А.Н. Васильев, Ю.М. Гончаренко, В.Н. Гришин, А.М. Давиденко,
А.А. Деревщиков, В.И. Кравцов, Ю.А. Матуленко, Ю.М. Мельник,
А.П. Мещанин, Н.Е. Михалин, Д.А. Морозов, В.В. Мочалов, Л.В. Ногач,
С.Б. Нурушев, А.Ф.Прудкогляд, П.А. Семенов, Л.Ф. Соловьев,
В.Ю. Ходырев, К.Е. Шестерманов, А.Е. Якутин

(Институт Физики Высоких Энергий, Протвино)

Н.С. Борисов, В.Н. Матафонов, А.Б. Неганов, Ю.А. Плис, Ю.А. Усов,
А.Н. Федоров

(Объединенный Институт ядерных исследований, Дубна)

А.А. Луханин

(Харьковский физико-технический институт, Харьков)

Измерение односпиновой асимметрии π^0-мезонов в реакции $p + p_{\uparrow} \to \pi^0 + X$ при энергии 70 ГэВ в области фрагментации протонов поляризованной мишени

(Предложение эксперимента ПРОЗА-2М)

Определение односпиновой асимметрии

Односпиновая асимметрия определяется как

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

P_{target} – средняя поляризация мишени;

ϕ – азимутальный угол;

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

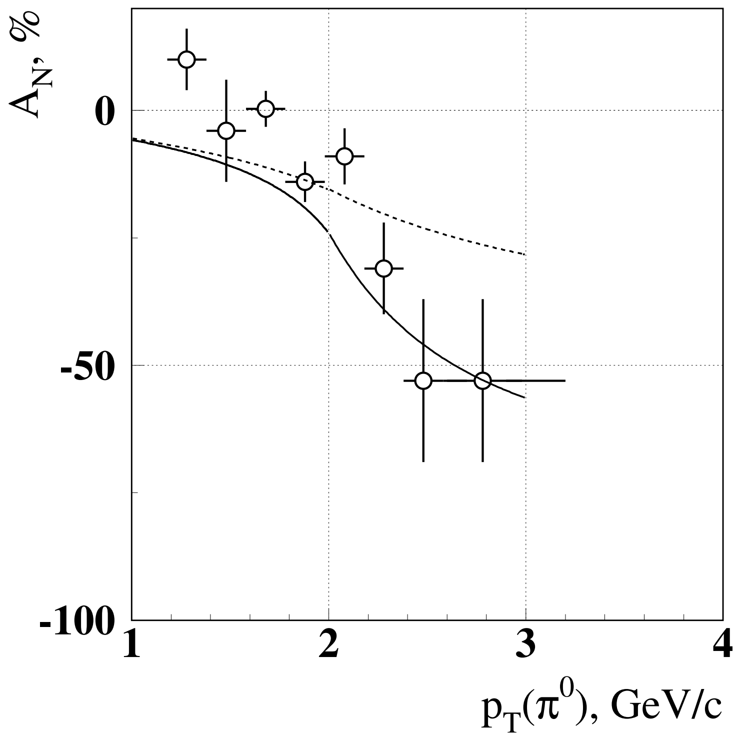
Измеряемая асимметрия

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

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

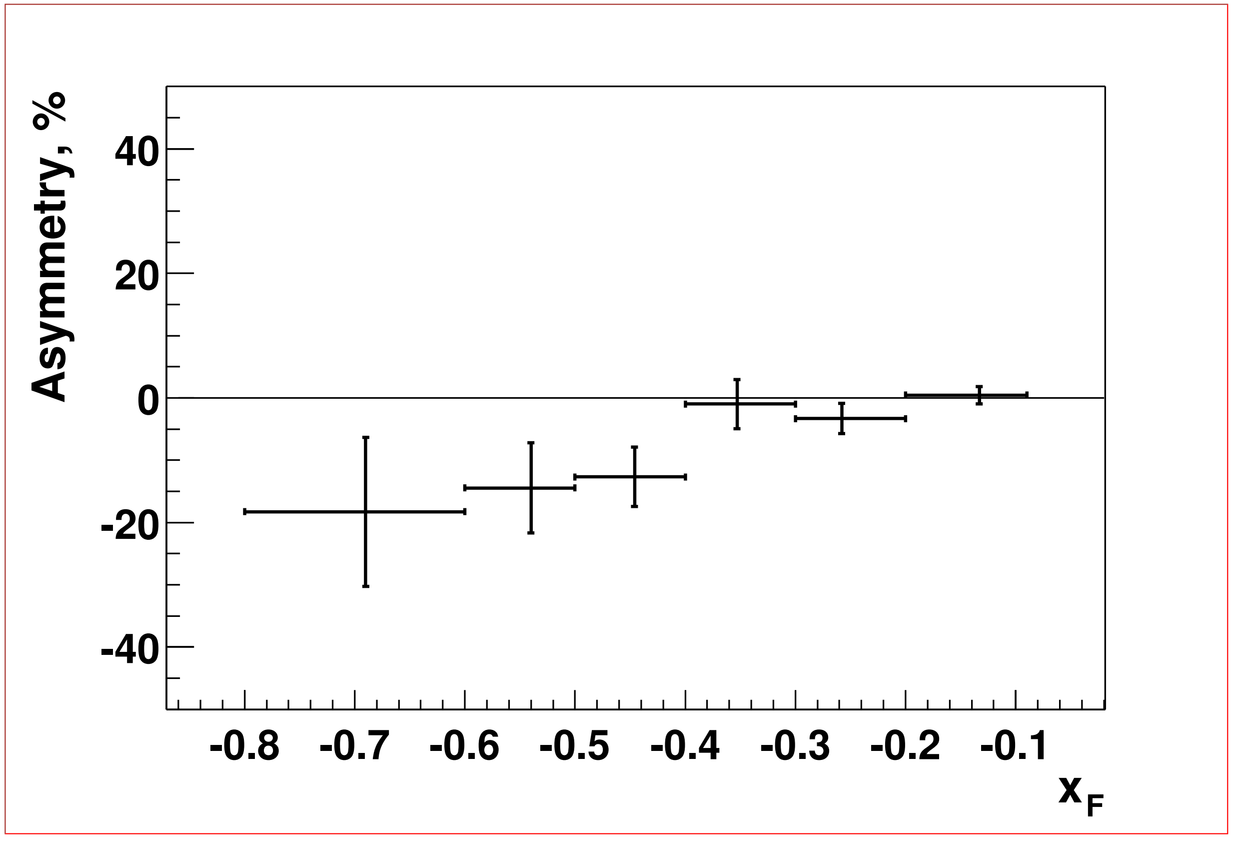
Односпиновая асимметрия A_N в реакции $\pi^- + N_\uparrow \to \pi^0 + X$ в центральной области

Асимметрия $A_N = -39 \pm 7\%$
при $p_T > 2.2$ ГэВ/с



Сплошная линия –
предсказания кварковой модели
для U-матрицы,
пунктирная – для модели
с хромомагнитным моментом
кварка.

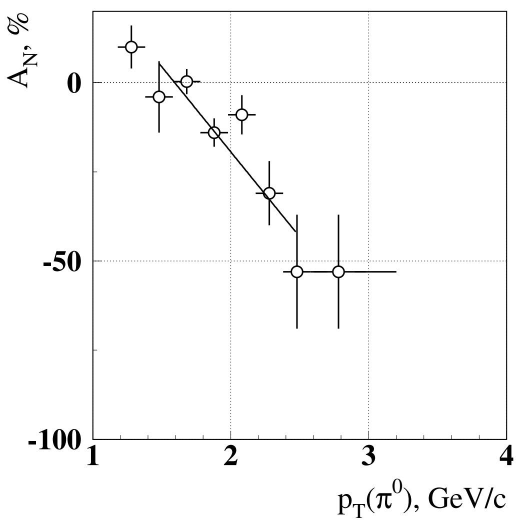
Асимметрия A_N в реакции $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ в области фрагментации поляризованной мишени



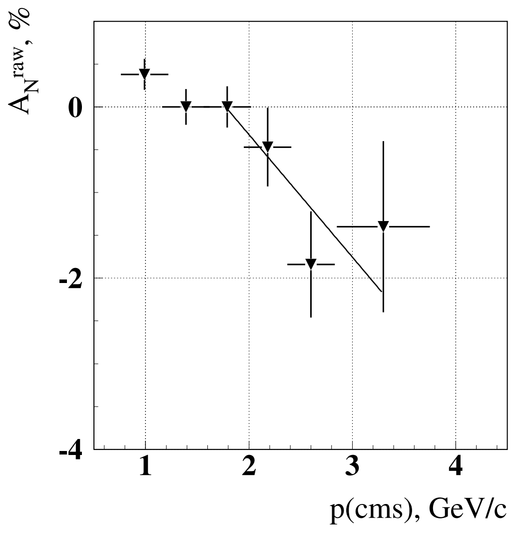
$$A_N = -13.8 \pm 3.8\% \text{ при } -0.8 < x_F < -0.4$$

Сравнение с другими экспериментами

Эксперимент	$\|A_N\|, \%$
E704, ФНАЛ	12.4 ± 1.4
STAR, БНЛ	14 ± 4
Данный эксперимент	13.8 ± 3.8

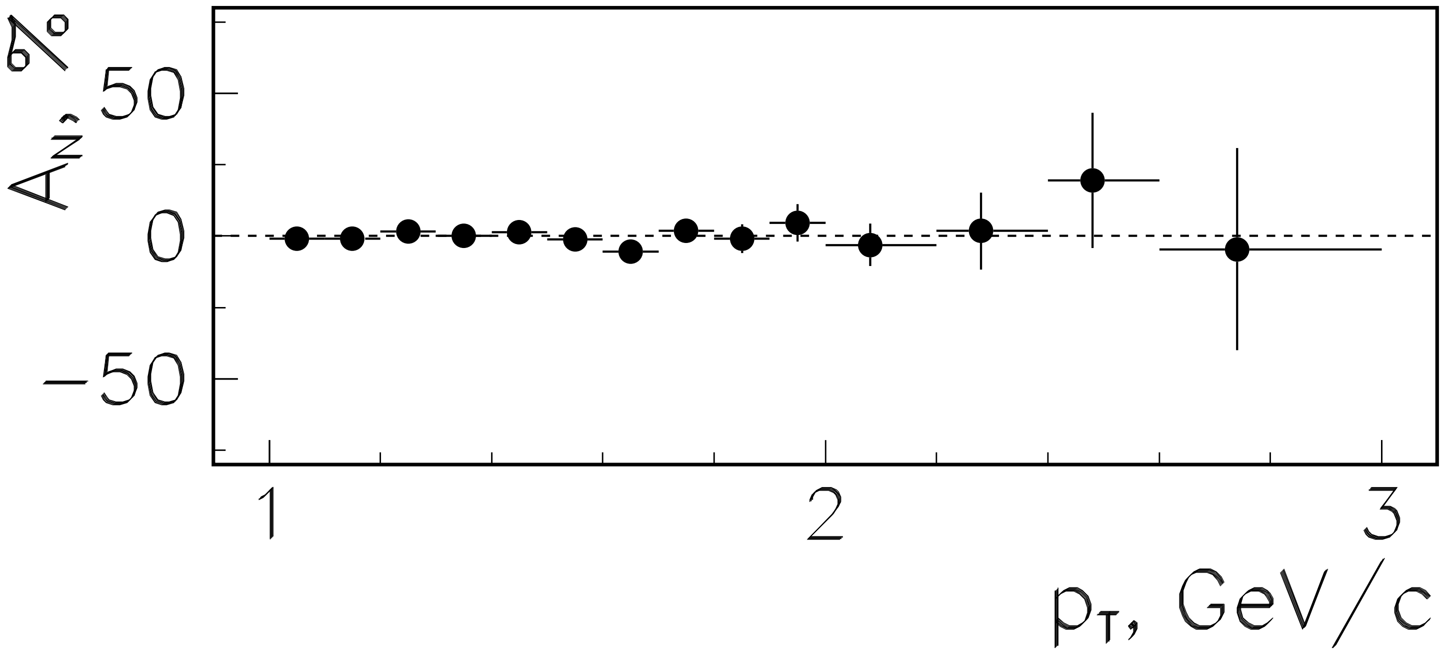


Центральная область

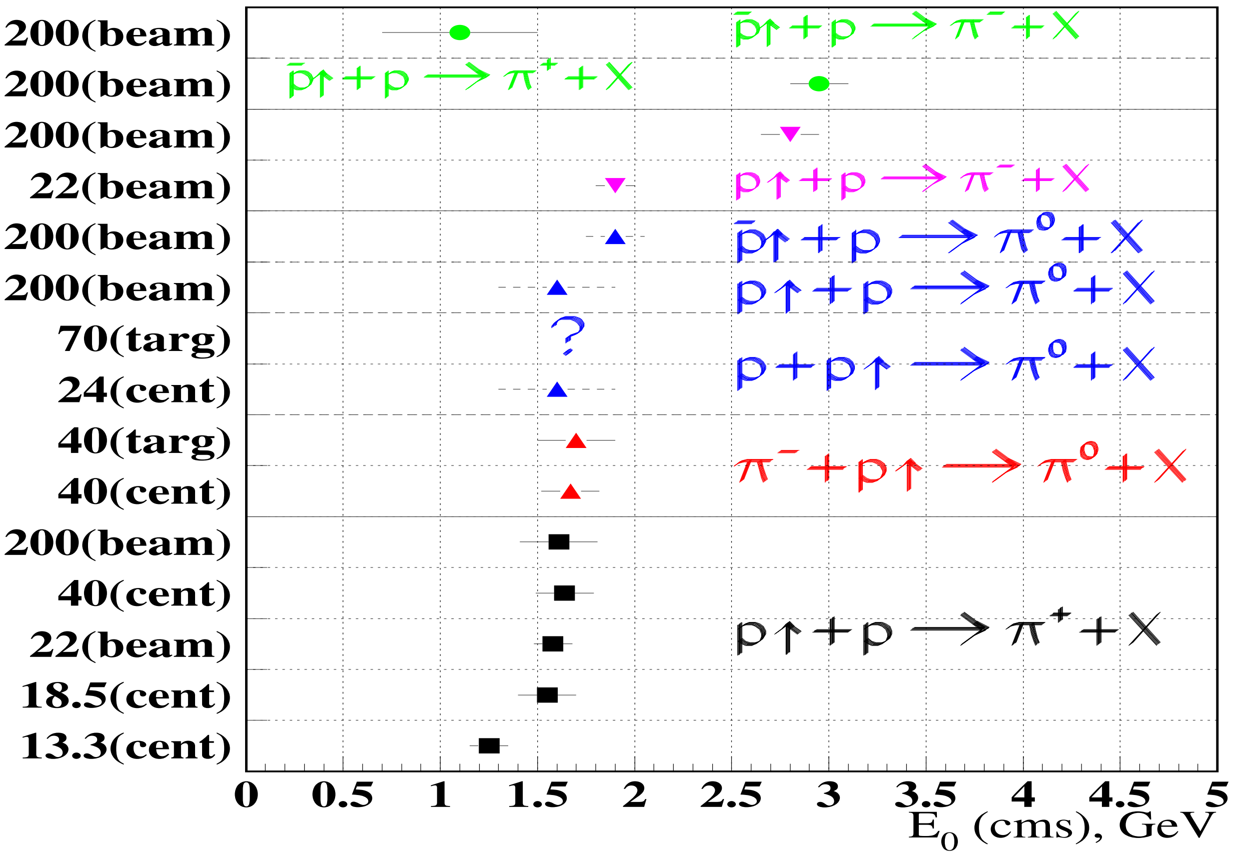


Область фрагментации мишени

Асимметрия A_N в реакции $p + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ в центральной области



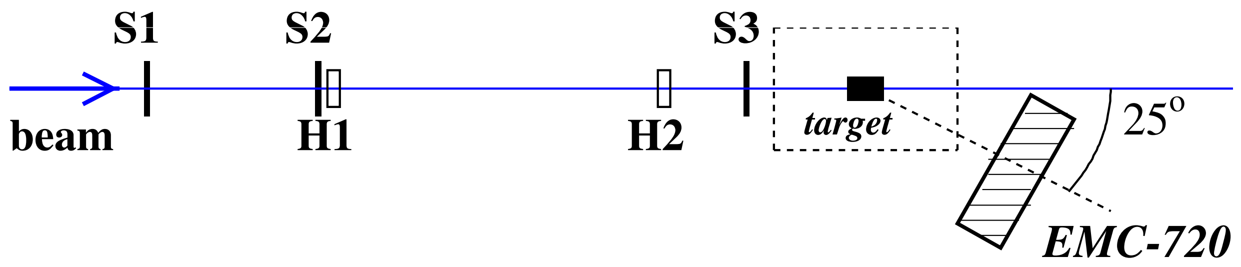
Универсальность начала роста асимметрии в экспериментах по односпиновой асимметрии π-мезонов



Основные результаты и выводы из предыдущих измерений.

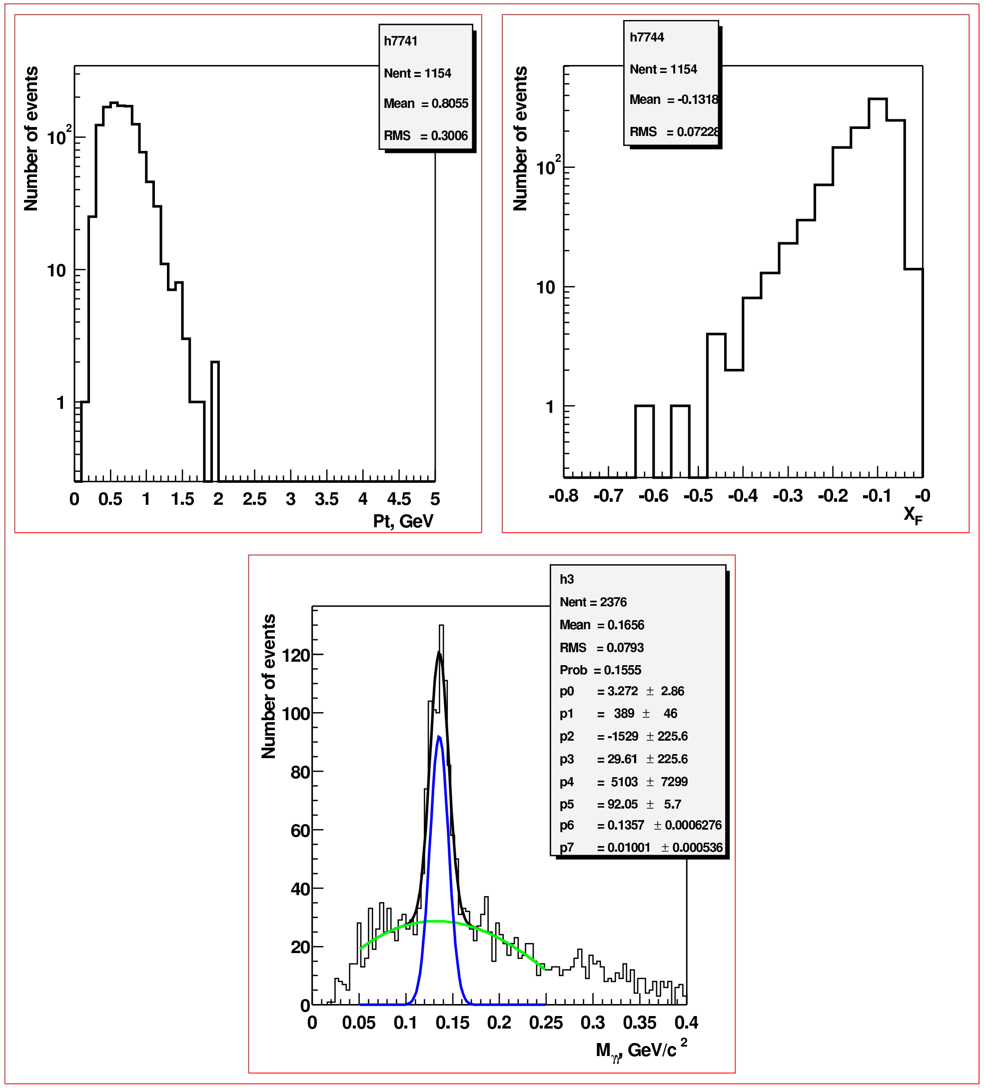
- Суммарное значение асимметрии A_N для реакций $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ и $\pi^- + d_\uparrow \to \pi^0 + X$ при $p_T > 2.2$ ГэВ/с равно $(-39 \pm 7)\%$. При значениях поперечного импульса $p_T < 1.6$ асимметрия сравнима с нулем.
- Измеренная асимметрия в реакции $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ равна $A_N = -13.8 \pm 3.8\%$ при $-0.8 < x_F < -0.4$ и p_T в диапазоне от 1 до 2 ГэВ/с. При $-0.4 < x_F < -0.1$ ГэВ/с и p_T в диапазоне от $0.5 - 1.5$ ГэВ/с асимметрия сравнима с нулем. Асимметрия в области $|x_F| > 0.4$ совместима в пределах ошибок с измерениями во ФНАЛ (E704, 200 ГэВ) и БНЛ (20 ТэВ в системе покоя мишени) в области фрагментации поляризованного протонного пучка при тех же значениях $|x_F|$.
- Асимметрия в реакции $p + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ при 70 ГэВ в области $1.0 < p_T < 3.0$ ГэВ/с равна нулю в пределах ошибок.
- Обнаружен экспериментальный факт, что асимметрия начинает возрастать при энергии π-мезона в системе центра масс в диапазоне $1.5 - 2.0$ ГэВ/с.

Постановка эксперимента

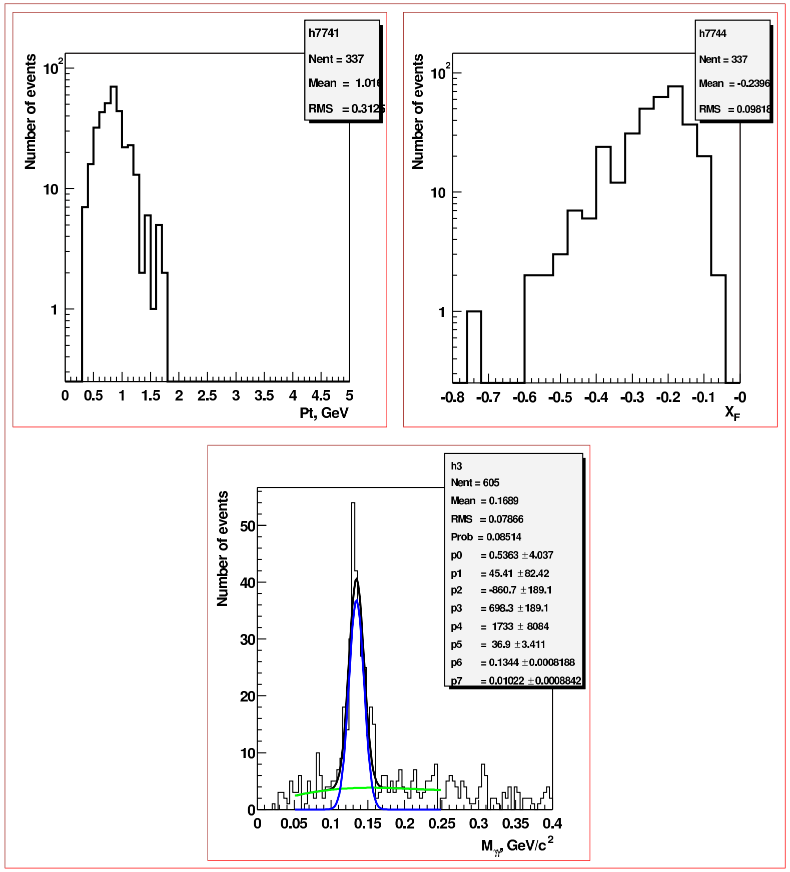


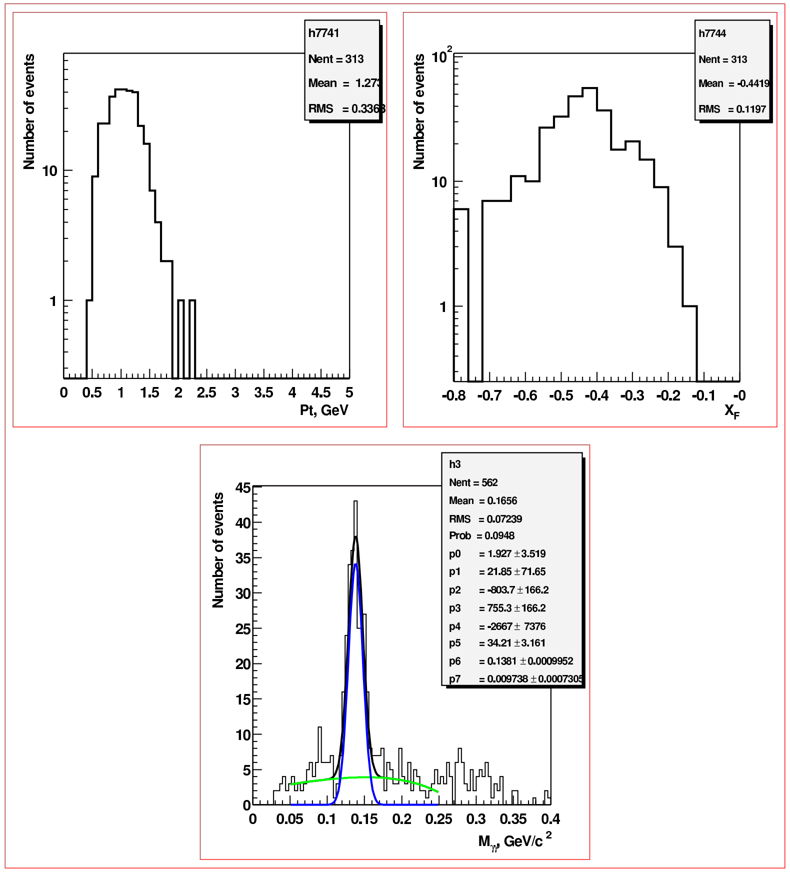
Детектор	Z от мишени	Детектор	Z от мишени
S1	−16.5 м	H1	−8.7 м
S2	−9.0 м	H2	−3.2 м
S3	−1.9 м	Мишень	0 м

Результаты моделирования при угле 25°



Моделирование при углах 30° (слева) и 40° (справа)





Запрашиваемые ресурсы

Ресурсы ОЭА:

1. изготовление блока логики триггера в стандарте СУММА на основе существующего;
2. поддержание в рабочем состоянии и ремонт блоков АЦП П-267 в течение всего эксперимента ПРОЗА-2М;
3. изготовление и наладка дополнительных стабилизаторов и блоков КП-49 для каркасов с П-267;
4. поддержка в рабочем состоянии электроники системы сбора данных “серой магистрали”.

Поддержка поляризованной мишени - Договор ИФВЭ-ОИЯИ на 2003-2006 годы с полной суммой вклада ИФВЭ 250 000 рублей.

Запрашиваемое время

Для выполнения предлагаемой физической программы мы запрашиваем 250 смен на 14-ом канале, из них:

- 50 смен ускорительного времени на комплексную настройку аппаратуры и оптимизацию условий эксперимента (пробный набор статистики во вновь выбранной геометрии) в 2003 - 2004 годах.
- Два сеанса 100 смен каждый на набор статистики на поляризованной мишени с протонным пучком при энергии 70 ГэВ в 2004-2006 годах. За это время ожидаем конечную точность определения A_N в области $-0.8 < x_F < -0.4$ примерно 2%.

Комиссия НТС по экспериментальной физике и методике (25.09.2003) рекомендует НТС ИФВЭ поддержать программу эксперимента

Приложение

Экспериментальные данные по измерению асимметрии инклюзивного рождения π^0-мезонов.

Эксперименты в центральной области:

- ЦЕРН (24 ГэВ) впервые обнаружил значительную асимметрию инклюзивного образования π^0-мезонов в реакции $p + p_\uparrow \to \pi^0 + X$.
- ПРОЗА(ИФВЭ) асимметрия рождения достигает -40% при $p_T \simeq$ 2,5–3 ГэВ/с.
- E704(ФНАЛ) при энергии 200 ГэВ — асимметрия в рождении π^0-мезонов в центральной области равна 0 в интервале $p_T =$ 1–3 ГэВ/с.

В области фрагментации поляризованного пучка

- E704 (ФНАЛ,200 ГэВ). Асимметрия $A_N(\pi^0)$-мезона достигает 15% при рассеянии поляризованных протонов и антипротонов.
- Недавно опубликованная асимметрия π^0-мезонов в эксперименте STAR на ускорителе со встречными пучками при $\sqrt{s}$ достигает $14 \pm 4\%$ при больших значениях x_F.

Приложение

Краткий обзор теоретических моделей

В рамках пертурбативной КХД асимметрия не возникает

Разработаны модели, в которых асимметрия объясняется:

- введением дополнительного поперечного импульса кварка $\boldsymbol{k}_T$:
  - в *начальном состоянии* – несимметричность функции плотности распределения кварков для противоположных направлений поляризации протона (механизм Сиверса);
  - в *конечном состоянии* – несимметричность функций фрагментации для противоположных направлений поляризации протона (механизм Коллинза);
- вкладом высших твистов (Ефремов, Теряев);
- влиянием орбитального момента:
  - валентных кварков (Берлинская модель) ;
  - кварк-антикваркового облака внутри конституентного кварка (кварковая модель для U-матрицы – Трошин, Тюрин);
- взаимодействием магнитного момента кварков с хромомагнитным полем (Рыскин, Абрамов);
- образованием резонансов или возбужденных состояний.

Приложение

Стабильность протонного пучка

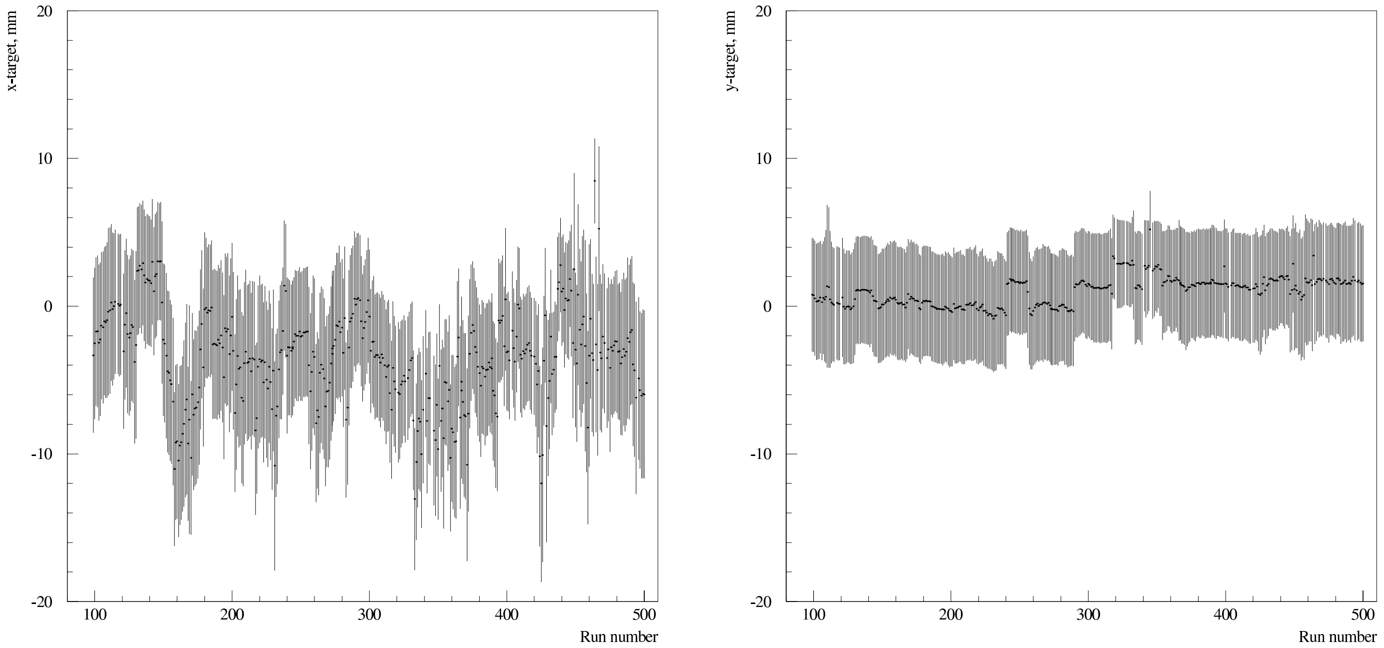
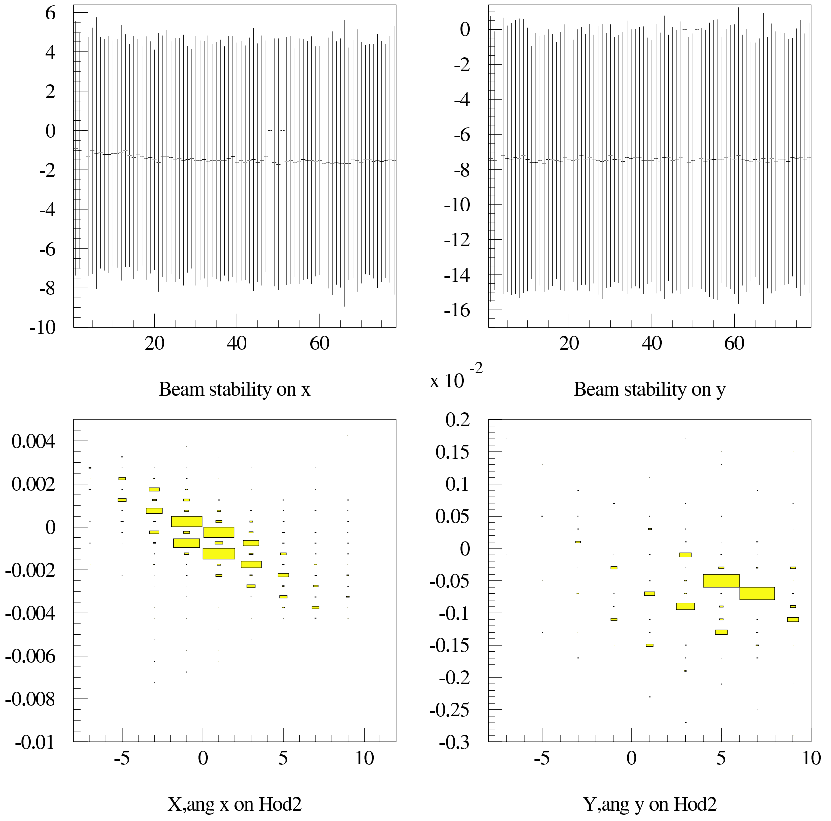


Рис. 1: Зависимость среднего значения и ширины горизонтальной (слева) и вертикальной (справа) координат выведенного протонного пучка на мишени установки ПРОЗА-М от номера Run-а (каждая точка соответствует примерно интервалу времени 30 минут) в сеансе 1996 г. Центр мишени расположен при $X_{target} = 0$ мм и $Y_{target} = 0$ мм. Размер ошибок соответствует ширине (3σ) пучка.

Приложение

Получение стабильного протонного пучка



fff

Стабильность центра тяжести выведенного протонного пучка и угловое распределение на годоскопе H2 при работе 25-го кристалла в специальных измерениях в сеансе осень–99. Для верхних рисунков по оси абсцисс отложены “сбросы”, а по оси ординат — расстояние в миллиметрах от центра мишени, причем по горизонтали центр мишени расположен в X=0 мм а по вертикали — в Y=–7 мм.
Для нижних рисунков по оси абсцисс отложена координата в миллиметрах, а по оси ординат — угол в миллирадианах.

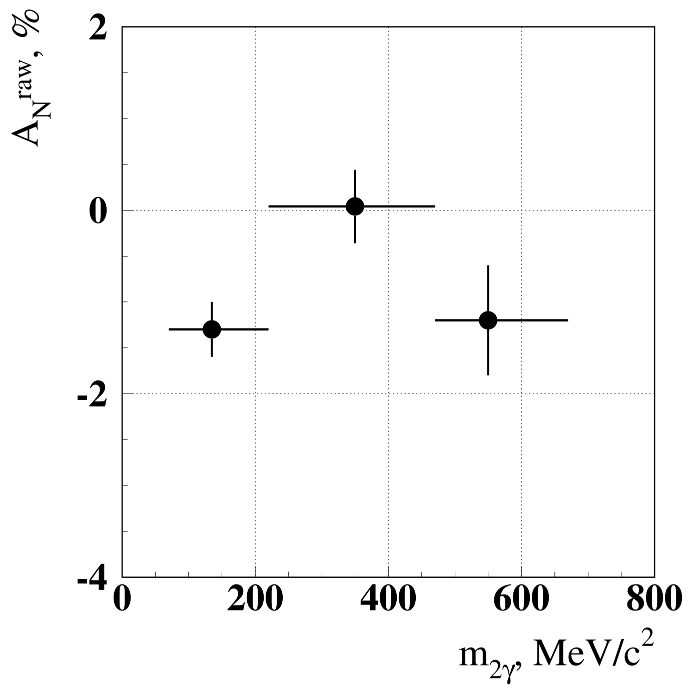
Приложение

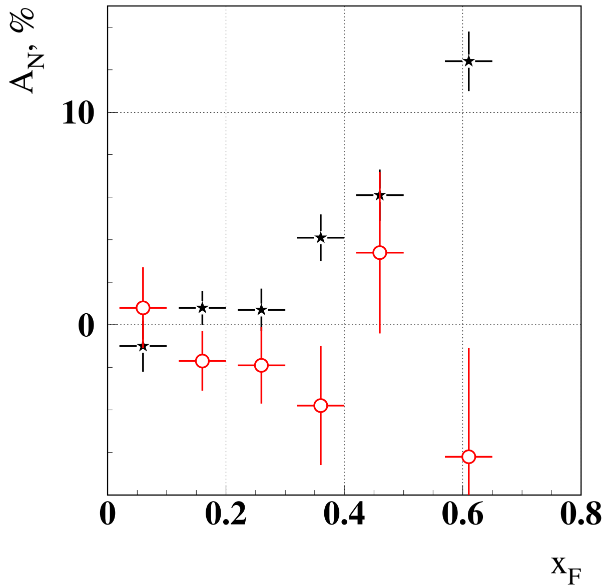
Поляризованная протонная мишень

- Поляризованная водородная или дейтериевая мишень замороженного типа
- Вещество - пропандиол ($C_3H_8O_2$ или $C_3D_8O_2$), длина - 20 см, диаметр 18 мм)
- Поле $>$ 2.5 Т с однородностью $\Delta B/B = \pm 10^{-4}$ при накачке
- Поле в режиме набора статистики 0.25 Т
- Средняя поляризация мишени $80 \pm 5\%$ (35% для дейтерия).
- Тонкостенный горизонтальный криостат
- Мишень выдерживает интенсивность пучка до 10^7 частиц/цикл
- Время релаксации - 1000 часов для водородной и более 300 часов для дейтериевой мишени.
- Температура 0.33° K в режиме накачки поляризации и до 0.16° K в режиме замороженной мишени.
- Накачка поляризации (с реверсом) около четырех часов (один раз за 48 часов)

Алгоритм вычисления асимметрии

Асимметрия пары гамма квантов вне массового пика π^0 мезонов A_{backgr} равна 0 (результаты E-704 и ПРОЗы):





Алгоритм вычисления асимметрии

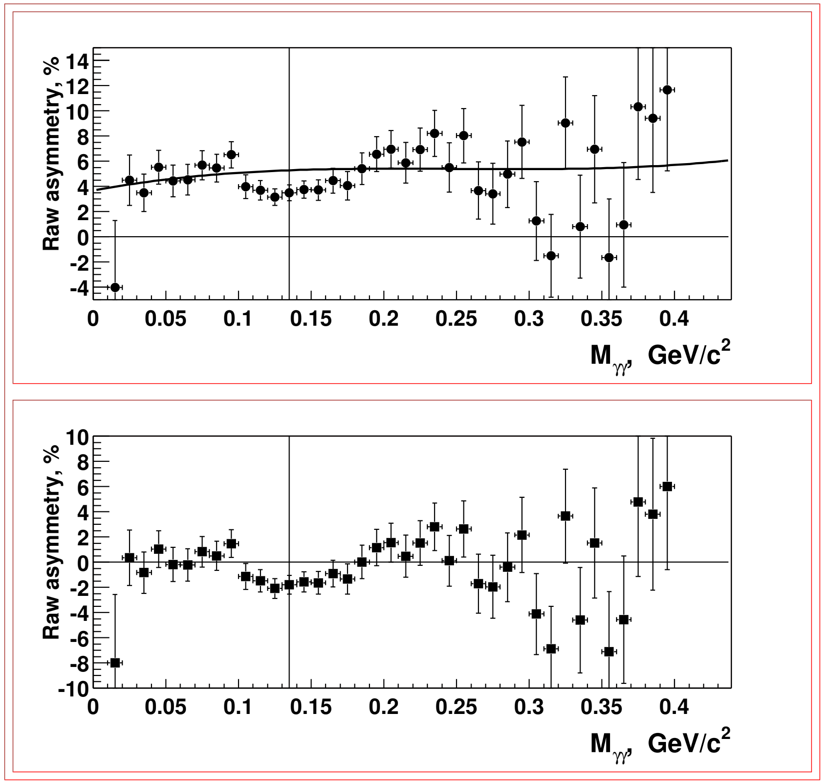
• При наличии ложной асимметрии (долговременная нестабильность):

$A_{\pi^0}^{measured} = k \times A_{\pi^0}^{real} +$
$+A_{backgr}$

• A_{backgr} фитируется вне массового пика

• Полученная A_{backgr} вычитается из $A_{2\gamma}^{measured}$

• Результат фитируется (с учетом веса по Гауссу)



Приложение

Разделение обязанностей

Организация вывода пучка и пучковая аппаратура — Ю.М. Гончаренко, В.Н. Гришин, А.П. Мещанин.

Поляризованная мишень — Н.С. Борисов, В.Н. Матафонов, А.Б. Неганов, Ю.А. Плис, Ю.А. Усов, А.Н. Федоров, Ю.М. Мельник, А.Ф. Прудкогляд, А.А. Луханин

Электромагнитный калориметр — В.А. Кормилицын, А.П. Мещанин, С.Б. Нурушев, В.Ю. Ходырев, А.Е. Якутин.

Триггерная и регистрирующая электроника — Ю.М. Гончаренко, А.М. Давиденко, А.А. Деревщиков, В.И. Кравцов, Н.Е. Михалин, П.А. Семенов.

Система сбора данных и комплекс программ для обработки "в линию" — В.И. Кравцов, В.В. Мочалов, Д.А. Морозов, П.А. Семенов, В.Ю. Ходырев.

Физический анализ данных — А.Н. Васильев, Ю.А. Матуленко, Д.А. Морозов, В.В. Мочалов, Л.В. Ногач, Л.Ф. Соловьев, К.Е. Шестерманов.

Основные публикации по эксперименту ПРОЗА-М в 2003 году.

1. *Измерение односпиновой асимметрии инклюзивного рождения π^0-мезонов при 40 ГэВ в области фрагментации поляризованной мишени.*

   Препринт ИФВЭ 2003-21, принято в ЯФ.

2. *Поиск односпиновой асимметрии инклюзивного рождения π^0 мезонов в центральной области при энергии протонного пучка 70 ГэВ.*

   Препринт ИФВЭ 2003-22, принято в ЯФ.

3. *Общие особенности односпиновой асимметрии инклюзивного рождения π-мезонов в экспериментах с фиксированной мишенью.*

   Препринт ИФВЭ 2003-26, принято в ЯФ.

4. *Indication on the universal hadron substructure: constituent quarks.*

   Препринт ИФВЭ 2003-27, принято в Phys. Rev. D.