

ЭКСПЕРИМЕНТ СПАСЧАРМ
ИССЛЕДОВАНИЕ СПИНОВЫХ ЭФФЕКТОВ
НА УСКОРИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ У-70
ИФВЭ (Протвино)

Зимняя Сессия УС ОФВЭ
НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ (Гатчина)
28.12.2023

ПЛАН ДОКЛАДА

- Цели и задачи эксперимента
 - Спиновая структура протона
 - Односпиновые и двухспиновые асимметрии
 - Поляризация гиперонов и выстроенность векторных мезонов
- Статус эксперимента
- Участие ПИЯФ в эксперименте
- Первые результаты: А-зависимость инклюзивного рождения K_s^0 -мезонов
- Поляризация гиперонов

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ ЭКСПЕРИМЕНТА

ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И АТОМНОГО ЯДРА
2023. Т.54, вып. 1. С. 6–189

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ ЭКСПЕРИМЕНТА СПАСЧАРМ

В. В. Абрамов¹, И. Л. Ажгирей¹, А. А. Борисов¹,
С. И. Букреева¹, А. Н. Васильев^{1,2}, В. И. Гаркуша¹,
Ю. М. Гончаренко¹, А. М. Горин¹, А. А. Дерезицкий¹,
В. Н. Запольский¹, А. Н. Исаев¹, Н. К. Калугин¹,
В. А. Качанов¹, А. С. Кожин¹, А. К. Лиходед¹,
А. В. Лучинский¹, Е. В. Маслова¹, В. А. Машиев¹,
Ю. М. Мельник¹, А. П. Мещанин¹, Н. Г. Минаев¹,
В. В. Моисеев¹, Д. А. Морозов¹, В. В. Мочалов^{1,2,*},
К. Д. Новиков¹, Л. В. Ногац¹, С. В. Пославский¹,
А. Ф. Прудкогляд¹, С. В. Рыжиков¹, В. И. Рыкалин¹,
А. Д. Рябов¹, Т. Д. Рябова¹, А. В. Рязанцев¹,
П. А. Семенов^{1,2}, В. А. Сенько¹, С. Р. Слабоспицкий¹,
М. М. Солдатов¹, Л. Ф. Соловьев¹, А. В. Узуния¹,
Р. М. Фахрутдинов¹, Н. А. Шаланда¹, В. И. Якимчук¹,
А. Е. Якутин¹, Н. А. Бажанов³, Д. В. Белов³,
Н. С. Борисов³, В. П. Вольных³, С. В. Голоскоков³,
И. С. Городнов³, А. С. Должиков³, А. Б. Лазарев³,
А. Б. Неганов³, Ю. А. Плис³, О. В. Теряев³,
А. Н. Федоров³, Ю. Н. Узиков^{3,4}, Ю. А. Усов³,
А. А. Богданов², М. Б. Нурушева², В. А. Окорок²,
В. Л. Рыков², М. Н. Стриханов², И. Г. Алексеев⁵,
В. М. Нестеров⁵, В. В. Рыльцов⁵, Э. И. Самигуллин⁵,
Д. Н. Свирида⁵, В. А. Андреев⁶, А. Б. Гриднев⁶,
Н. Г. Козленко⁶, В. С. Козлов⁶, В. А. Кузнецов⁶,
Д. В. Новинский⁶, В. И. Тараканов⁶, В. С. Темирбулатов⁶,
И. А. Цураков⁶, В. И. Криворучко⁷
(коллораация СПАСЧАРМ)

¹ Институт физики высоких энергий им. А. А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Протвино, Россия

² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

* E-mail: mochalov@hep.ru

ISSN 1063-7796, Physics of Particles and Nuclei, 2023, Vol. 54, No. 1, pp. 69–186. © Pleiades Publishing, Ltd., 2023.
Barnes Text © The Author(s), 2023, published in Fizika Elementarnykh Chastits (Atomnaya Yadra), 2023, Vol. 54, No. 1.

Dedicated to the memory
of Professors S.B. Nurushv 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. Derezhitskiy^a, V. N. Zapolskiy^a, A. N. Isaev^a,
N. K. Kalugin^a, V. A. Kachanov^a, A. S. Kozhin^a, A. K. Likhoded^a, A. V. Luchinskiy^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. Poslaviyskiy^a, A. F. Prudkoglyad^a,
S. V. Ryzhikov^a, V. I. Rykalin^a, A. D. Ryabov^a, T. D. Ryabova^a, A. V. Ryzantsev^a, P. A. Semenov^{a, c},
V. A. Senko^a, S. R. Slabospitskiy^a, M. M. Soldatov^a, L. F. Solovyov^a, A. V. Uzunyan^a,
R. M. Fakhrutdinov^a, N. A. Shalanda^a, V. I. Yakimchuk^a, A. E. Yakutin^a, N. A. Bazhanov^a, D. V. Belov^a,
N. S. Borisov^a, V. P. Volnykh^a, S. V. Goloskokov^a, I. S. Gorodnov^a, A. S. Dolzhikov^a, A. B. Lazarev^a,
A. B. Neganov^a, Yu. A. Plis^a, O. V. Teryaev^a, A. N. Fedorov^a, Yu. N. Uzikov^{a, d}, Yu. A. Usov^a,
A. A. Bogdanov^a, M. B. Nurushva^a, V. A. Okorokov^a, V. L. Rykov^a, M. N. Strikhanov^a, I. G. Alekseev^a,
V. M. Nesterov^a, V. V. Ryltsov^a, E. I. Samigullin^a, D. N. Svirida^a, V. A. Andreev^a, A. B. Gridnev^a,
N. G. Kozlenko^a, V. S. Kozlov^a, V. A. Kuznetsov^a, D. V. Novinskiy^a, V. I. Tarakanov^a, V. S. Temirbulatov^a,
I. A. Tsurakov^a, and V. I. Krivoruchko^a (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, (KKTFF), Moscow, 117218 Russia

^e B.P. Konstantinov Petersburg Institute of Nuclear Physics, Kurchatov Institute, National Research Center,
St. Petersburg, Leningrad oblast, 188200 Russia

^f Shokhta Scientific and Production Enterprise ISTOK, St. Petersburg, Moscow oblast, 141190 Russia

^g Dubna State University, Dubna, Moscow oblast, 141982 Russia

* e-mail: mochalov@hep.ru

Received June 22, 2022; revised July 27, 2022; accepted August 14, 2022

Abstract—The SPASCHARM experiment is aimed at a systematic study of the nucleon spin structure and the spin dependence of the strong interaction of antimatter and matter with matter at energies up to 45 GeV. As part of the first stage of the experiment, the study of the spin properties of hadrons will take place in a beam of negatively charged hadrons on existing beamline 14 at the operating SPASCHARM setup at the U70 facility. At the second stage, the production of polarized beams of protons and antiprotons is envisaged in beamline 24A of the U-70 accelerator facility. A polarized antiproton beam will certainly become a unique beam in the world. It is planned to measure single-spin asymmetries in dozens of reactions, both on hydrogen and on various nuclei. At the SPASCHARM facility, it is also possible to measure the transverse polarization of hyperons and elements of the spin density matrix of vector mesons. The spin structure of the nucleon will be investigated in the study of quarkonium production to determine the contribution of gluons to the proton spin. The presence of two types of polarized beams and eight types of nonpolarized beams (π^{\pm} , K^{\pm} , p , \bar{p} , d , \bar{d}), in combination with a polarized target, expands the range of studies of polarization phenomena and enhances the uniqueness of the project.

DOI: 10.1134/S1063779623010021

TABLE OF CONTENTS
EXECUTIVE SUMMARY @
INTRODUCTION @

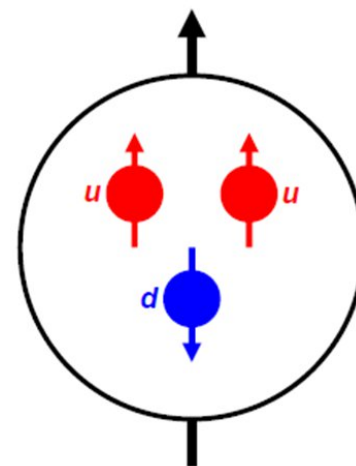
I. SPASCHARM PHYSICAL PROGRAM @
1.1. Investigation of Spin Effects
in the Production of Quarkonium @

ФИЗИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТА СПАСЧАРМ

- **Одно-спиновые асимметрии:** систематическое исследование инклюзивных, эксклюзивных и упругих реакций в рождении частиц, состоящих из легких кварков (u, d, s)
- **Поляризация (выстроенность)** в процессах рождения гиперонов и векторных мезонов
- **Двухспиновая асимметрия A_{LL}** в рождении чармония для изучения вклада глюонов в спин протона $\Delta G/G(x)$ при больших x_F
- Изучение зависимости от кинематических параметров ($0 < x_F < 1$, $0 < p_T < 2.5$, $12 < E_{\text{Beam}} < 50$ GeV), сорта частиц пучка, множественности, **атомного номера** с высокой точностью благодаря полному азимутальному углу и большой апертуре

ПРОТОН

- В наивной кварковой модели протон состоит из трех кварков - 2 u кварка (заряд = +2/3) и 1 d кварк (заряд = -1/3)
- Ожидалось, что спин протона определяется суммой спинов кварков



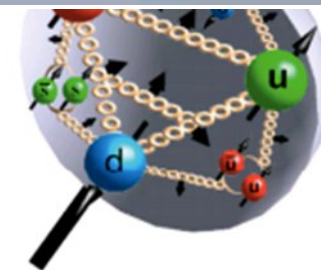
$$\Delta\Sigma = 0.30 \pm 0.01 \pm 0.02$$

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{2}\Delta\Sigma + \Delta G + \langle L_{q,g} \rangle$$

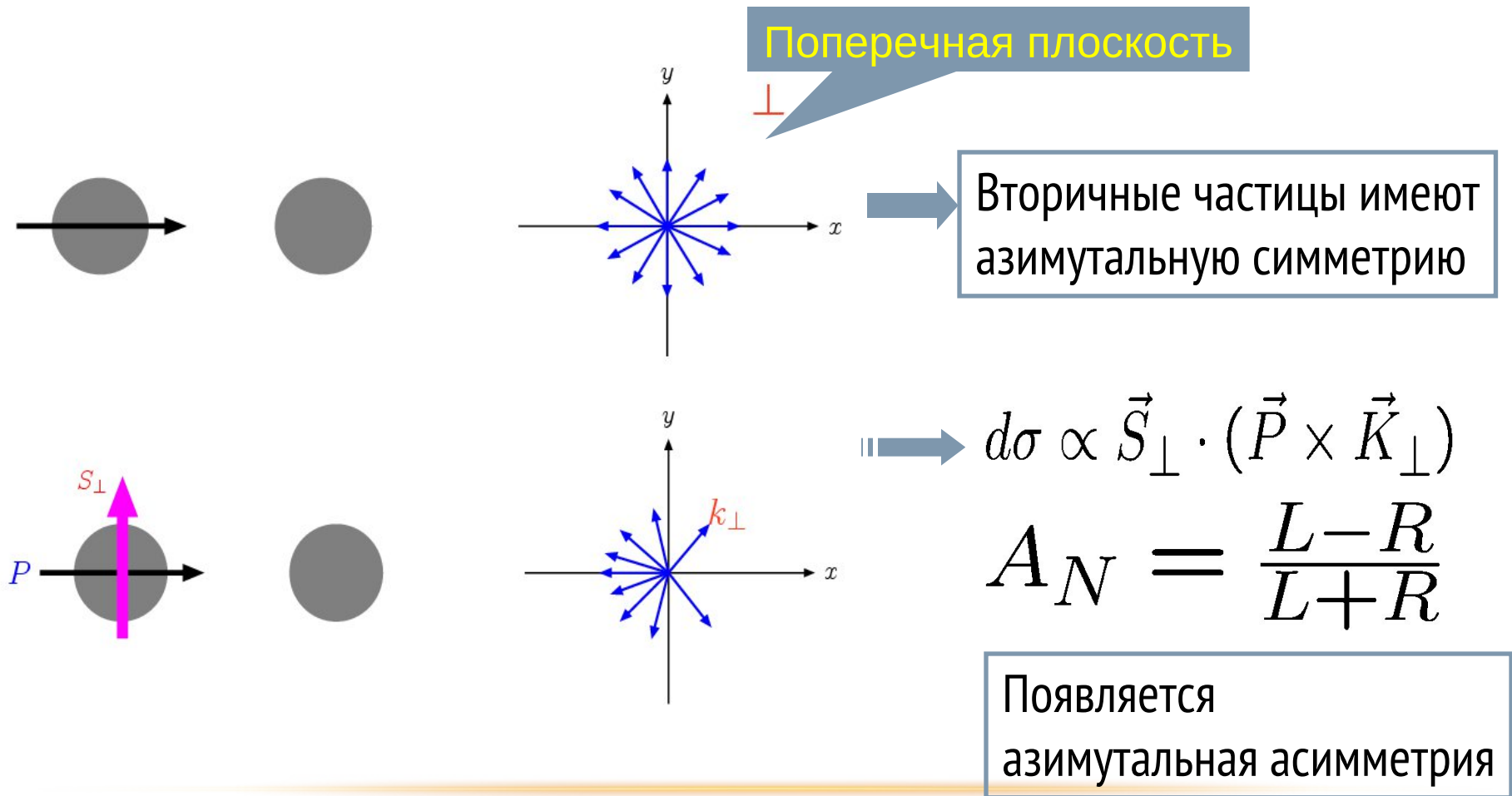
**Quark spin,
(~30%)-DIS**

**Gluon spin,
RHIC**

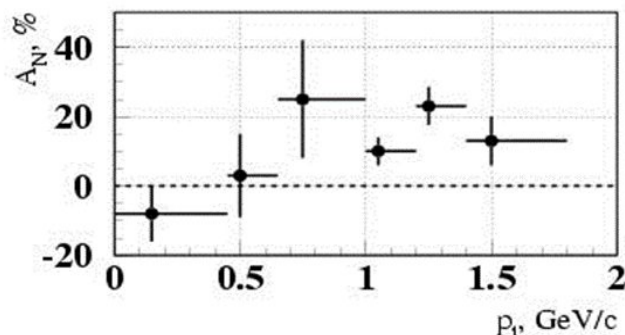
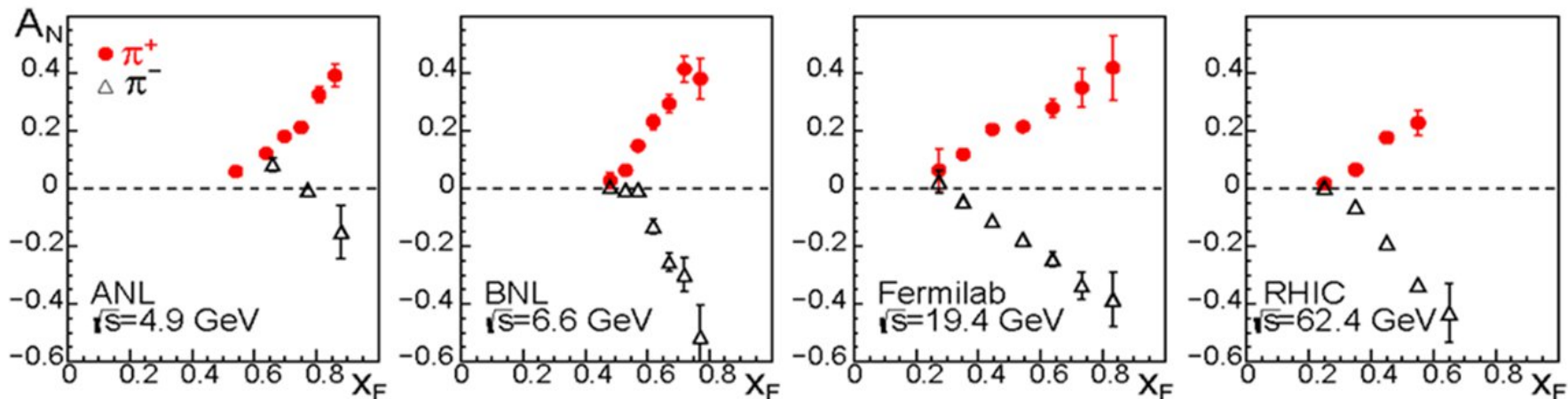
**Orbital Angular Momenta
Little known (DVCS)**



ПОНЯТИЕ ОДНОСПИНОВОЙ АСИММЕТРИИ



ОДНОСПИНОВАЯ АСИММЕТРИЯ ИНКЛЮЗИВНОГО РОЖДЕНИЯ ПИОНОВ



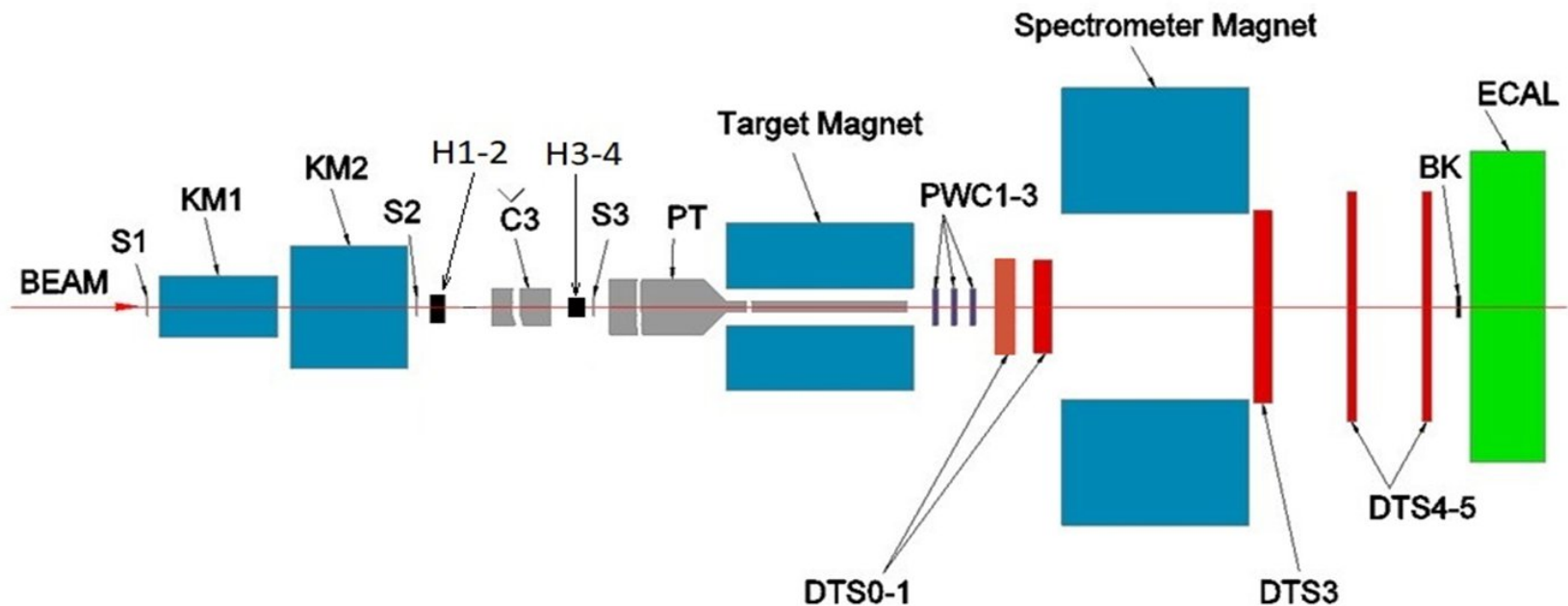
$pd_{\uparrow} \rightarrow \pi^0 X$ at $x_F > 0.7$ (40 ГэВ)

Асимметрия инклюзивного образования заряженных пионов практически не зависит от энергии
 Асимметрия в области фрагментации неполяризованной частицы вблизи границы фазового объема ненулевая

ЧЕМ ВАЖНЫ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СИЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ?

- Интерес к исследованию спиновой зависимости сильного взаимодействия связан с возможностью изучения *динамики взаимодействия и спиновой структуры адронов* через взаимодействия партонов, имеющих ненулевой спин.
- Развивается теоретическое осмысление спиновых эффектов. Однако сегодня *нет теории*, претендующей на полное описание всех наблюдаемых поляризационных эффектов.
- Новые экспериментальные результаты в этой трудной для теоретиков области непертурбативной КХД важны для развития теоретических подходов и возможного создания теории (модели) для описания всех спиновых эффектов.

ЭКСПЕРИМЕНТ СПАСЧАРМ СЕЙЧАС



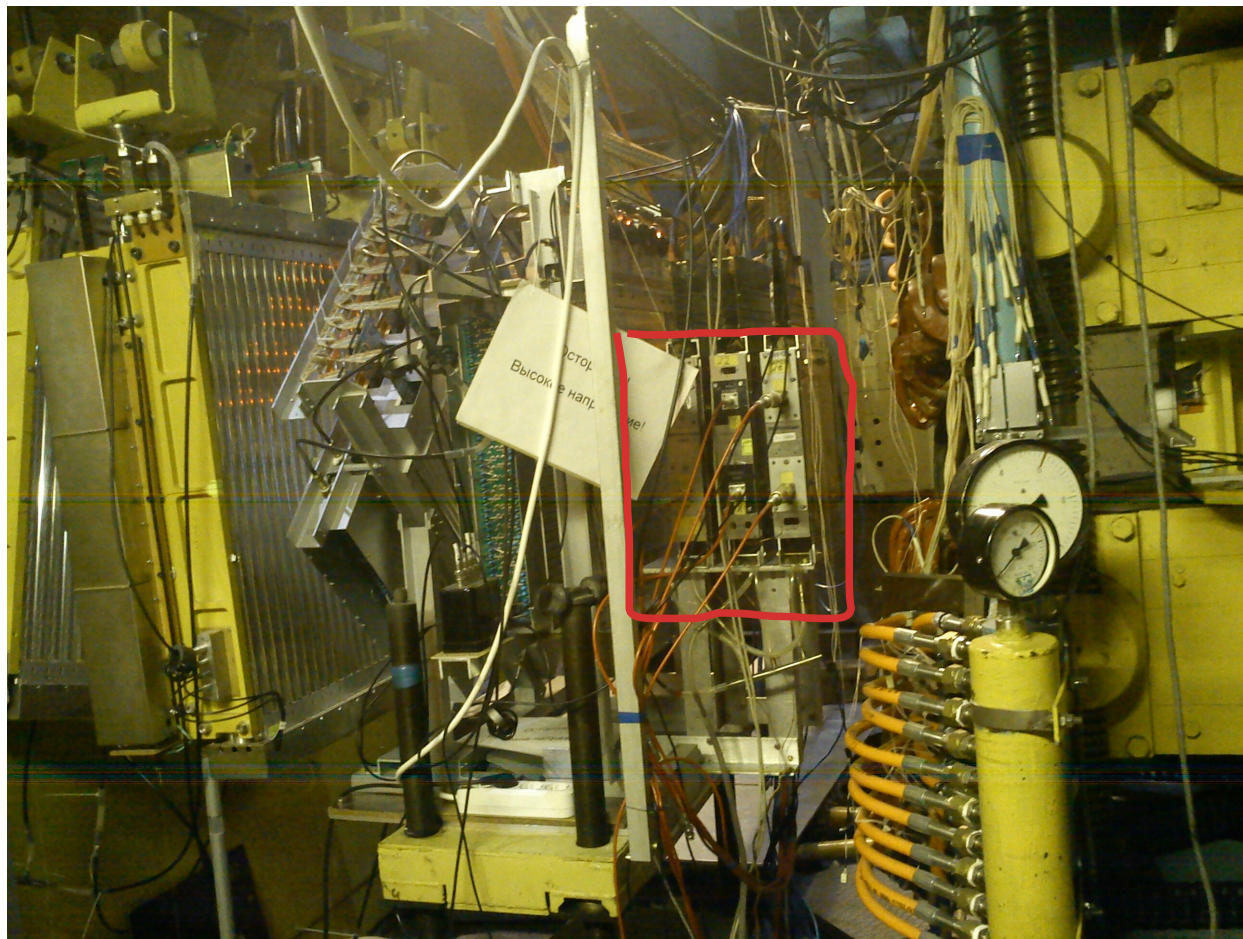
Пучок отрицательных частиц $p_i/K/pbar=98\%, 1.75\%, 0.15\%$,
 $E=26,5$ ГэВ Интенсивность: up to 10^6

Пучок протонов, $E=50$ ГэВ, Интенсивность до 3×10^6

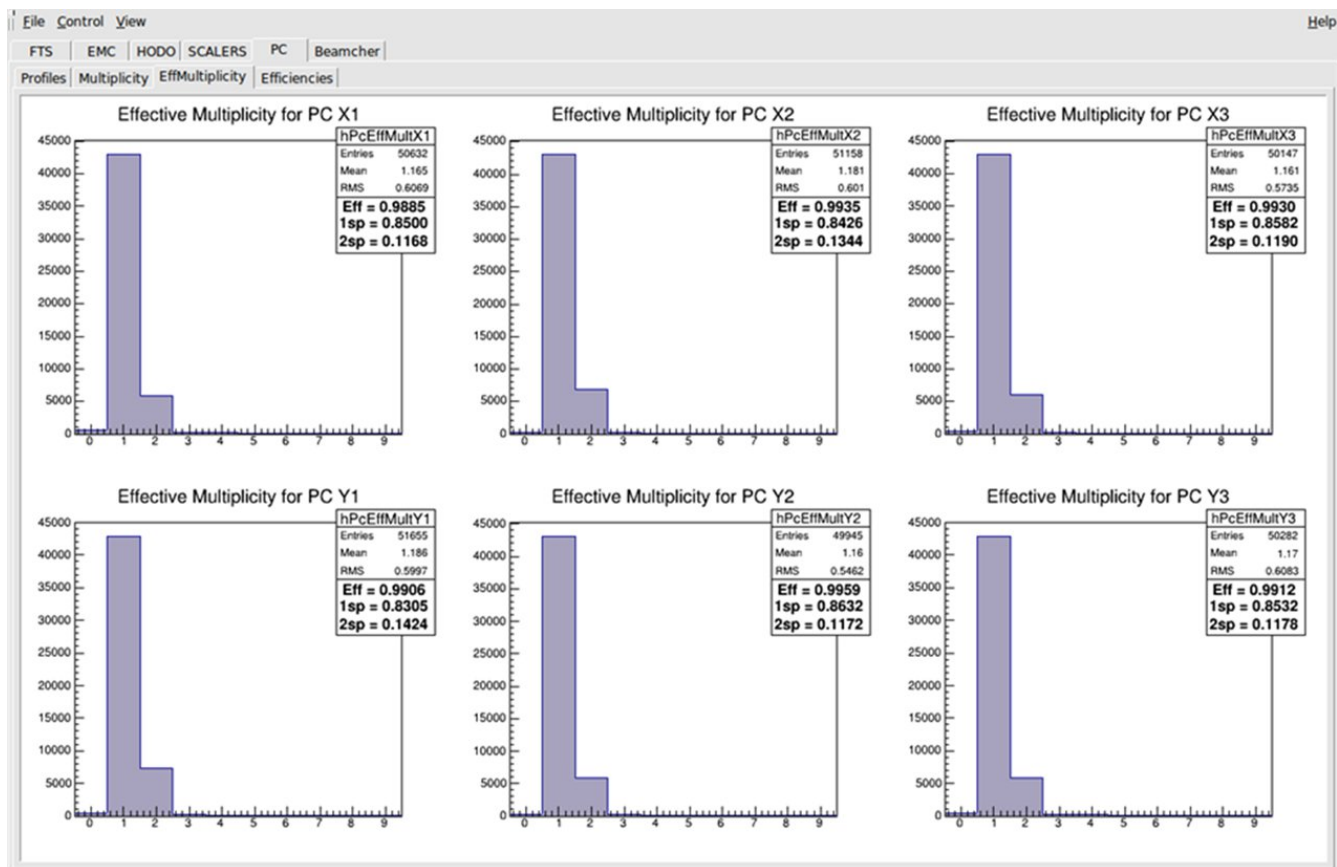
ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ПИЯФ

- Пропорциональные камеры 200x200 мм (ОТД, Андреев В.) - 3 (ХУ) камеры.
 - Дрейфовые камеры (ОМК, Козлов В.С., Тараканов В.И., Полунина Е.М.)
 - Х - 3и камеры 1632x2448 мм²
 - У - 1 камера 1670x2510 мм²
 - Участие в обработке данных, анализ данных по поляризации Λ -гиперона.
 - Участники от ОФВЭ ПИЯФ:
 - ЛМФ – Козленко Н.Г., Новинский Д.В., Гриднев А.Б., Темирбулатов В.С.
 - ОМК - Тараканов В.И., Козлов В.С..
 - ОТД - Андреев В.А.
-

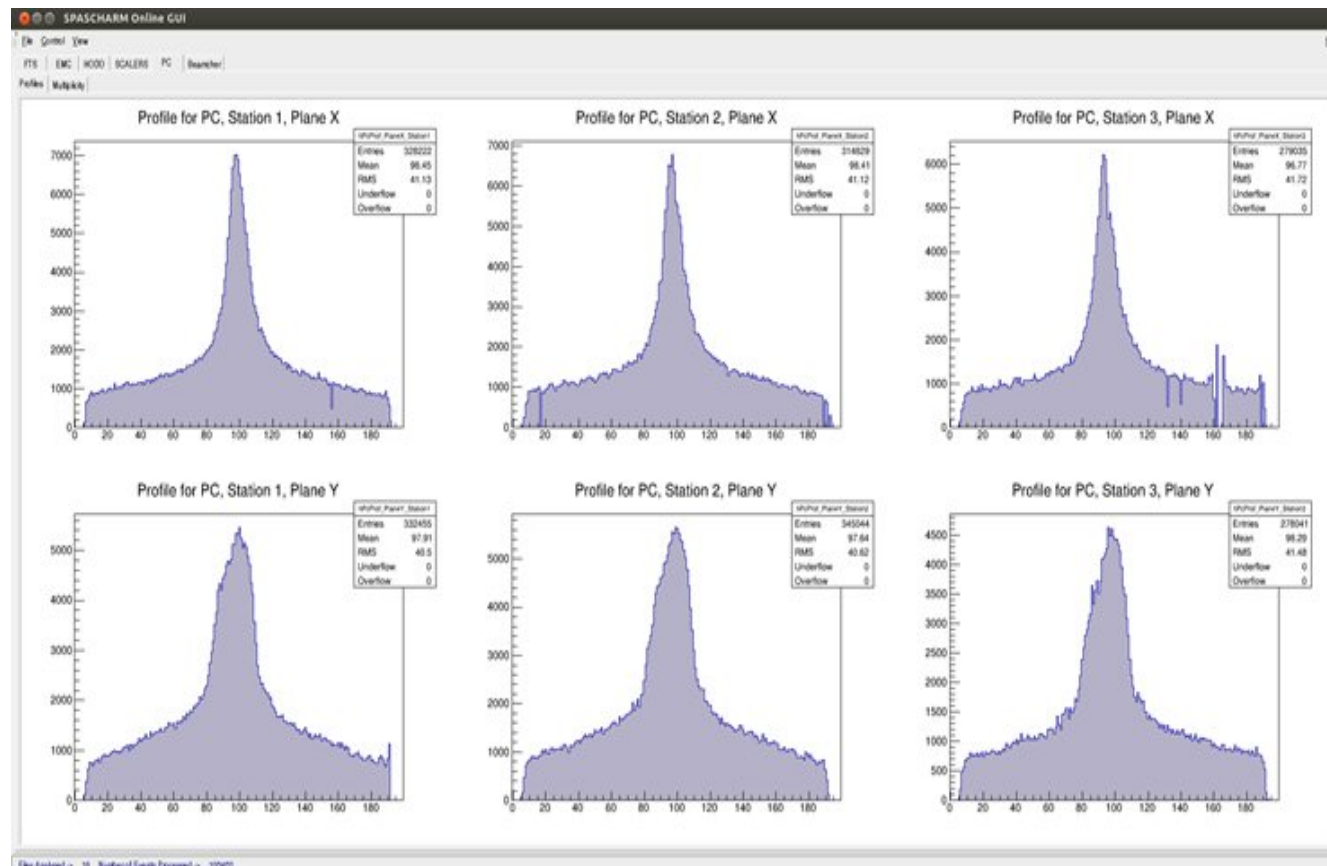
ПРОП. КАМЕРЫ ПИЯФ НА УСТАНОВКЕ СПАСЧАРМ



ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ПРОП. КАМЕР



РАБОТА ПРОП. КАМЕР В СЕАНСЕ



ЧИСТА ЗОНА ДЛЯ РАБОТЫ С ДРЕЙФОВЫМИ КАМЕРАМИ



РАБОТА С ДРЕЙФОВЫМИ КАМЕРАМИ



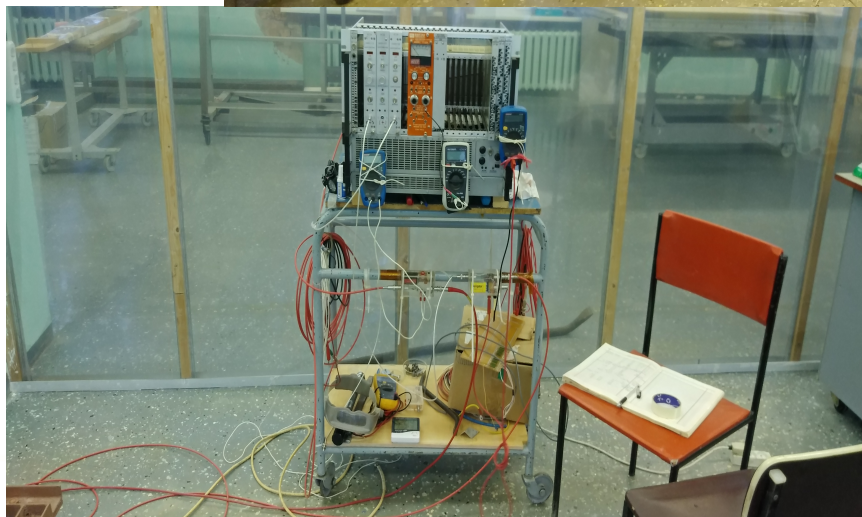
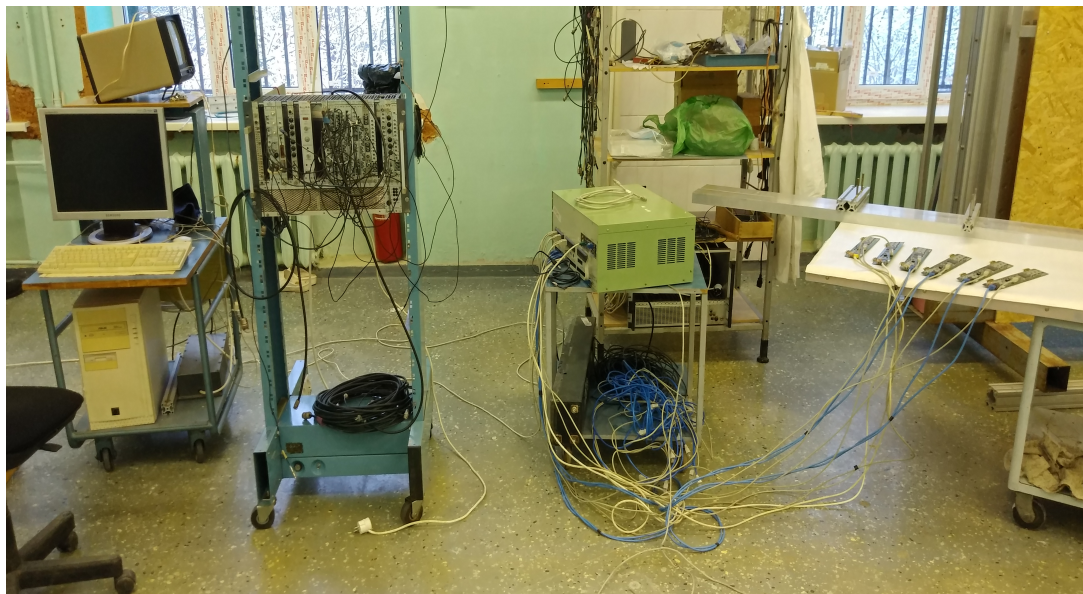
РАБОТА С ДРЕЙФОВЫМИ КАМЕРАМИ



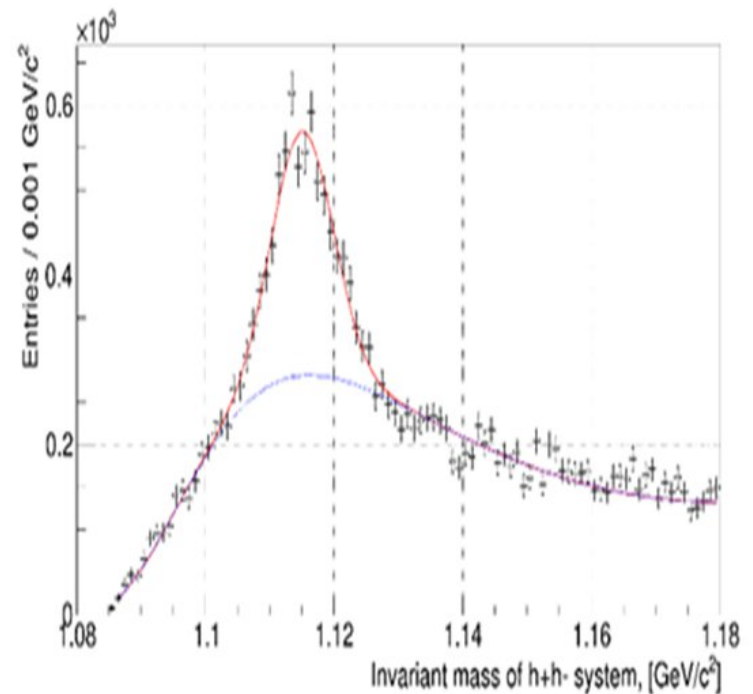
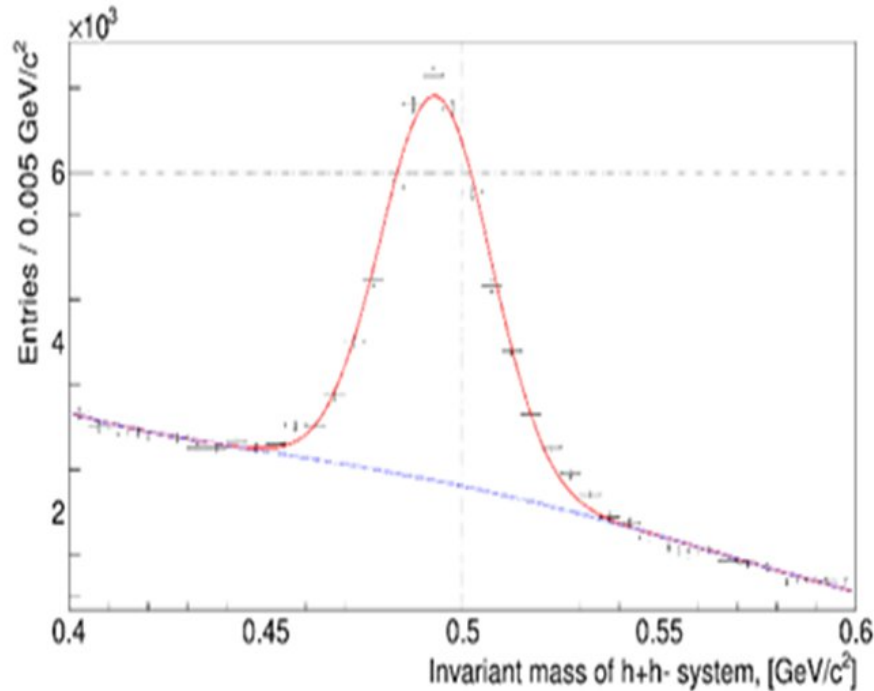
РАБОТА С ДРЕЙФОВЫМИ КАМЕРАМИ



РАБОТА С ДРЕЙФОВЫМИ КАМЕРАМИ

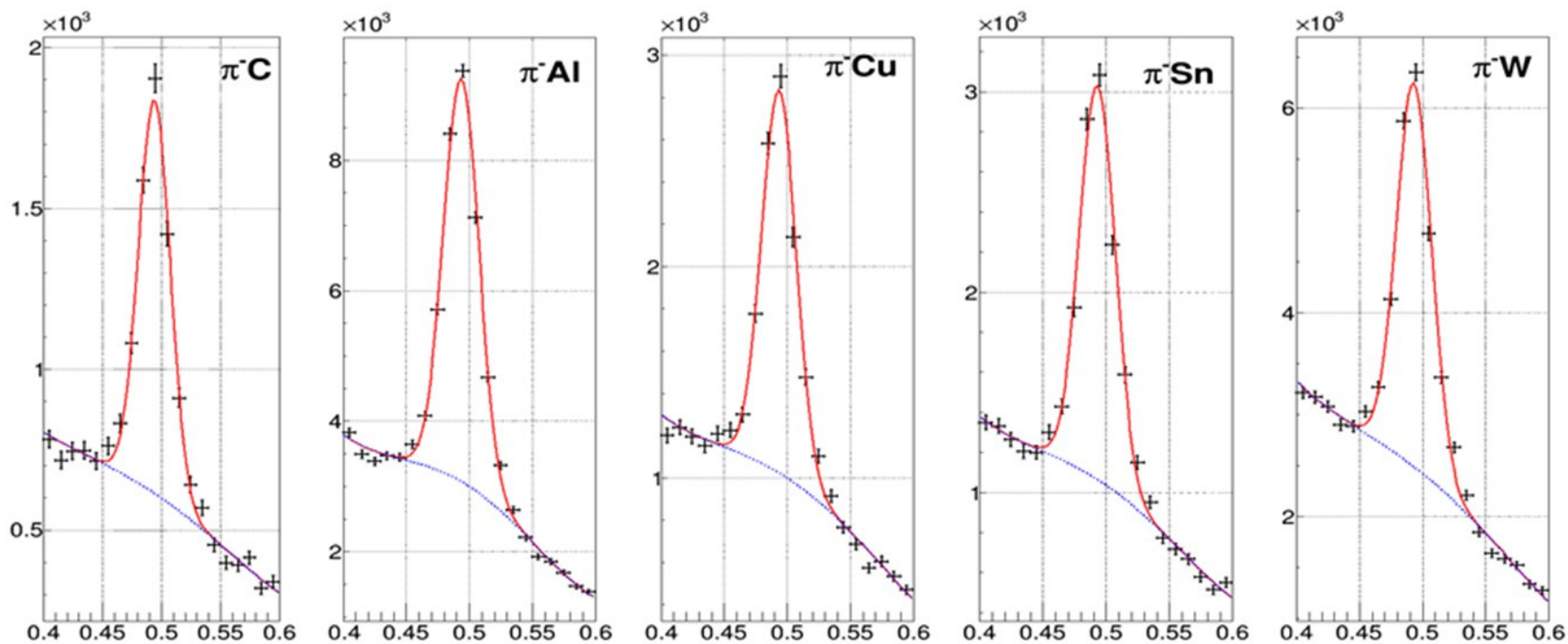


ПЕРВАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПО ОБРАЗОВАНИЮ K_S -МЕЗОНОВ В π^- -А ВЗАИМОДЕЙСТВИИ.



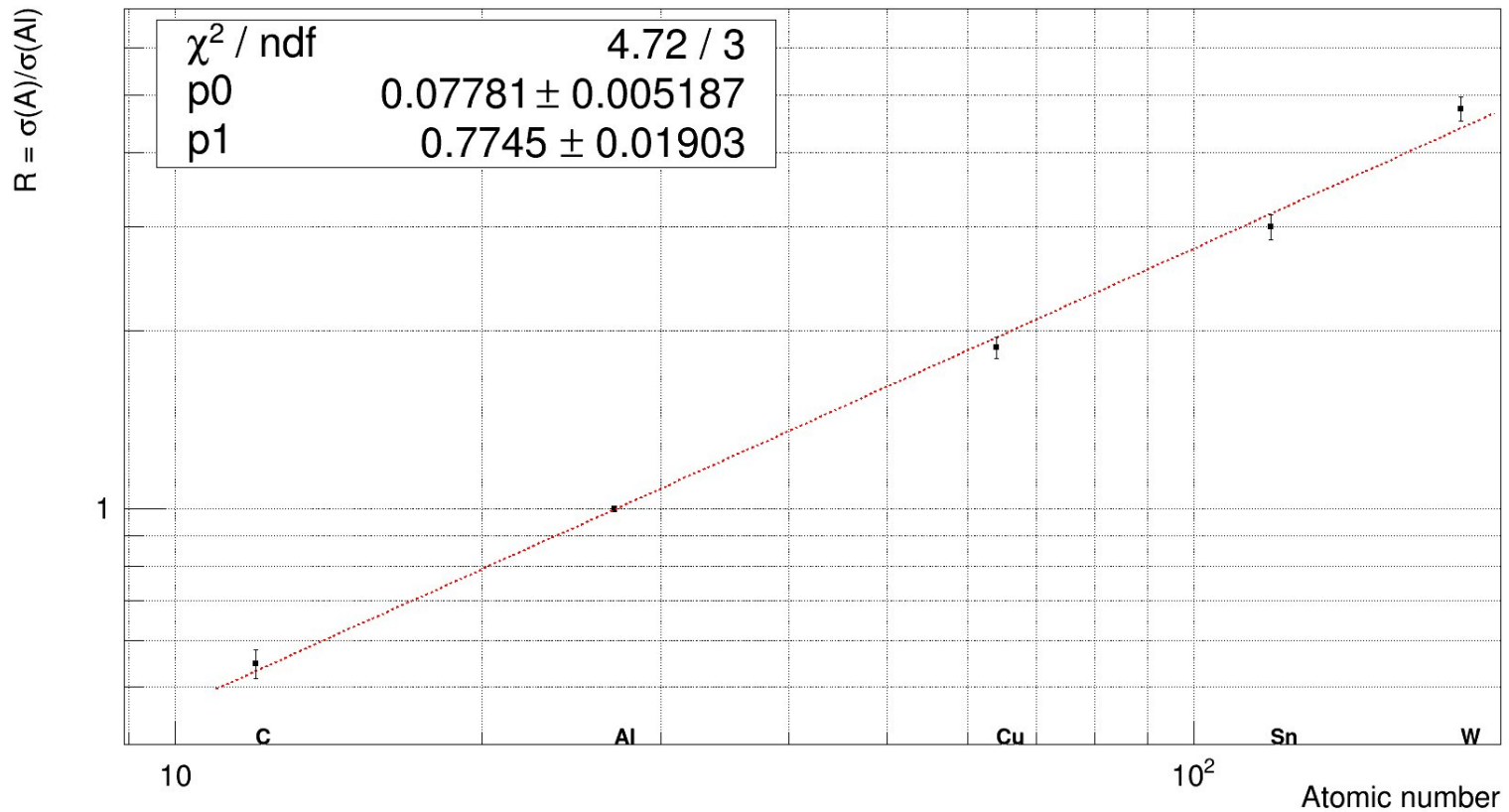
Реконструирована более 100 000 K_S (ширина σ около 12 MeV/c^2) и более 20 000 Λ -гиперонов (ширина σ около 4 MeV/c^2)

СПЕКТРЫ h^+h^- НА ЯДРАХ



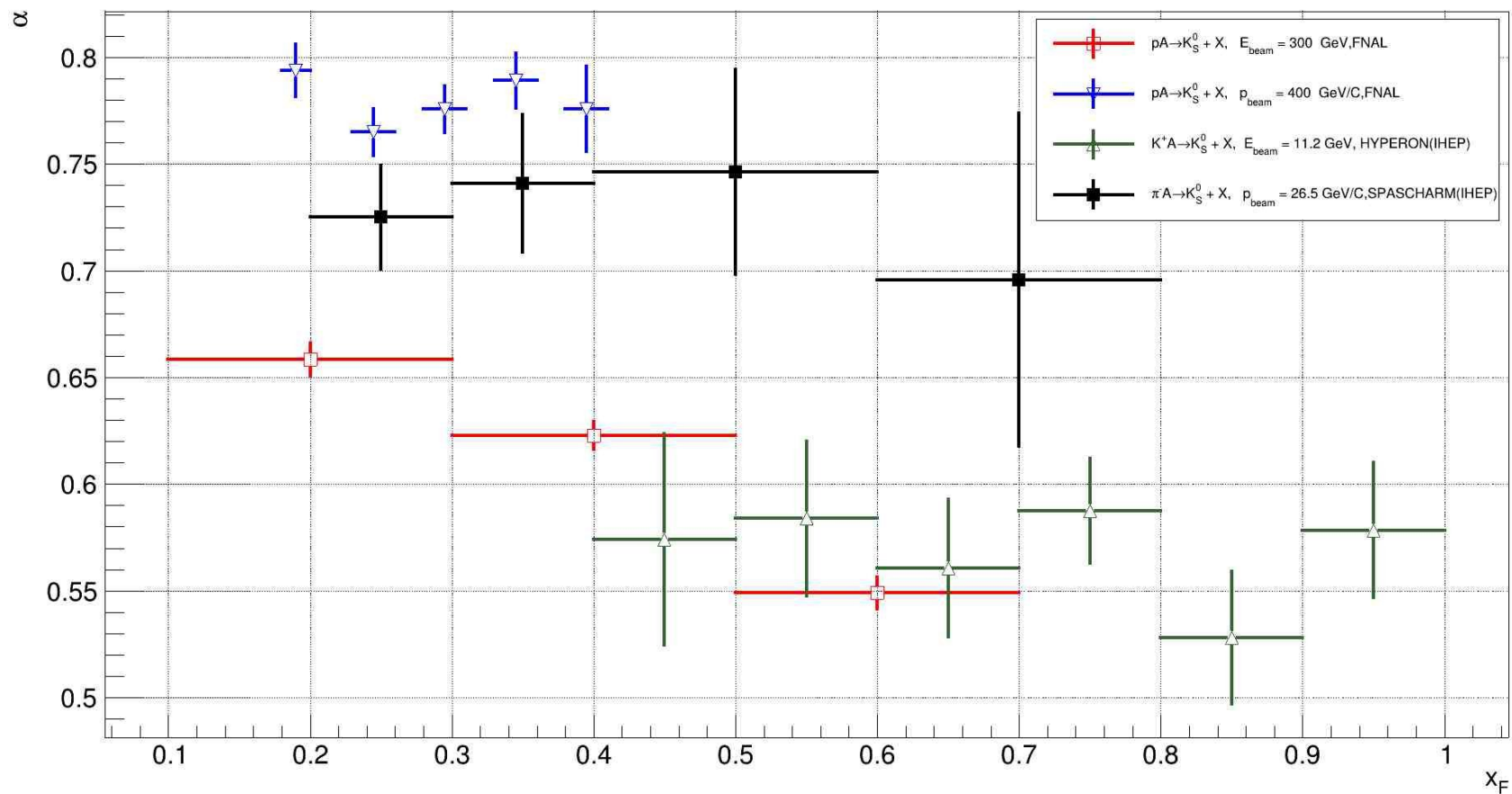
Спектры инвариантных масс $h^+ h^-$ пар для $\pi^- A$ взаимодействий.

A-ЗАВИСИМОСТЬ ОТНОШЕНИЙ СЕЧЕНИЯ ИНКЛЮЗИВНОГО РОЖДЕНИЯ В РЕАКЦИИ π^- -A \rightarrow K_S+X

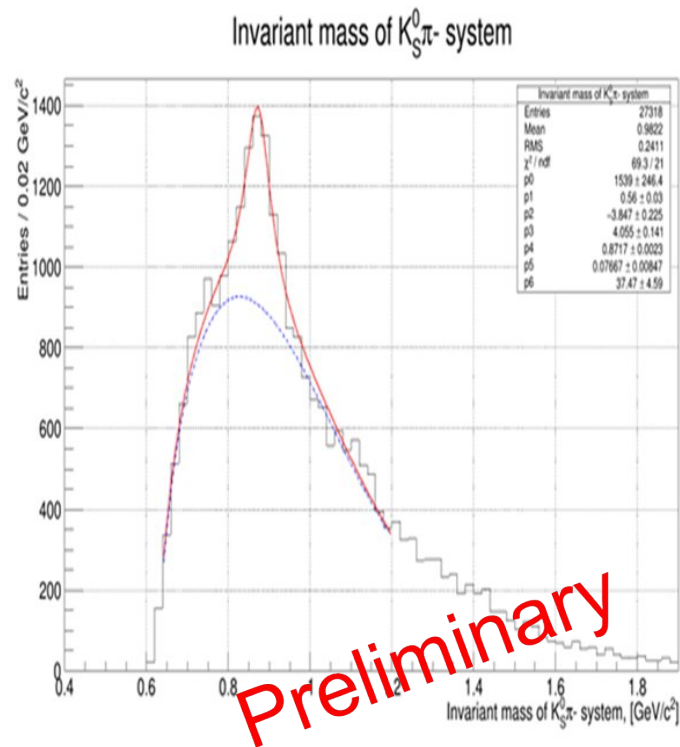


$0.2 < x_f < 0.8$ и $0.0 < p_t < 1.2$ (ГэВ/c)

ЗАВИСИМОСТЬ СТЕПЕНИ α ОТ X_F В СРАВНЕНИИ С ДРУГИМИ ЭКСПЕРИМЕНТАМИ



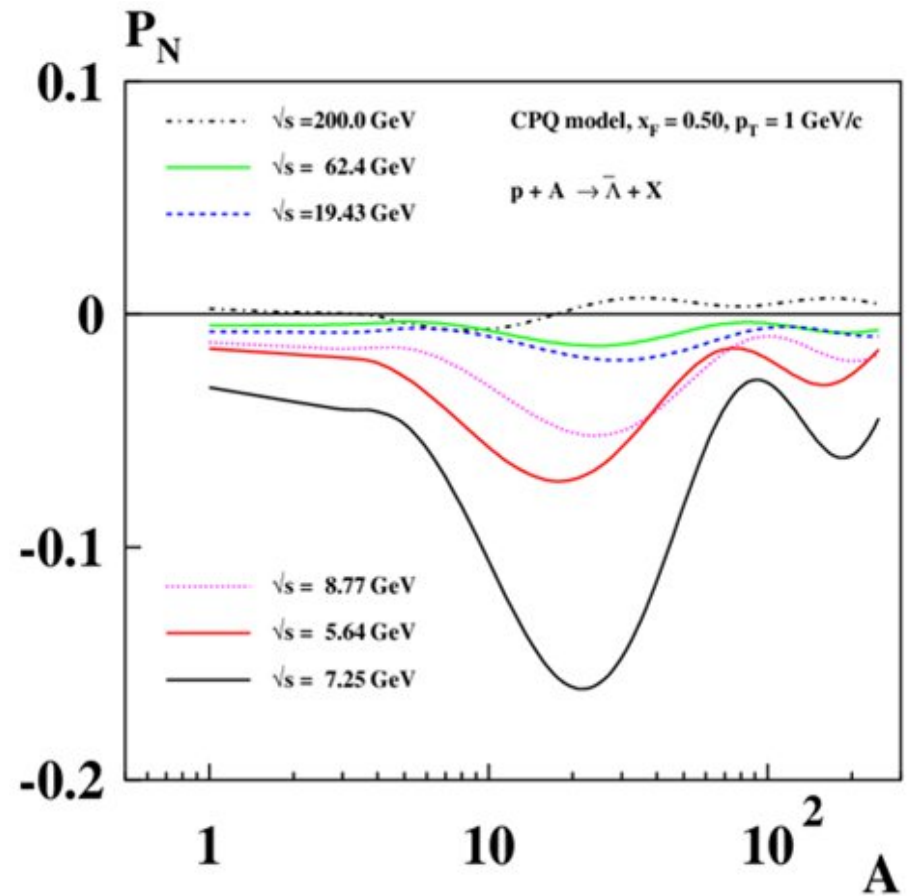
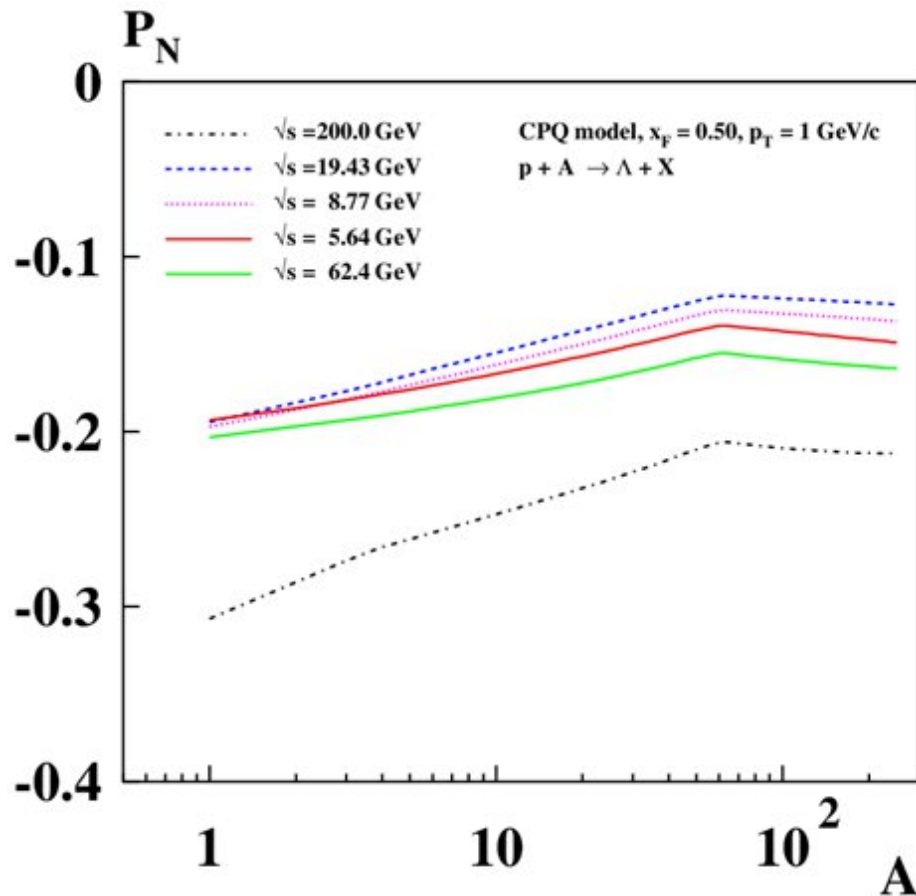
- Проводится анализ набранных данных по измерению поляризации Λ -гиперонов и спиновой выстроенности векторных (ρ and K^*) мезонов
- Проводится необходимое для получения результата моделирование реконструкции эффективности от угла распада для реальной установки



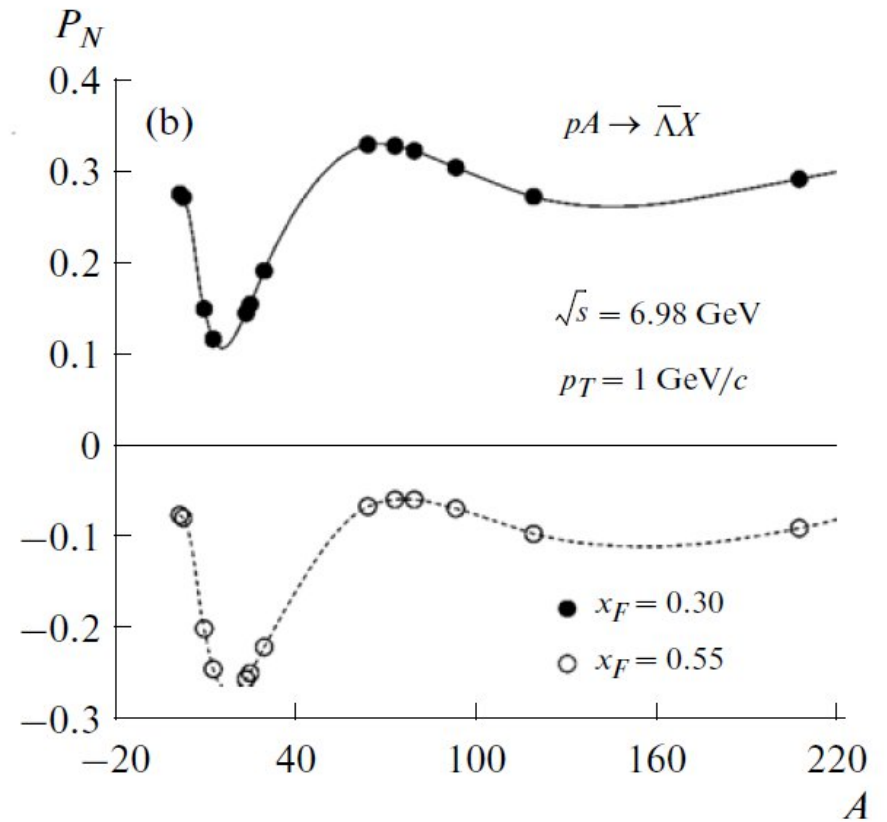
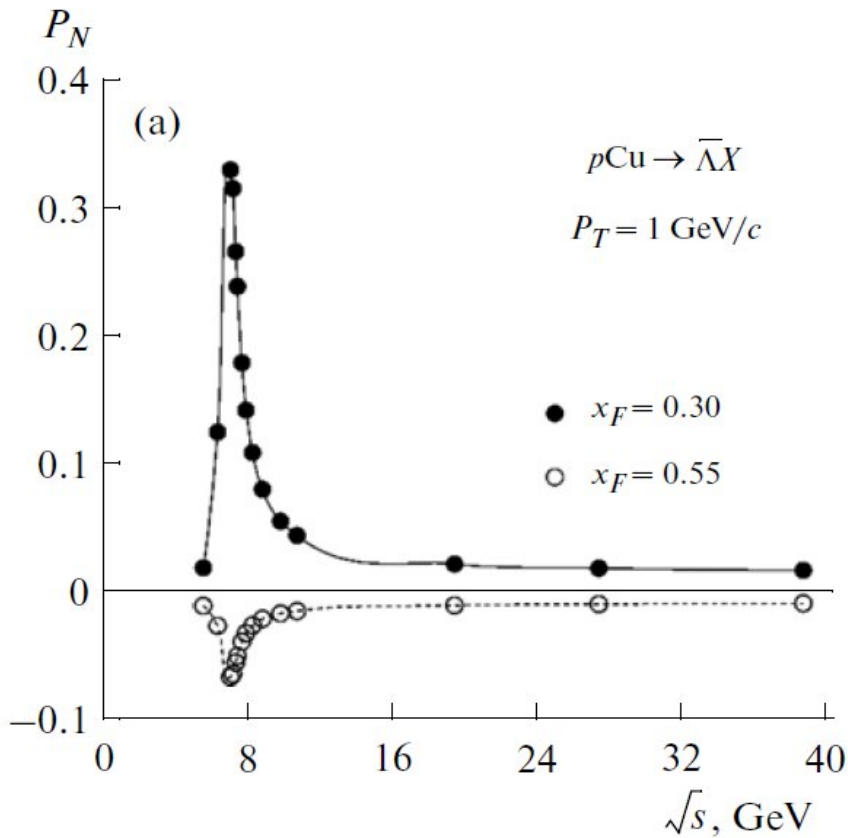
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- В эксперименте СПАСЧАРМ начато систематическое исследование спиновых эффектов, в том числе при взаимодействии с ядрами.
- Детекторы установки работает с высокой эффективностью и стабильностью, что позволяет с необходимой точностью регистрировать векторные мезоны и Λ -гипероны
- Ожидаются значительные эффекты в поляризации гиперонов и зависимость поляризации от атомного веса мишени
- Получен первый результат по A -зависимости инклюзивного рождения K_S -мезона, в ближайшее время планируется получить первые результаты по поляризации Λ -гиперонов
- В ближайших сеансах планируется исследовать зависимость поляризации Λ -гиперонов и выстроенности векторных мезонов на разных ядрах
- Поляризованная мишень – изготовление планируется в 2024-2026 (~18млн.р)

ПРЕДСКАЗАНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ ГИПЕРОНОВ

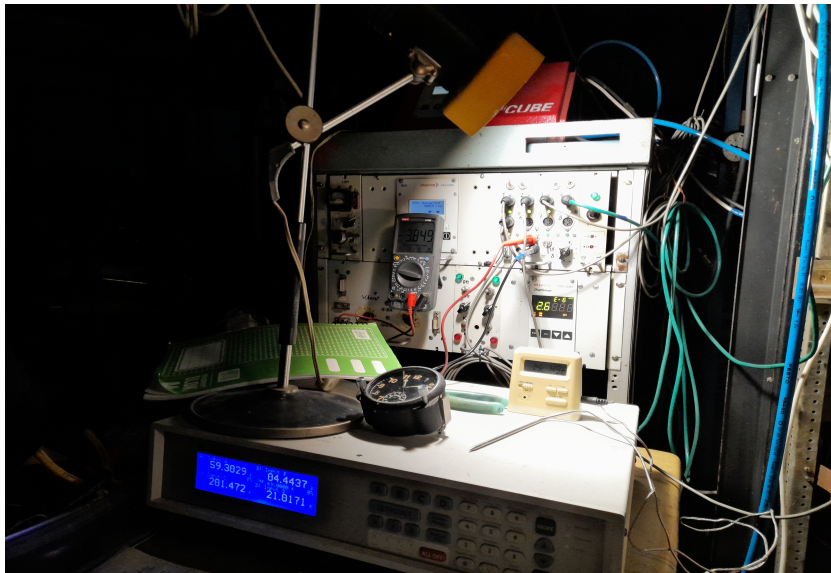
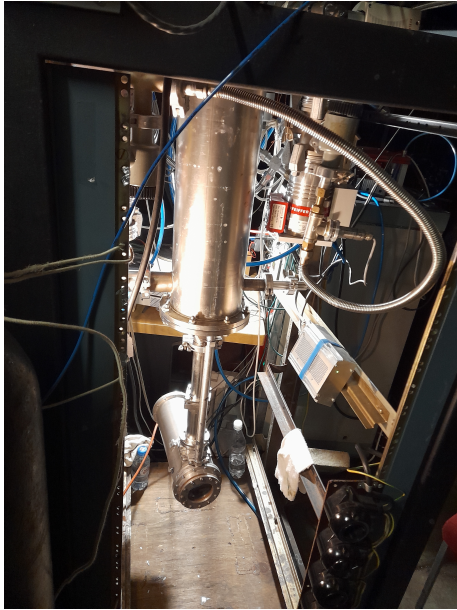


ОСЦИЛЛЯЦИИ ПОЛЯРИЗАЦИИ

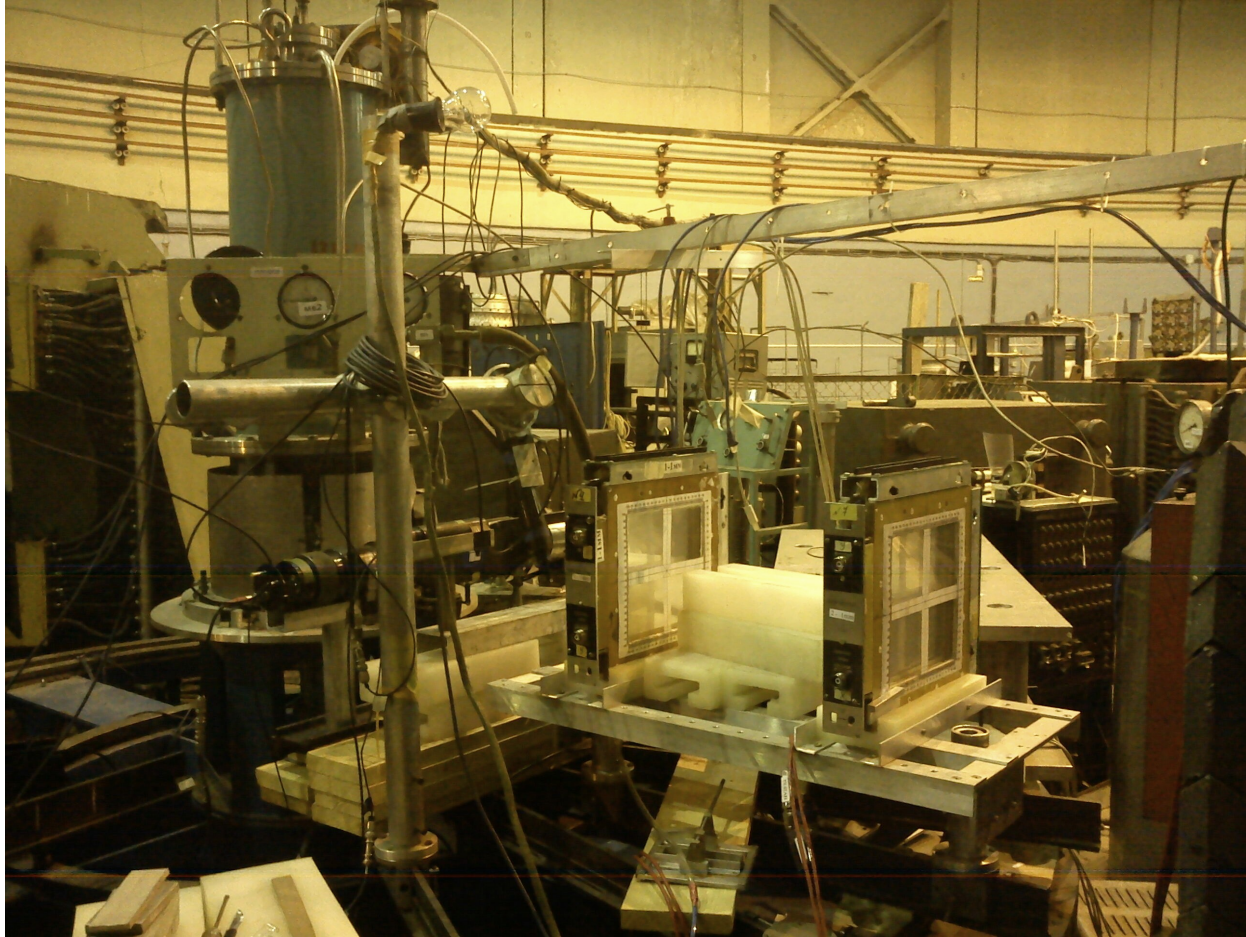


Physics of Particles and Nuclei, 2014, Vol. 45, No. 1, pp. 62–65.

ВОДОРОДНАЯ МИШЕНЬ В ИТЭФ, ПЛАНИРУЕТСЯ ЕЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ В ПИЯФ



ПРОВОДИМ ПРОВЕРКУ ПРОП. КАМЕР НА ПИ-КАНАЛЕ



С НАСТУПАЮЩИМ НОВЫМ ГОДОМ!



BACKUP



- Измерение односпиновой асимметрии $d\sigma/d\phi = \sigma_0(1 + P_B A_N \cos(\phi))$

$$A_N = \frac{\sigma^{\uparrow} - \sigma^{\downarrow}}{\sigma^{\uparrow} + \sigma^{\downarrow}}, A_N^{\text{meas}} = \frac{D}{P \cdot \cos\varphi} \cdot \frac{(N^{\uparrow} - N^{\downarrow})}{(N^{\uparrow} + N^{\downarrow})},$$

- Измерение двухспиновой асимметрии

$$A_{LL} = \frac{1}{(P_B \cdot P_T^{\text{eff}})} \cdot \frac{(I(++)) - I(+-)}{(I(++)) + I(+-)}$$

- Измерение поляризации (по угловым распределениям продуктов распада) $dN/d\Omega = (1 + \alpha P e_p) / 4\pi = (1 + \alpha P \cos\theta_p) / 4\pi$.
- Выстроенность векторных мезонов (аналог поляризации гиперонов – при отсутствии выстроенности все диагональные элементы спиновой матрицы плотности равны 1/3)

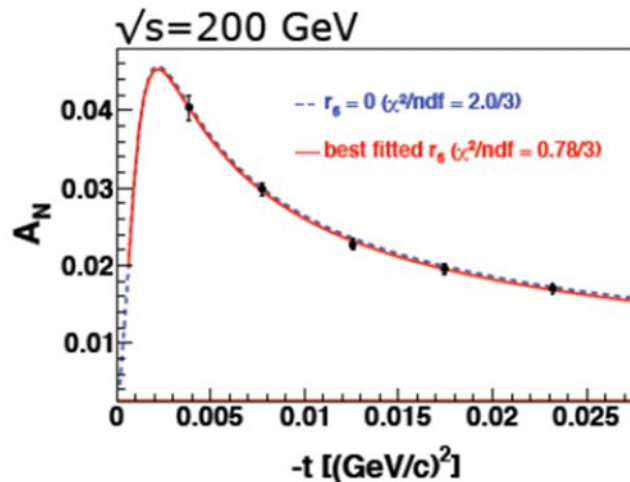
"Experiments with spin have killed more theories than any other single physical parameter"

Elliot Leader, Spin in Particle Physics, Cambridge U. Press (2001)

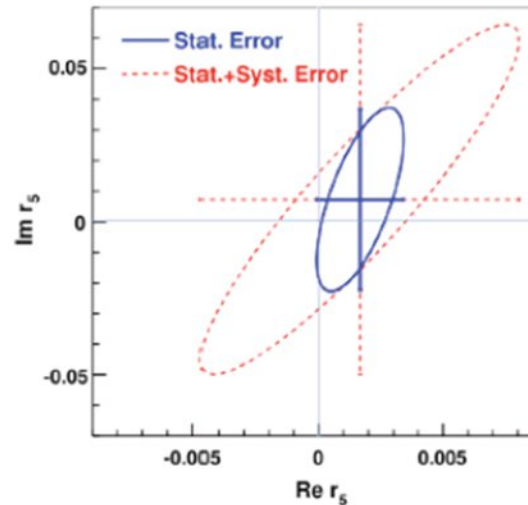
"Polarisation data has often been the graveyard of fashionable theories. If theorists had their way they might well ban such measurements altogether out of self-protection."

J. D. Bjorken, Proc. Adv. Research Workshop on QCD Hadronic Processes, St. Croix, Virgin Islands (1987).

АСИММЕТРИЯ В ОБЛАСТИ КУЛОН-ЯДЕРНОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ



STAR PLB 719 62 (2013)

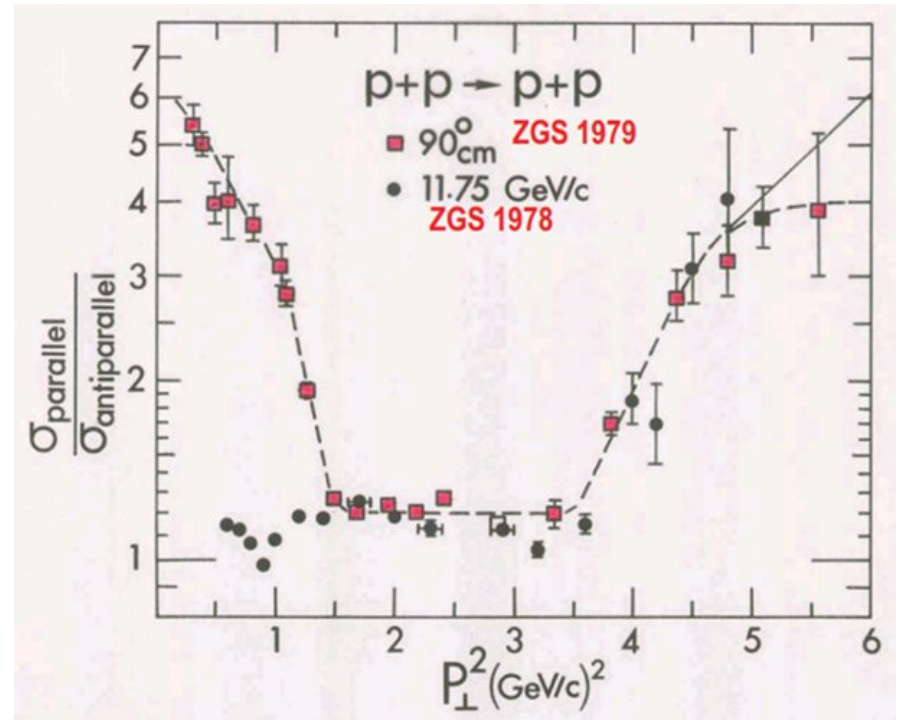
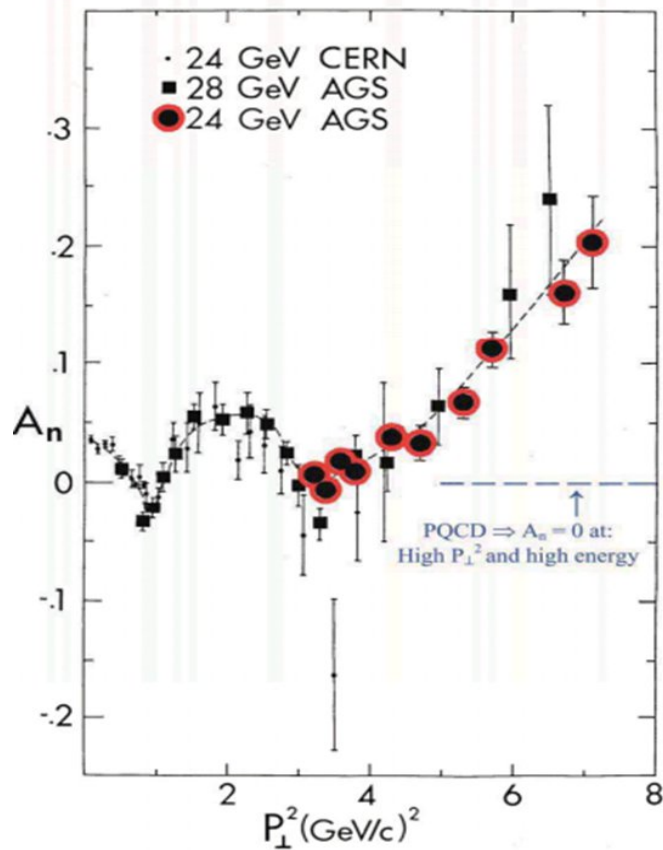


- Fit to the data with hadronic spin-flip (r_5 -fit)

$$r_5 = \text{Re } r_5 + i \text{Im } r_5 = \frac{m\phi_5}{\sqrt{-t} \text{Im}\phi_+} \quad \begin{array}{l} \text{relative amplitude between hadronic} \\ \text{spin-flip } (\Phi_5) \text{ and non-flip } (\Phi_+) \text{ helicity amplitudes} \end{array}$$

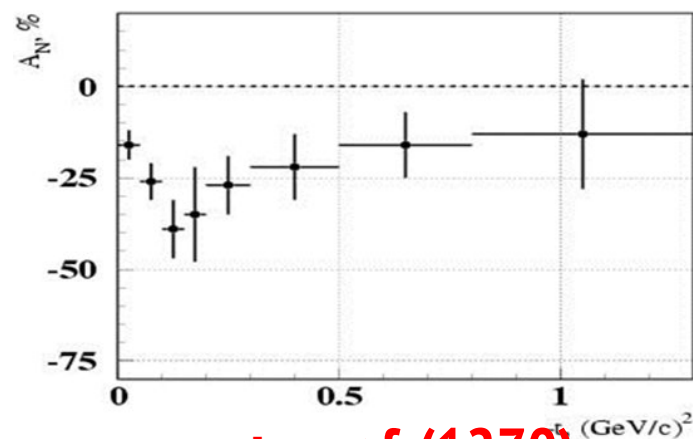
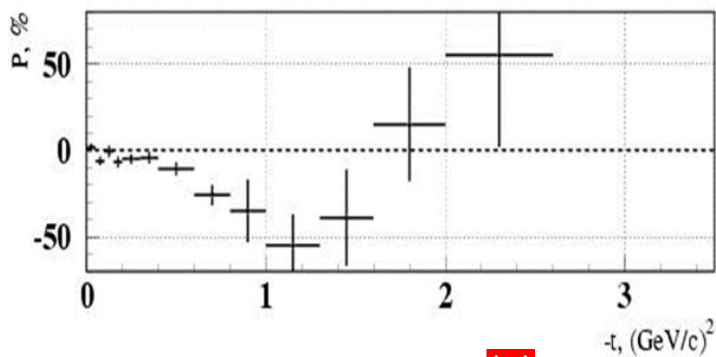
- No significant Hadronic spin-flip required in the fit

АСИММЕТРИЯ УПРУГОГО ПРОТОН-ПРОТОННОГО РАССЕЙЕНИЯ



ПОЛЯРИЗАЦИЯ В ЗАРЯДОВО-ОБМЕННЫХ РЕАКЦИЯХ

- 1978: Изучение поляризационных эффектов в эксклюзивных зарядово-обменных реакциях при 40 ГэВ обнаружило большие значения поляризации (асимметрии) и осцилляции в рождении нейтральных мезонов (π^0 , \boxtimes , \boxtimes' (958), \boxtimes (783), f_2 (1270))

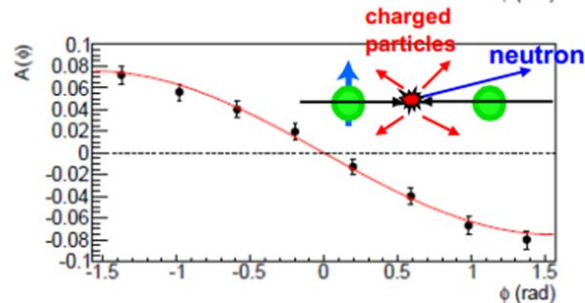
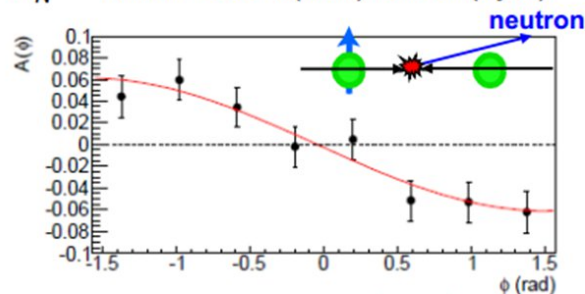


АСИММЕТРИЯ РОЖДЕНИЯ НЕЙТРОНОВ В РР-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

ZDC trigger

Forward asymmetry

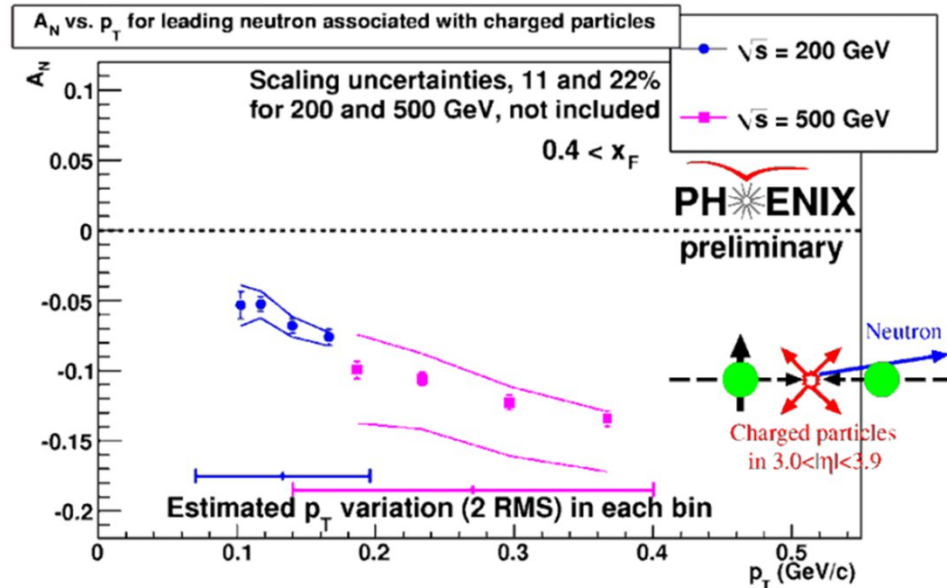
$$A_N = -0.061 \pm 0.010(\text{stat}) \pm 0.004(\text{syst})$$



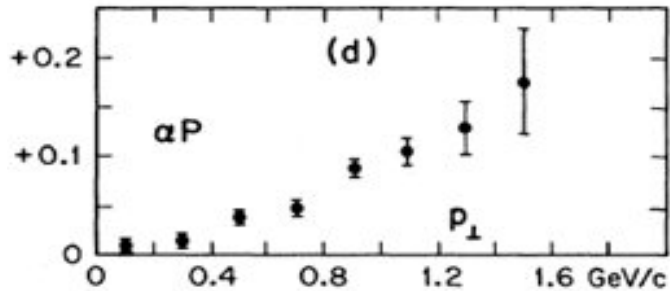
ZDC⊗BBC trigger

Forward asymmetry

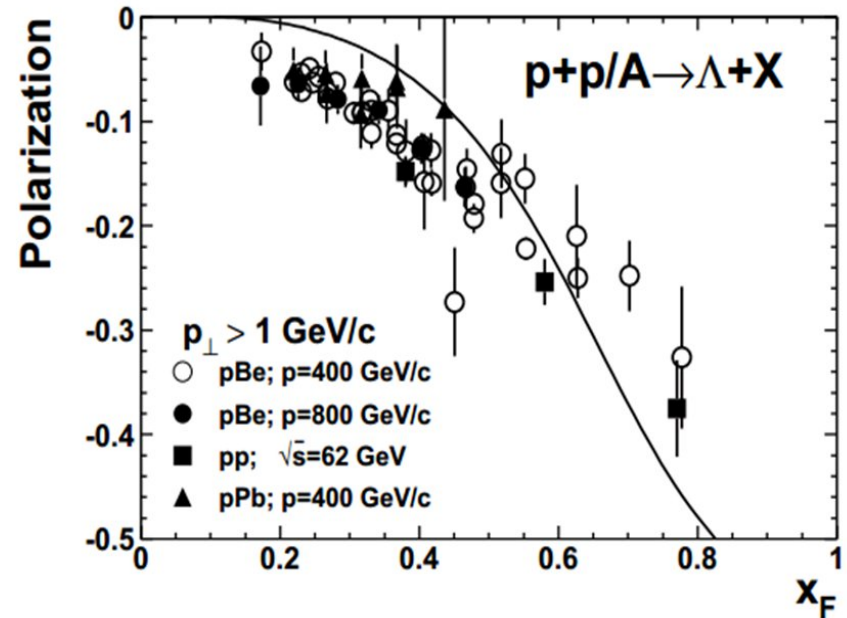
$$A_N = -0.075 \pm 0.004(\text{stat}) \pm 0.004(\text{syst})$$



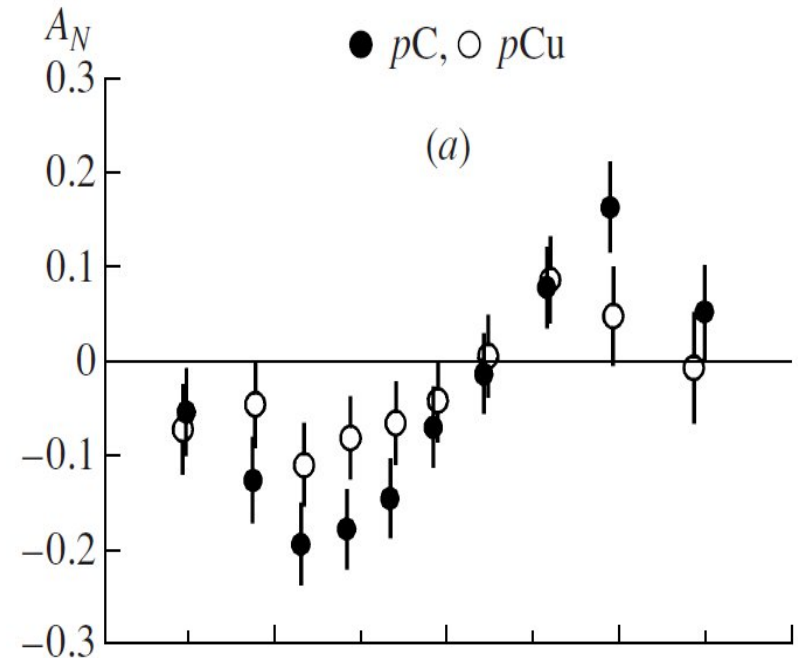
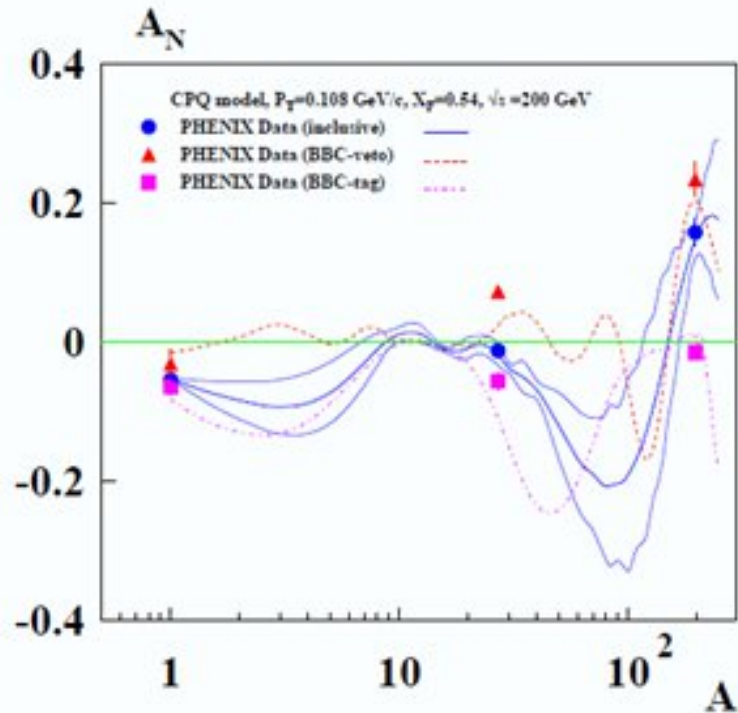
ПОЛЯРИЗАЦИЯ Λ -ГИПЕРОНОВ



- Поперечная поляризация гиперонов возникает при взаимодействии неполяризованных частиц и не уменьшается с энергией

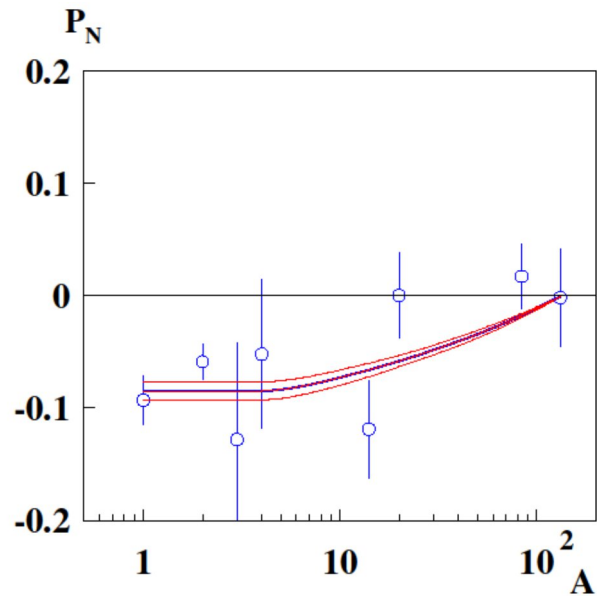


ОДНОСПИНОВЫЕ АСИММЕТРИИ НА ЯДРАХ

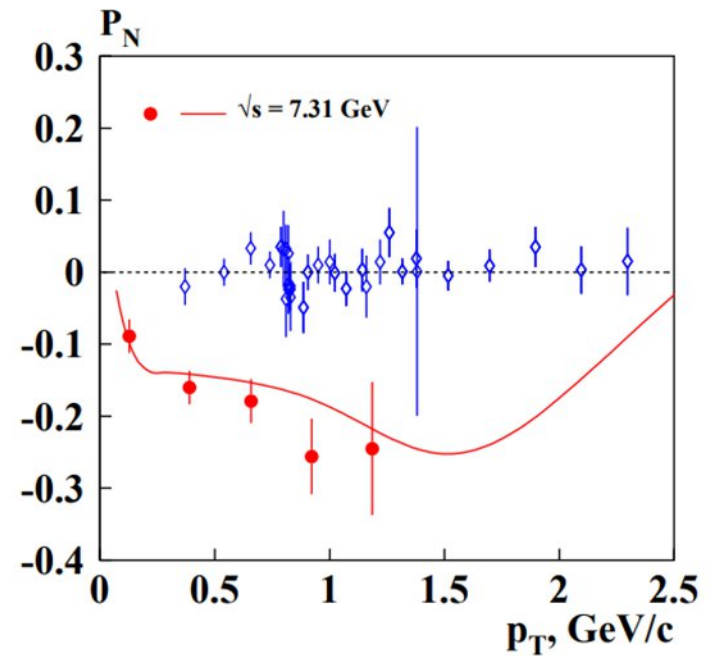


ПОЛЯРИЗАЦИЯ Λ -ГИПЕРОНОВ НА ЯДРАХ

Предсказания SPIN-11 Proceedings, pp.21-26

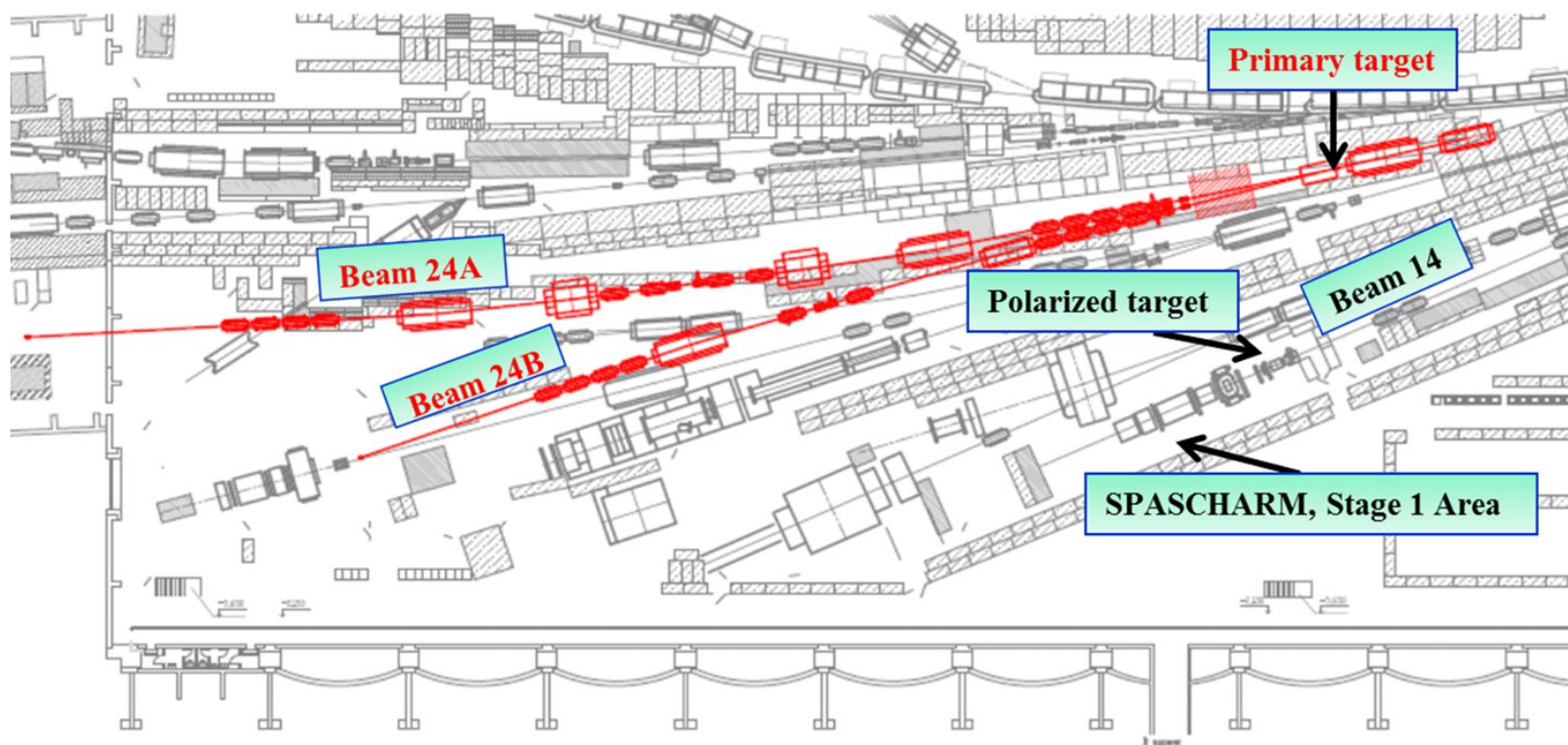


HERMES Data



Blue- FNAL pA data, Red – BNL pp data

ПРОЕКТ ЭКСПЕРИМЕНТА СПАСЧАРМ С ПОЛЯРИЗОВАННЫМИ ПУЧКАМИ



КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ ЭКСПЕРИМЕНТА

ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И АТОМНОГО ЯДРА
2023. Т.54, вып. 1. С. 6–189

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ ЭКСПЕРИМЕНТА СПАСЧАРМ

В. В. Абрамов¹, И. Л. Азгирей¹, А. А. Борисов¹,
С. И. Букреева¹, А. Н. Васильев^{1,2}, В. И. Гаркуша¹,
Ю. М. Гончаренко¹, А. М. Горин¹, А. А. Дерезицкий¹,
В. Н. Запольский¹, А. Н. Исаев¹, Н. К. Калугин¹,
В. А. Качанов¹, А. С. Кожин¹, А. К. Лиходед¹,
А. В. Лучинский¹, Е. В. Маслова¹, В. А. Машиев¹,
Ю. М. Мельник¹, А. П. Мещанин¹, Н. Г. Минаев¹,
В. В. Моисеев¹, Д. А. Морозов¹, В. В. Мочалов^{1,2,*},
К. Д. Новиков¹, Л. В. Ногац¹, С. В. Пославский¹,
А. Ф. Прудкогляд¹, С. В. Рыжиков¹, В. И. Рыкалин¹,
А. Д. Рябов¹, Т. Д. Рябова¹, А. В. Рязанцев¹,
П. А. Семенов^{1,2}, В. А. Сенько¹, С. Р. Слабоспицкий¹,
М. М. Солдатов¹, Л. Ф. Соловьев¹, А. В. Узуния¹,
Р. М. Фахрутдинов¹, Н. А. Шаланда¹, В. И. Якимчук¹,
А. Е. Якутин¹, Н. А. Бажанов³, Д. В. Белов³,
Н. С. Борисов³, В. П. Вольных³, С. В. Голоскоков³,
И. С. Городнов³, А. С. Должиков³, А. Б. Лазарев³,
А. Б. Неганов³, Ю. А. Плис³, О. В. Теряев³,
А. Н. Федоров³, Ю. Н. Узиков^{3,4}, Ю. А. Усов³,
А. А. Богданов², М. Б. Нурушева², В. А. Окорок²,
В. Л. Рыков², М. Н. Стриханов², И. Г. Алексеев⁵,
В. М. Нестеров⁵, В. В. Рыльцов⁵, Э. И. Самигуллин⁵,
Д. Н. Свирида⁵, В. А. Андреев⁶, А. Б. Гриднев⁶,
Н. Г. Козленко⁶, В. С. Козлов⁶, В. А. Кузнецов⁶,
Д. В. Новинский⁶, В. И. Тараканов⁶, В. С. Темирбулатов⁶,
И. А. Цураков⁶, В. И. Криворучко⁷
(коллораация СПАСЧАРМ)

¹ Институт физики высоких энергий им. А. А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Протвино, Россия

² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

* E-mail: mochalov@hep.ru

ISSN 1063-7796, Physics of Particles and Nuclei, 2023, Vol. 54, No. 1, pp. 69–186. © Pleiades Publishing, Ltd., 2023.
Russian Text © The Author(s), 2023, published in Fizika Elementarnykh Chastits (Atomnaya Yadra), 2023, Vol. 54, No. 1.

Dedicated to the memory
of Professors S.B. Nurushhev 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. Derezhitskiy^a, V. N. Zapolskiy^a, A. N. Isaev^a,
N. K. Kalugin^a, V. A. Kachanov^a, A. S. Kozhin^a, A. K. Likhoded^a, A. V. Luchinskiy^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. Poslaviyskiy^a, A. F. Prudkoglyad^a,
S. V. Ryzhikov^a, V. I. Rykalin^a, A. D. Ryabov^a, T. D. Ryabova^a, A. V. Ryzantsev^a, P. A. Semenov^{a, c},
V. A. Senko^a, S. R. Slabospitskiy^a, M. M. Soldatov^a, L. F. Solovyov^a, A. V. Uzunyan^a,
R. M. Fakhrutdinov^a, N. A. Shalanda^a, V. I. Yakimchuk^a, A. E. Yakutin^a, N. A. Bazhanov^a, D. V. Belov^a,
N. S. Borisov^a, V. P. Volnykh^a, S. V. Goloskokov^a, I. S. Gorodnov^a, A. S. Dolzhikov^a, A. B. Lazarev^a,
A. B. Neganov^a, Yu. A. Plis^a, O. V. Teryaev^a, A. N. Fedorov^a, Yu. N. Uzikov^{a, d}, Yu. A. Usov^a,
A. A. Bogdanov^a, M. B. Nurushchev^a, V. A. Okorokov^a, V. L. Rykov^a, M. N. Strikhanov^a, I. G. Alekseev^a,
V. M. Nesterov^a, V. V. Ryltsov^a, E. I. Samigullin^a, D. N. Svirida^a, V. A. Andreev^a, A. B. Gridnev^a,
N. G. Kozlenko^a, V. S. Kozlov^a, V. A. Kuznetsov^a, D. V. Novinskiy^a, V. I. Tarakanov^a, V. S. Temirbulatov^a,
I. A. Tsurakov^a, and V. I. Krivoruchko^a (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, (KKTFF), Moscow, 117218 Russia

^e B.P. Konstantinov Petersburg Institute of Nuclear Physics, Kurchatov Institute, National Research Center,
St. Petersburg, Leningrad oblast, 188200 Russia

^f Shokhta Scientific and Production Enterprise ISTOK, St. Petersburg, Moscow oblast, 141190 Russia

^g Dubna State University, Dubna, Moscow oblast, 141982 Russia

*e-mail: mochalov@hep.ru

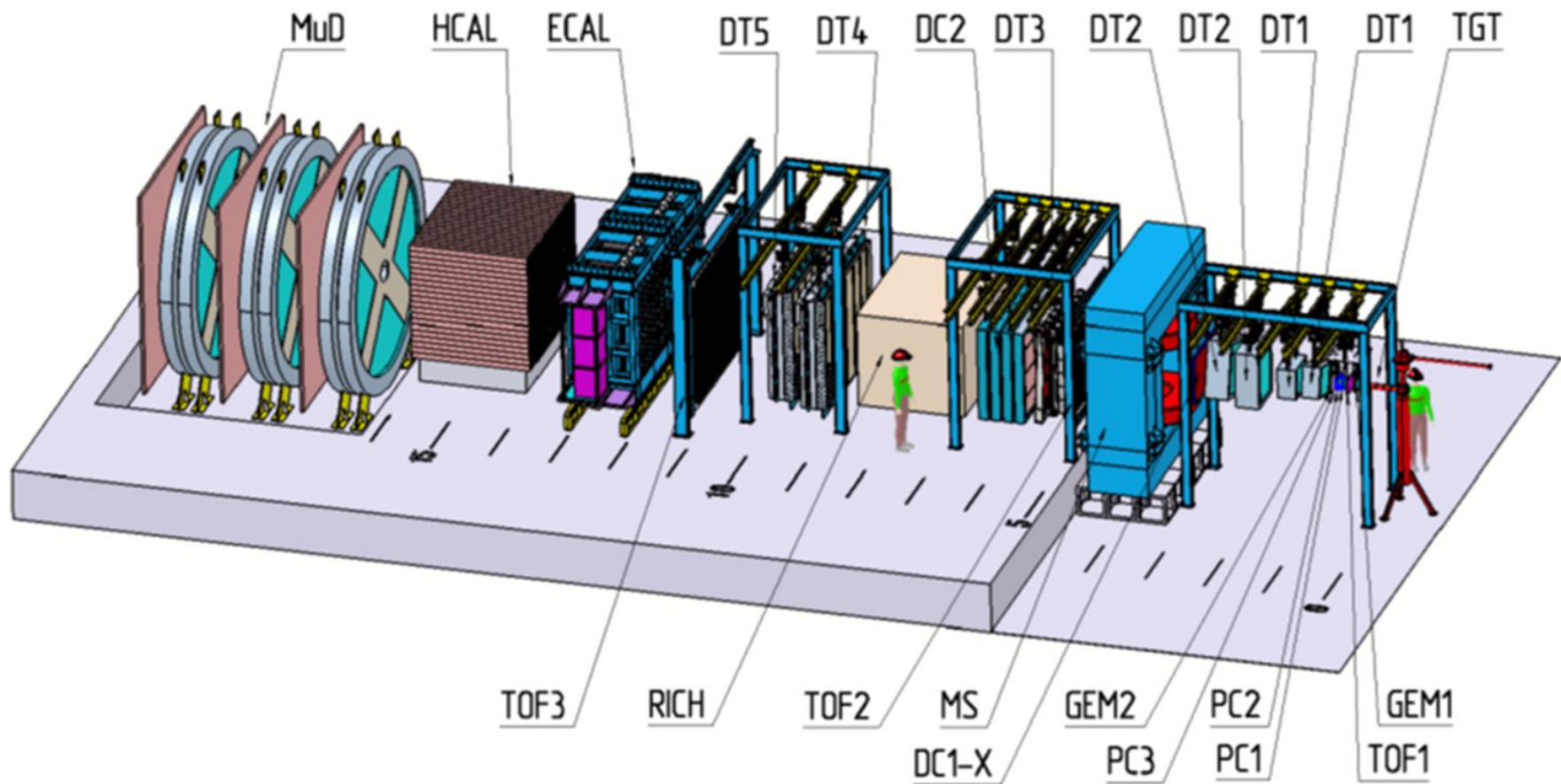
Received June 22, 2022; revised July 27, 2022; accepted August 14, 2022

Abstract—The SPASCHARM experiment is aimed at a systematic study of the nucleon spin structure and the spin dependence of the strong interaction of antimatter and matter with matter at energies up to 45 GeV. As part of the first stage of the experiment, the study of the spin properties of hadrons will take place in a beam of negatively charged hadrons on existing beamline L4 at the operating SPASCHARM setup at the U70 facility. At the second stage, the production of polarized beams of protons and antiprotons is envisaged in beamline 24A of the U-70 accelerator facility. A polarized antiproton beam will certainly become a unique beam in the world. It is planned to measure single-spin asymmetries in dozens of reactions, both on hydrogen and on various nuclei. At the SPASCHARM facility, it is also possible to measure the transverse polarization of hyperons and elements of the spin density matrix of vector mesons. The spin structure of the nucleon will be investigated in the study of quarkonium production to determine the contribution of gluons to the proton spin. The presence of two types of polarized beams and eight types of nonpolarized beams (π^{\pm} , K^{\pm} , p , \bar{p} , d , \bar{d}), in combination with a polarized target, expands the range of studies of polarization phenomena and enhances the uniqueness of the project.

DOI: 10.1134/S1063779623010021

TABLE OF CONTENTS
EXECUTIVE SUMMARY @
INTRODUCTION @

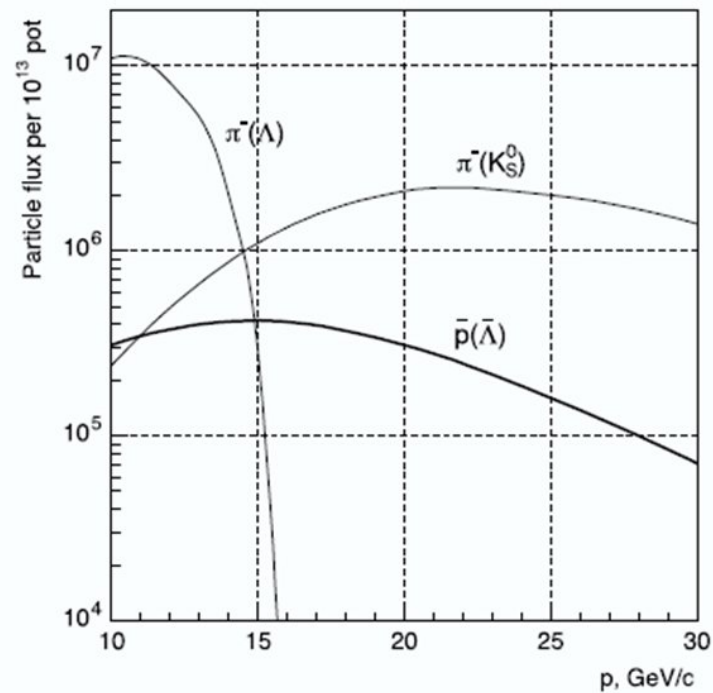
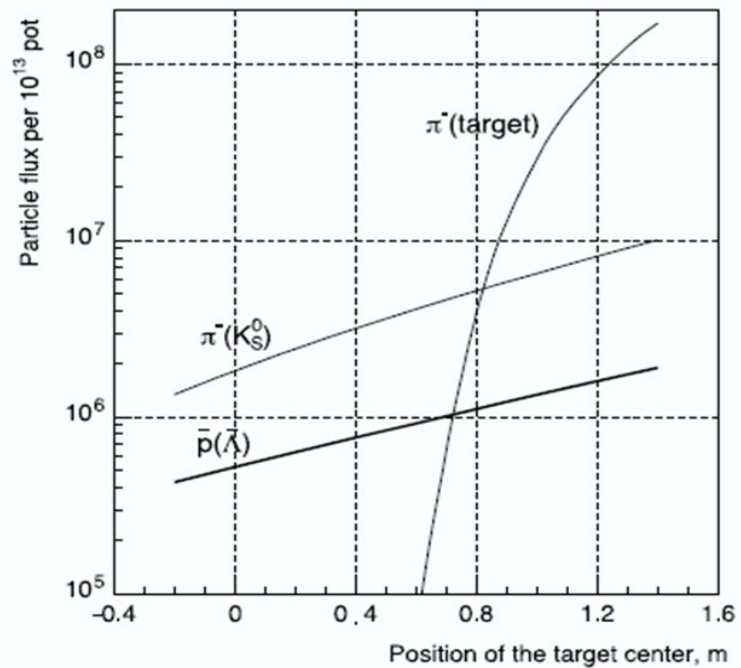
I. SPASCHARM PHYSICAL PROGRAM @
1.1. Investigation of Spin Effects
in the Production of Quarkonium @



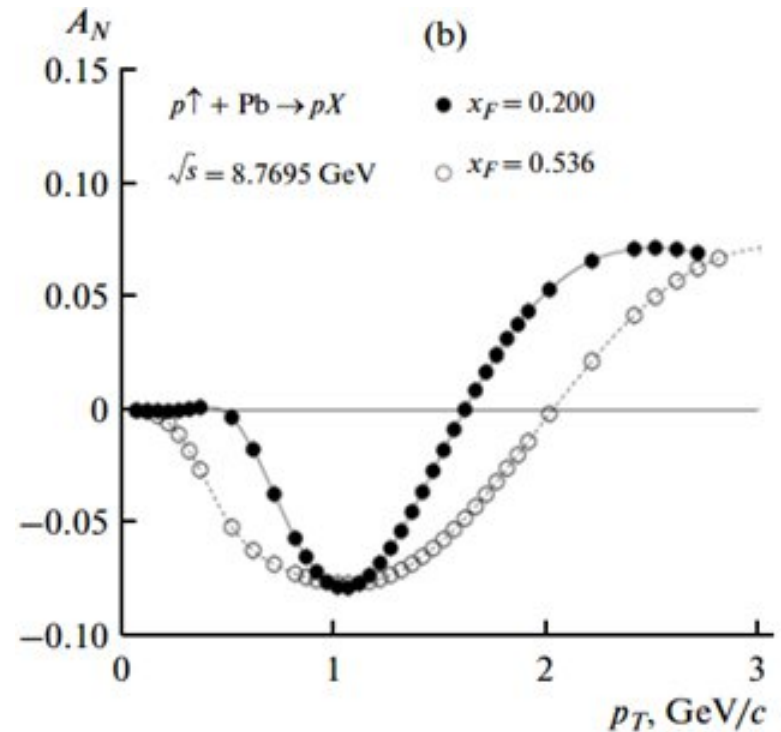
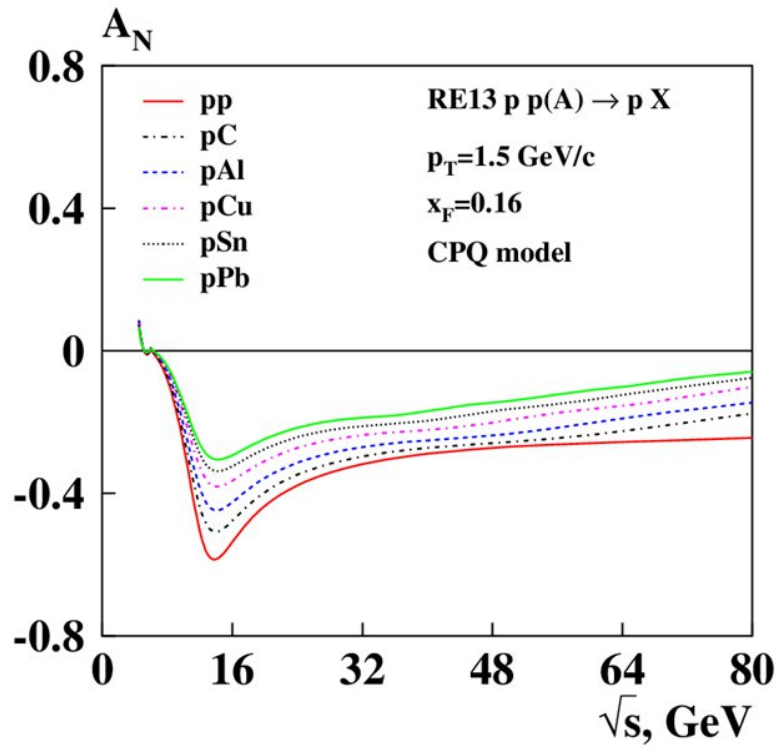
ПРЕИМУЩЕСТВА ЭКСПЕРИМЕНТА СПАСЧАРМ

- Одновременные исследования нескольких наблюдаемых
- Разнообразие пучков: поляризованные пучки протонов и антипротонов, неполяризованные π^\pm , K^\pm , p , анти- p , d , C .
- Поперечно и продольно поляризованные и ядерные мишени.
- Множество изучаемых поляризационных величин: A_N , P_N , A_{NN} , A_{LL} , D_{NN} , ρ_{ik} , ...

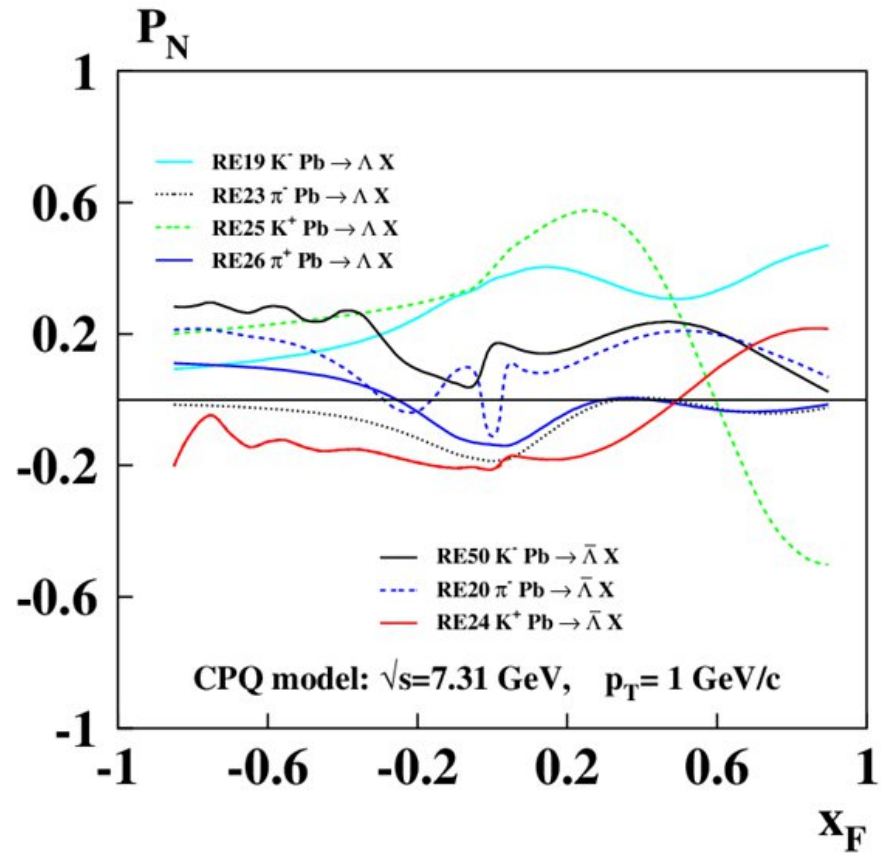
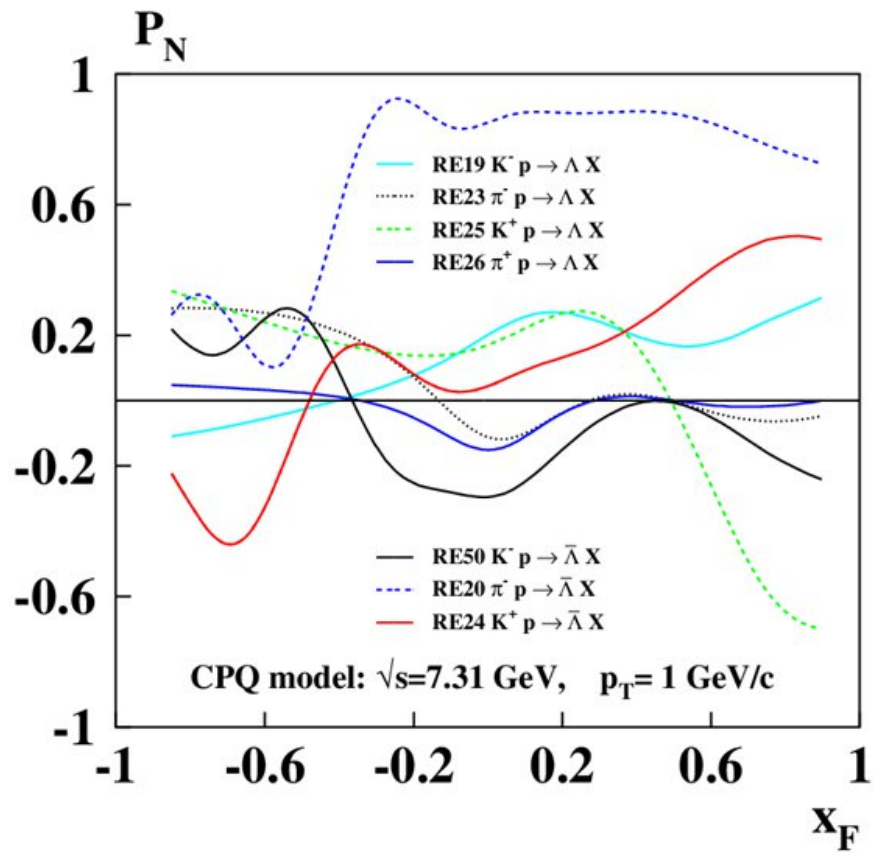
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ПУЧКОВ



ПРЕДСКАЗАНИЯ АСИММЕТРИИ ПРОТОНОВ



Предсказания сделаны в рамках модели Хромомагнитной Поляризации Кварков (ХПК) – Абрамов В.В.



ОТНОШЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И МАГНИТНОГО ФОРМ-ФАКТОРОВ ПРОТОНА

