N = \frac{D(x_f, p_t)}{P_{target}} \cdot A_N^{raw}(x_f, p_t) = \frac{D(x_f, p_t)}{P_{target}} \cdot \frac{n_{\uparrow}(x_f, p_t) - n_{\downarrow}(x_f, p_t)}{n_{\uparrow}(x_f, p_t) + n_{\downarrow}(x_f, p_t)}$$

D - фактор разбавления мишени (отношение числа взаимодействий на всей мишени к числу взаимодействий на водороде)

Исследование односпиновой асимметрии (I этап)

Мотивация проведения исследований



Асимметрия инклюзивного образования практически не зависит от энергии

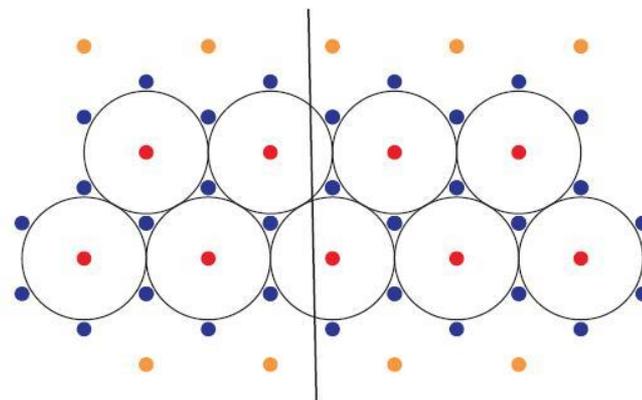
На первое место в поляризационных исследованиях уже выходит не энергия, а систематическое исследование и анализ данных большого числа различных реакций.

Drift Chamber

- ✧ Точность позиции горизонтали 30 мкм
- ✧ Точность позиции по вертикали 60 мкм
- ✧ Усредненная точность 32 мкм
- ✧ Размер рабочей области ~ 1,2*2,4 м²

- ✧ Гексагональная структура ДК
- ✧ Радиус ячейки 10 мм
- ✧ Расстояние между сигнальными проволочками ~ 17 мм

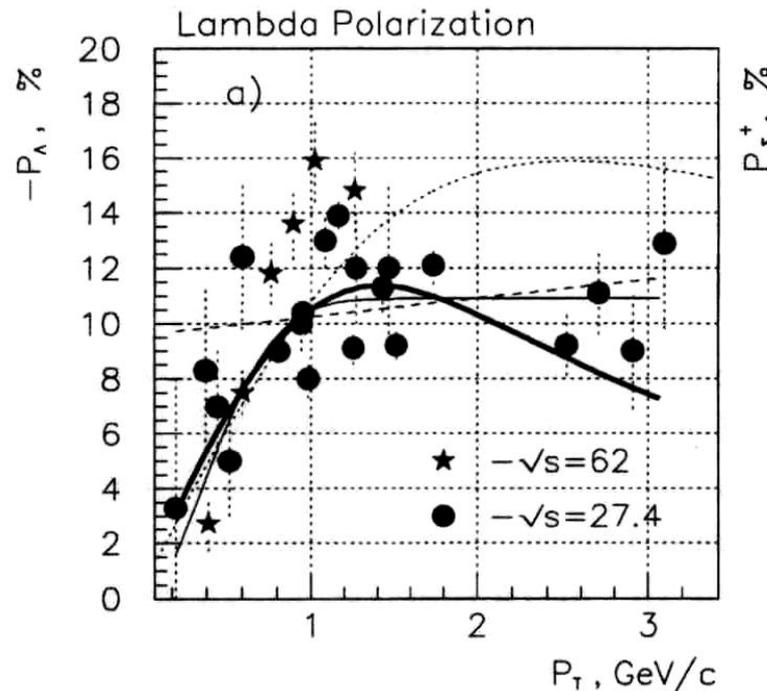
**Разрешение ~ 0,2 мм
(ИТЭФ, Бонн)**



Зависимость поляризации гиперона от p_T

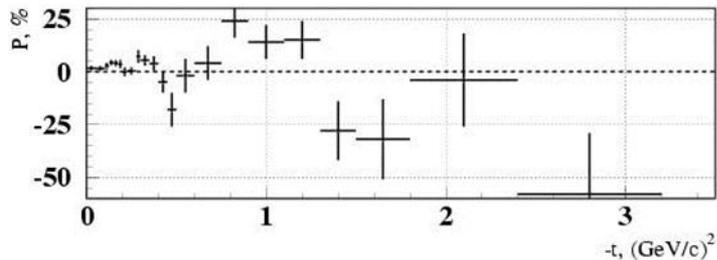
$$P \sim (|F_{sf}| / |F_{nf}|) \sin \alpha$$

- Амплитуда с переворотом спина F_{sf} должна уменьшаться при $p_T \rightarrow 0$ как p_T , согласно сохранению полного углового момента, в то время как такого ограничения не существует для амплитуды без переворота спина F_{nf} .

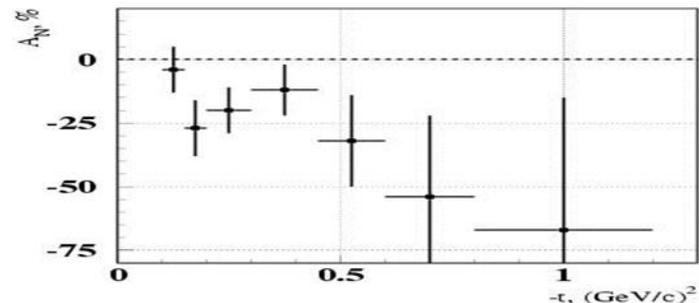


Изучение эксклюзивных реакций

- Измерение в эксклюзивных реакциях с регистрацией заряженных частиц. На установке ПРОЗА (ИФВЭ) в нескольких реакциях с фотонами в конечном состоянии были получены значительные асимметрии, достигающие до 30-40%, и осцилляции.



Асимметрия в реакции $\pi p \gamma \rightarrow \omega(782)n$ при энергии 40 ГэВ, когда $\omega(782)$ -мезон регистрировался в моде распада на π^0 и γ .



Асимметрия в реакции $\pi p \gamma \rightarrow \eta'(958)n$ при энергии 40 ГэВ, когда $\eta'(958)$ -мезон регистрировался в моде распада на два γ -кванта

Мотивация проведения исследований

Измерение поперечных поляризаций P_N гиперонов и антигиперонов;

статистическая точность для большинства реакций будет не хуже 0.5%, а для реакции $K^-p \rightarrow \Sigma^- X$ она составит 8%.

Измерение (впервые) параметров Волфенштейна (передачи спина) - D, R, A, R' и A'

Измерение элементов матрицы плотности ρ_{ik} векторных мезонов:

Ранее столь масштабных исследований спиновых эффектов (ρ_{ik}, A_N и α) для векторных мезонов не планировалось.

Продолжение измерений односпиновой асимметрии, инклюзивных и эксклюзивных каналов.

Физические задачи эксперимента с поляризованной мишенью (2018-2022)

- Измерение односпиновой асимметрии и некоторых резонансов, которые распадаются на пионы ($\rho \rightarrow \pi^+\pi^-$, $\omega \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$, $\eta'(958)$, $f_0(980)$, $a_0(980)$, $f_2(1270)$) в области фрагментации пионного пучка на поляризованной протонной мишени
- Детальное исследование различных поляризационных эффектов в инклюзивных процессах образования частиц и резонансов, состоящих из легких u , d и s -кварков.
- Основной задачей проекта на первом этапе является детальное исследование поляризационных эффектов в инклюзивных процессах. Эксперименты с использованием мезонных пучков обнаружили отличную от нуля односпиновую асимметрию, как в центральной области, так и в области фрагментации пучка.

Предполагаемое усиление сотрудничества СПАСЧАРМ

ОИЯИ – новые группы - интерпретация и анализ данных

МИФИ – новая группа по разработке электроники для GEM.

ИЯФ (Новосибирск) – сибирская змейка и Черенковский счетчик

ПИЯФ – трековые детекторы

Интерес высказали: группы экспериментов COMPASS

(Университет Триеста - Bradamante, Карлов Университет - Finger)

и PANDA (немецкие группы, включая группу PWA-анализа – Майнц)

Преимущества СПАСЧАРМ

Широкая физическая программа и систематические исследования явления поляризации

Разнообразие пучков: поляризованные пучки протонов и антипротонов, неполяризованные π^\pm , K^\pm , p , p -bar, d , C .

Исследование десятков реакций одновременно.

Поперечно и продольно поляризованные и ядерные мишени.

Множество изучаемых поляризационных величин: A_N , P_N , A_{NN} , A_{LL} , D_{NN} , ρ_{ik} , ...

Полное покрытие азимутальных углов для снижения систематических ошибок, большой кинематический диапазон

Идентификация вторичных частиц, и заряженных, и нейтральных, например γ , π^0 , π^\pm , K^\pm , p , p -bar, d .

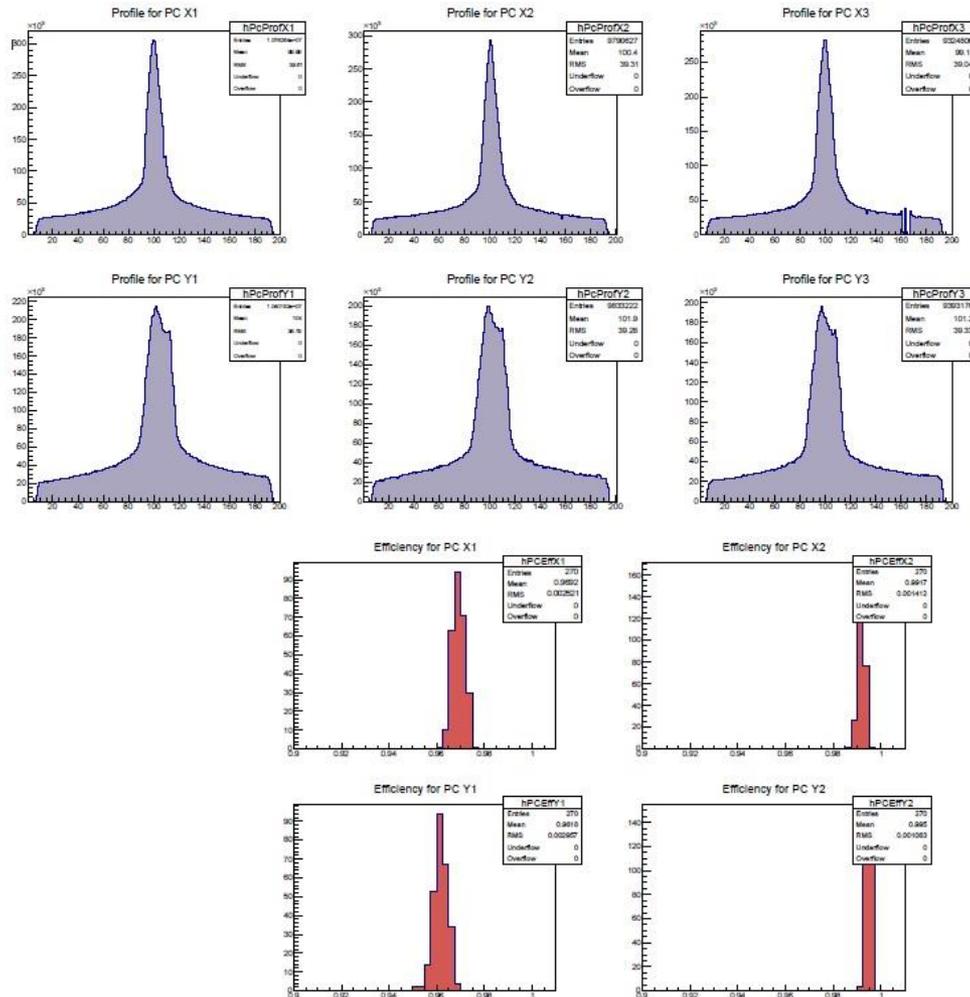
Использование спин-ротатора для получения поперечно- и продольно поляризованных пучков и уменьшения систематики.

Система сбора данных, быстро собирающая большой объем информации.

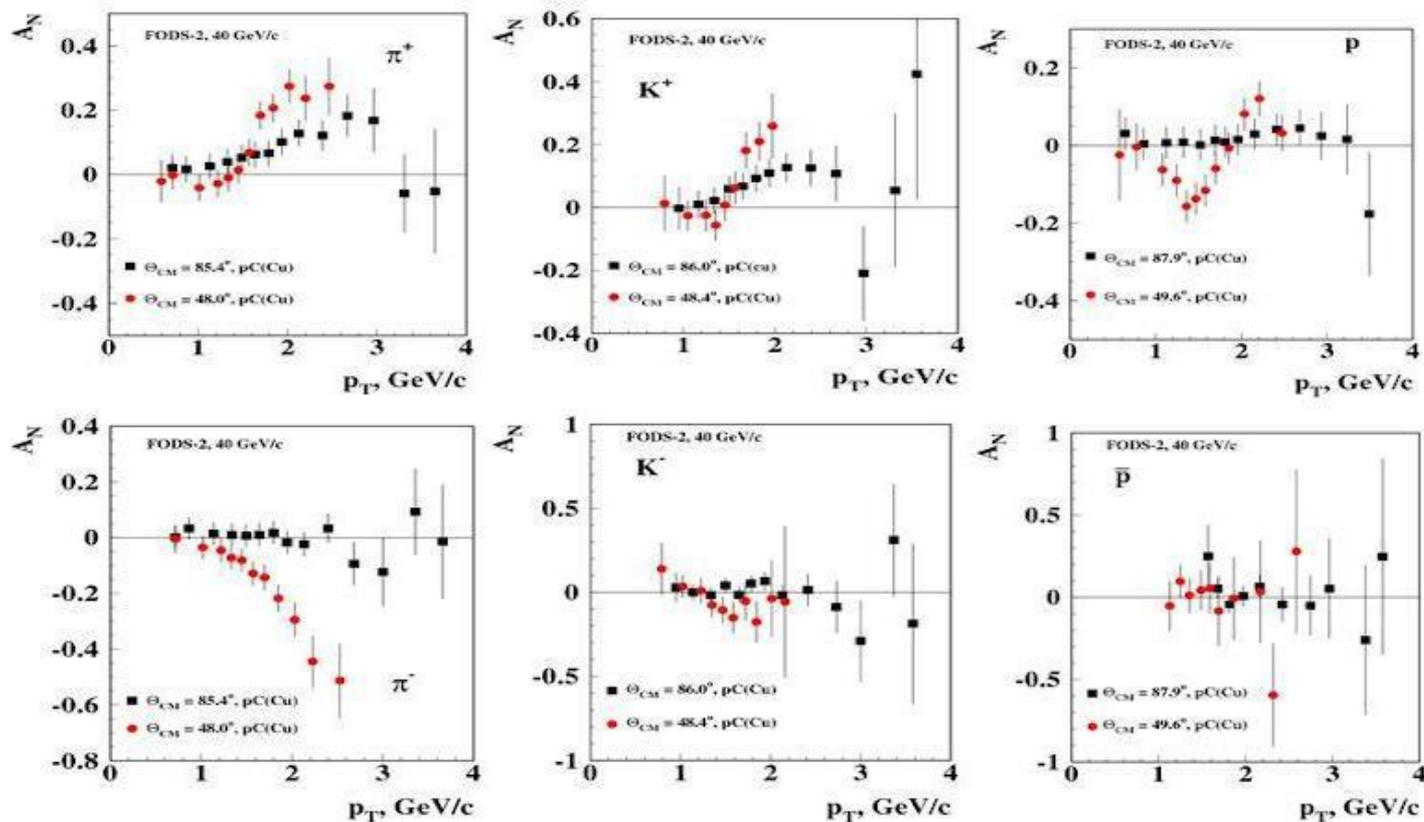
Выводы

➤ Важным элементом дальнейших исследований представляется создание пучка поляризованных протонов и антипротонов. В эксперименте СПАСЧАРМ, на канале 24А, будет изучаться взаимодействие поляризованных протонных и антипротонных пучков с протонной, либо с ядерными мишенями. Импульс поляризованного пучка может варьироваться в диапазоне 10-45 ГэВ/с, а поперечная поляризация пучка составит 40-45%. Неполяризованные пучки могут иметь импульс от 10 до 60 ГэВ/с.

Профили пучка и эффективность плоскостей ПК



Мотивация проведения исследований



Планируемая статистика

Задачи СПАСЧАРМ на канале 14 в целом (инклюзив)

| <i>Final state</i> | N_{EVENTS} |
|---|------------------|
| π^+ | $4.2 \cdot 10^9$ |
| π^- | $8.7 \cdot 10^9$ |
| $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ | $4.3 \cdot 10^9$ |
| $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ | $4.3 \cdot 10^9$ |
| $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ | $4.2 \cdot 10^8$ |
| $\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta$ | $8.3 \cdot 10^5$ |
| $K^0_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$ | $1.3 \cdot 10^7$ |
| $\rho^0(770) \rightarrow \pi^+ \pi^-$ | $4.2 \cdot 10^8$ |
| $\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ | $5.3 \cdot 10^6$ |
| $\omega(782) \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ | $3.5 \cdot 10^7$ |
| $\omega(782) \rightarrow \gamma \pi^0$ | $3.8 \cdot 10^7$ |
| $\rho^+(770) \rightarrow \pi^+ \pi^0$ | $2.9 \cdot 10^8$ |
| $\rho^-(770) \rightarrow \pi^- \pi^0$ | $7.5 \cdot 10^8$ |
| $K^0_S \rightarrow \pi^0 \pi^0$ | $1.7 \cdot 10^7$ |
| $a_0(980) \rightarrow \eta \pi^0$ | $1.8 \cdot 10^7$ |
| $\omega(782) \rightarrow e^+ e^-$ | $1.7 \cdot 10^5$ |

| <i>Final state</i> | N_{EVENTS} |
|---|------------------|
| K^+ | $6.7 \cdot 10^8$ |
| K^- | $9.0 \cdot 10^8$ |
| p | $9.2 \cdot 10^7$ |
| \tilde{p} | $2.6 \cdot 10^8$ |
| $K^{0*}(892) \rightarrow K^+ \pi^-$ | $1.1 \cdot 10^8$ |
| $\tilde{K}^{0*}(892) \rightarrow K^- \pi^+$ | $4.3 \cdot 10^7$ |
| $K^{+*}(892) \rightarrow K^+ \pi^0$ | $1.9 \cdot 10^7$ |
| $\tilde{K}^{-*}(892) \rightarrow K^- \pi^0$ | $3.8 \cdot 10^7$ |
| $\phi(1020) \rightarrow K^+ K^-$ | $4.3 \cdot 10^6$ |
| $\Lambda \rightarrow p \pi^-$ | $1.4 \cdot 10^6$ |
| $\tilde{\Lambda} \rightarrow \tilde{p} \pi^+$ | $1.1 \cdot 10^6$ |
| $\Delta^{++} \rightarrow p \pi^+$ | $9.3 \cdot 10^6$ |
| $\Delta^{--} \rightarrow \tilde{p} \pi^-$ | $2.5 \cdot 10^7$ |
| $\Xi^- \rightarrow \Lambda \pi^-$ | $1.9 \cdot 10^6$ |
| $\tilde{\Xi}^+ \rightarrow \tilde{\Lambda} \pi^+$ | $1.6 \cdot 10^6$ |
| $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda \gamma$ | $1.2 \cdot 10^6$ |
| $\Sigma^0(1385) \rightarrow \Lambda \pi^0$ | $3.9 \cdot 10^6$ |

Исследование поляризации гиперонов

Зависимость поляризации гиперона от x_F

$$P_{\Lambda} = -A \cdot (x_F, p_T) \cdot p_T, \quad A(x_F, p_T) = f(x_F) \cdot g(x_F, p_T)$$

- предсказывается почти линейная зависимость поляризации Λ -гиперонов от x_F с небольшими поправками на более высокие степени x_F и p_T .

