

Измерение асимметрии
инклюзивного рождения
 π^0 -мезонов на установке
ПРОЗА-2

В. Мочалов

(от имени сотрудничества
ПРОЗА-2)

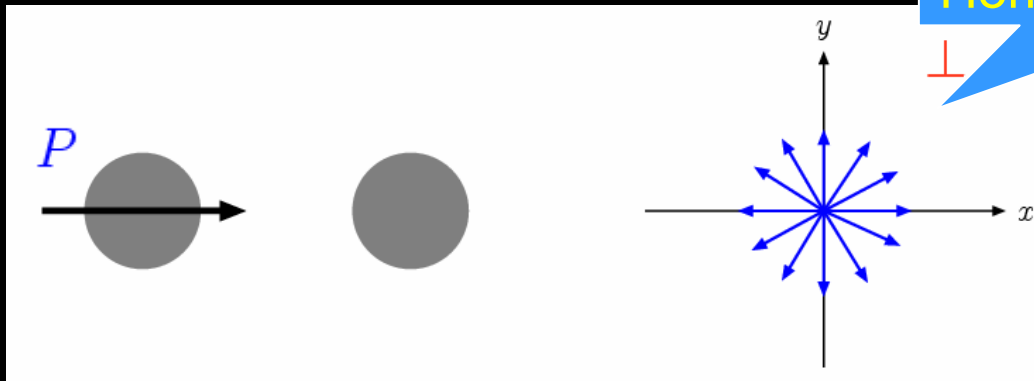


Что мы ~~НЕ~~ знали о роли спина в СИЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

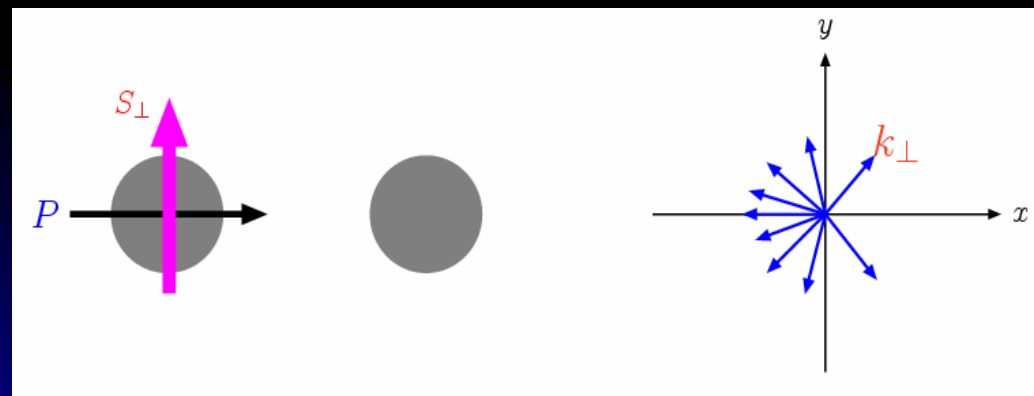
- Спиновые эффекты в сильных взаимодействиях ~~НЕ~~ малы:
 - Односпиновая асимметрия ~~НЕ~~ мала и ~~НЕ~~ падает с ростом энергии (m_q/\sqrt{s})
 - Асимметрия ~~НЕ~~ падает с ростом поперечного импульса.
- Спин протона ~~НЕ~~ состоит из спина кварков

Что такое односпиновая асимметрия

Поперечная плоскость



Вторичные частицы имеют азимутальную симметрию



$$d\sigma \propto \vec{S}_{\perp} \cdot (\vec{P} \times \vec{K}_{\perp})$$

$$A_N = \frac{L - R}{L + R}$$

Появляется азимутальная асимметрия

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°).

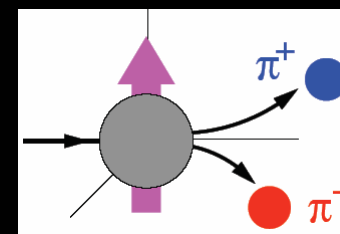
Измеряемая асимметрия

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

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

За счет чего может возникнуть односпиновая асимметрия?

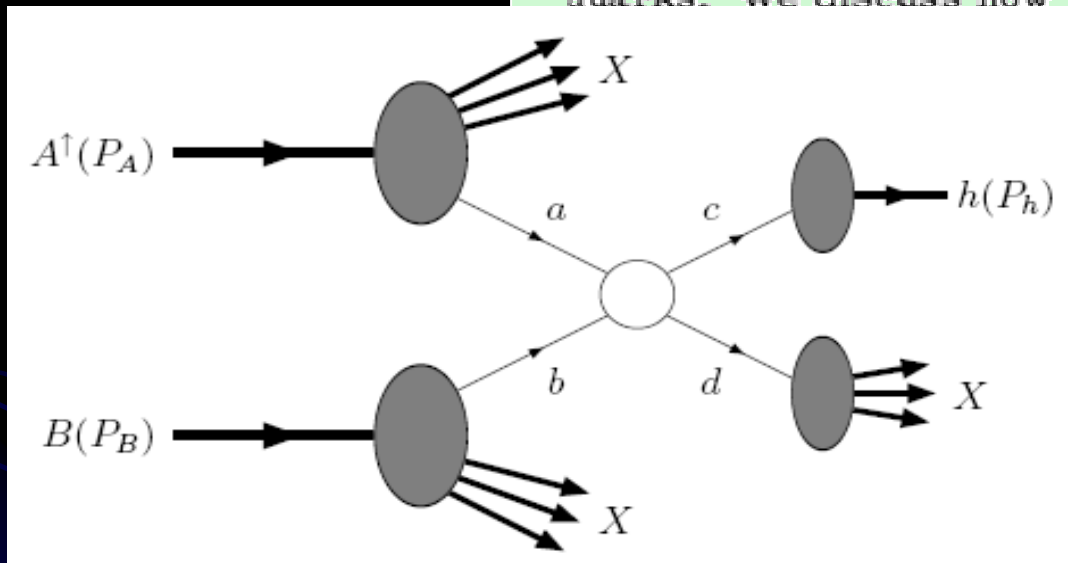
- Односпиновая асимметрия требует:
 - **Наличие переворота спина:** должен существовать механизм, позволяющий адрону изменить направление спина
 - **Разница фаз:** разница фаз необходима, так как структура $S \cdot (p \times k)$ нарушает инвариантность обращения во времени



Односпиновые параметры

- В жестких процессах
позволяет объяснить

In this note we have pointed out that the asymmetry off a polarized target, and the transverse polarization of a produced quark in $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$, or in $qq \rightarrow qq$ at large p_T , or in leptonproduction, should all be calculable perturbatively in QCD. The result is zero for $m_q = 0$ and is numerically small if we calculate m_q/\sqrt{s} corrections for light quarks. We discuss how to test the predictions.



if P is small, tests
a large- p_T production
[for $p_T \approx 2 \text{ GeV}/c$],
fragmentation effects
they cannot (by parity
polarization. Consequent-
ant polarizations in the
tradict either QCD or

and Repko PRL 41 1978

- В формуле сечения процесса $2 \rightarrow 2$ нет спиновозависящих функций

$$E_h \frac{d\sigma^{AB \rightarrow hX}}{d^3p_h} = \sum_{a,b,c,d} \int dx_a dx_b dz_h f_a(x_a) \cdot f_b(x_b) \cdot \frac{\hat{s}}{z_h^2 \pi} \frac{d\sigma^{ab \rightarrow cd}}{d\hat{t}} \delta(\hat{s} + \hat{t} + \hat{u}) \cdot D_{h/c}(z)$$

Модели, объясняющие поперечные спиновые эффекты

- Основные модели, объясняющие возникновение поперечной односпиновой асимметрии

- Спин-зависящая поперечная Функция фрагментации (Эффект Коллинза)

$$D_{h/q^\uparrow}(z, \vec{p}_\perp) = D_{h/q}(z, p_\perp) + \frac{1}{2} \Delta^N D_{h/q^\uparrow}(z, p_\perp) \vec{S}_q \cdot$$

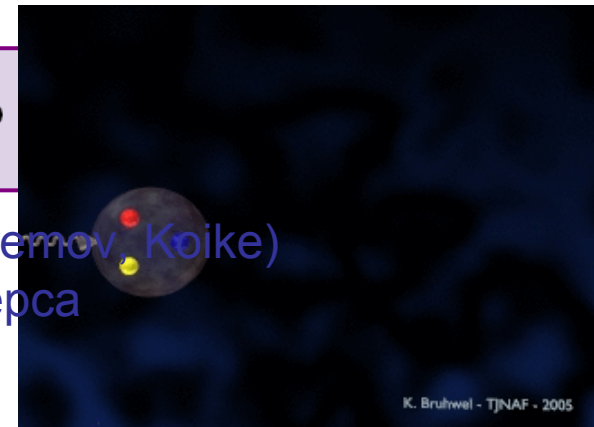
- Функция распределения партонов внутри поперечно поляризованного протона (Функция Сиверса)

- Причина возникновения не обсуждается, например орбитальный момент

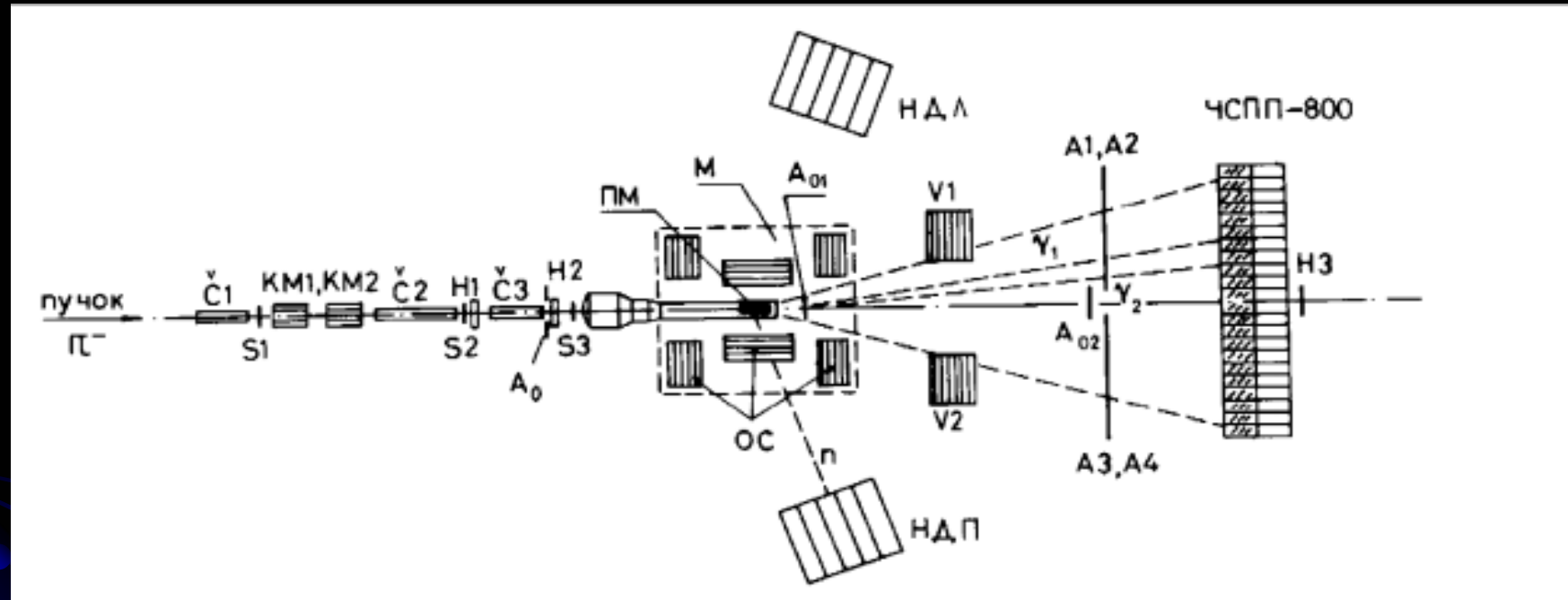
$$f_{q/p^\uparrow}(x, \mathbf{k}_\perp) = f_{q/p}(x, k_\perp) + \frac{1}{2} \Delta^N f_{q/p^\uparrow}(x, k_\perp) \mathbf{S}_T \cdot (\hat{\mathbf{P}}$$

- Вклад высших (Twist-3) диаграмм (Qiu-Sterman, Efremov, Koike)

- Данные вычисления связаны с функцией Сиверса
- Комбинация разных эффектов



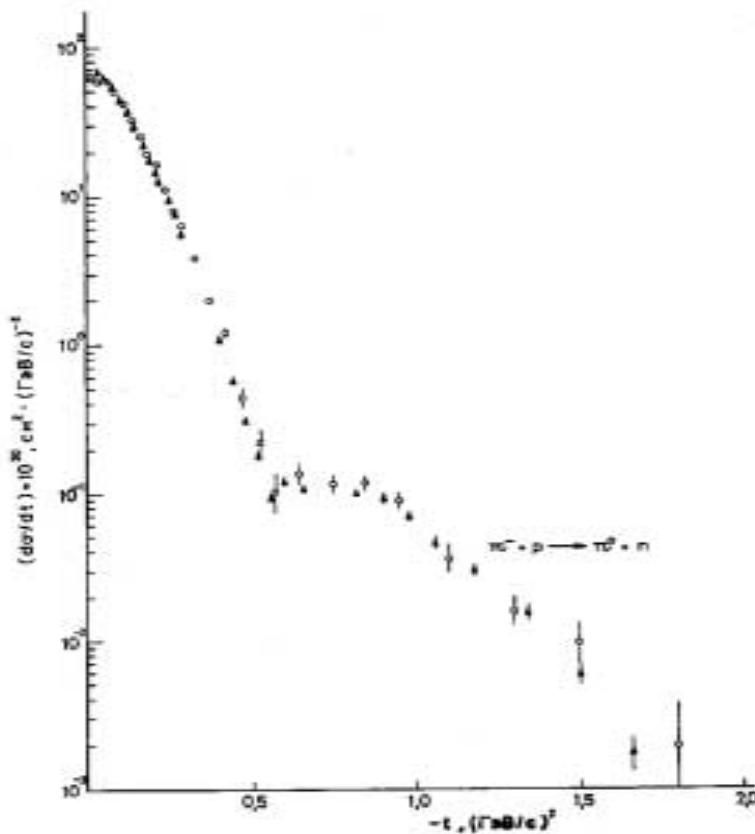
Первые измерения односпиновой асимметрии в Протвино



- В 1978 г. (30 лет!) первые исследования с использованием поляризованной протонной мишени ИФВЭ-ОИЯИ

Поляризация в реакции

$\pi^0 n$

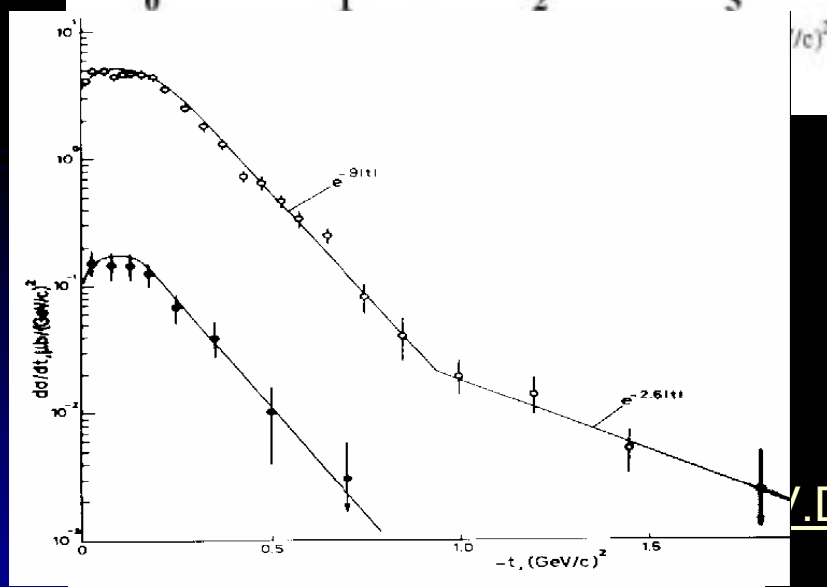
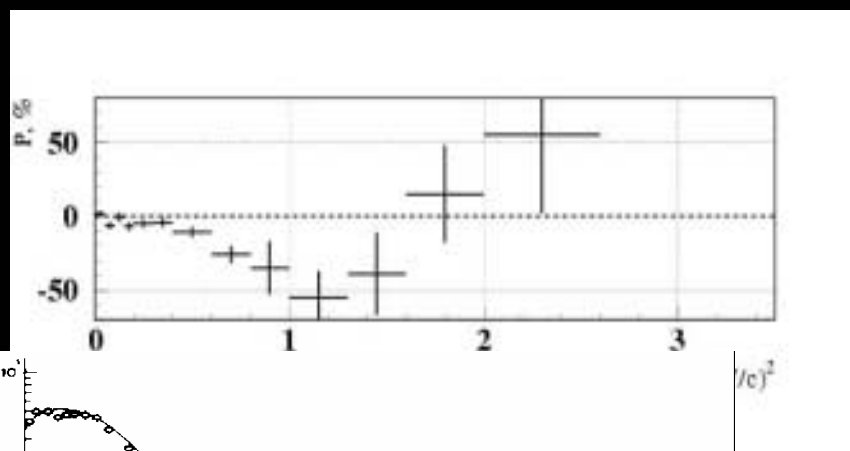


V.D. Aronin et al. Z.Phys.C 15:295, 1982

- Поляризация $P(t)$ в области $0 < |t| < 0.35$ $(\text{GeV}/c)^2$ равна $(5.0 \pm 0.7)\%$.
- Существует локальный минимум в области при $t = -0.25$ $(\text{GeV}/c)^2$.
- Поляризация имеет минимум в области минимума в дифференциальном сечении.
- Поляризация осциллирует.

Поляризация в реакциях

$\pi^- p_{\uparrow} \rightarrow \eta n$ and $\pi^- p_{\uparrow} \rightarrow \eta'(958) n$

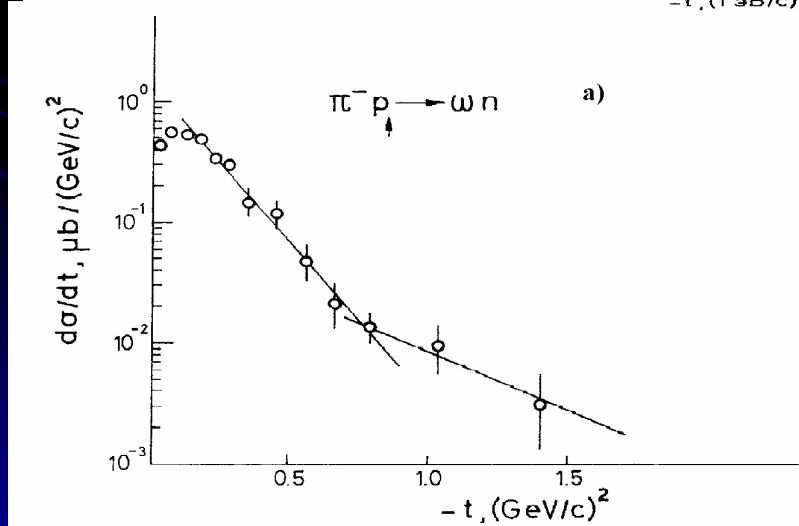
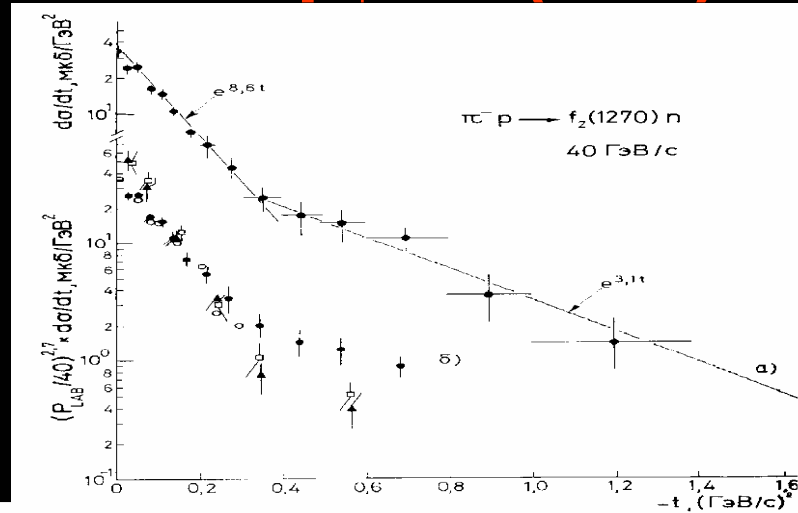


- Поляризация в реакции $\pi^- p_{\uparrow} \rightarrow \eta n$ при 40 ГэВ велика в широком интервале $0.05 < -t < 1.6$ (GeV/c)² и достигает величины $A_N = (-44 \pm 11)\%$ в области $|t| 0.8-1.6$ (GeV/c)²
- Минимум поляризации достигается в точке изменения наклона сечения
- Поляризация меняет знак при $-t = 1.8$ (GeV^2/c^2).
- Среднее значение поляризации в реакции $\pi^- p_{\uparrow} \rightarrow \eta'(958) n$ в области $0.05 < -t < 0.5$ (GeV^2/c^2) составляет $(-17 \pm 8)\%$.

V.D. Arokin et al., Z.Phys.C35:173,1987.

Асимметрия в реакциях

$\pi^- p_{\uparrow} \rightarrow \omega(783) n$ и $\pi^- p_{\uparrow} \rightarrow f_2(1270) n$

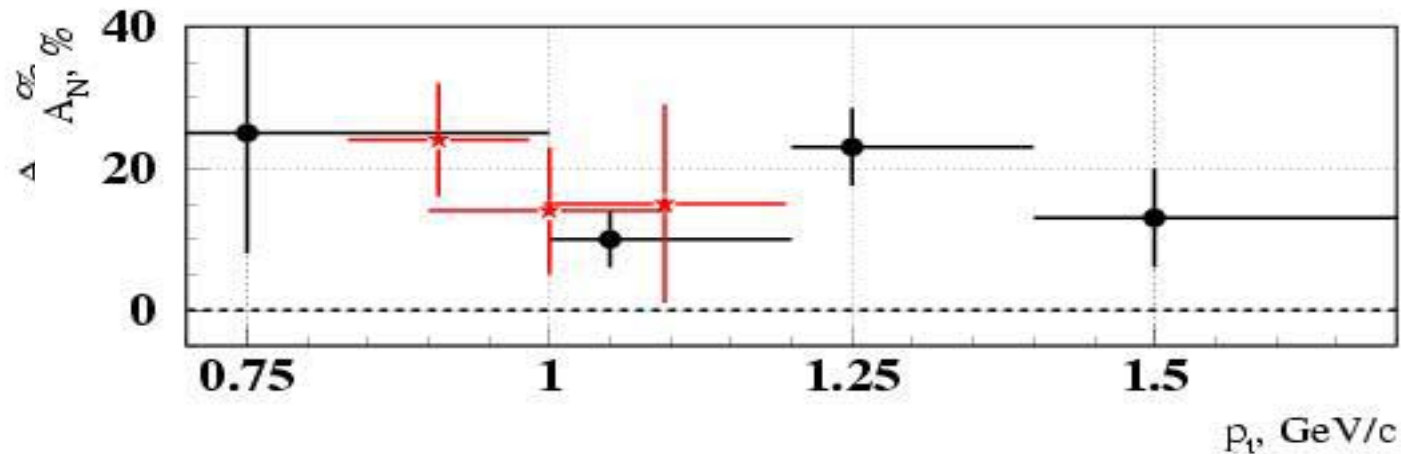


- ω регистрируется в моде распада $\pi\gamma$ (branching 8.9%).
- Асимметрия велика в обеих реакциях
- Асимметрия минимальна примерно в области изменения наклона сечения как для ω , так и для f_2

Выводы из измерения асимметрии в зарядово-обменных реакциях

- Большие значения поляризации (асимметрии) были обнаружены при 40 ГэВ в реакциях
 $\pi^- p_{\uparrow} \rightarrow \pi^0 n$, $\pi^- p_{\uparrow} \rightarrow \eta n$, $\pi^- p_{\uparrow} \rightarrow \eta'(958) n$, $\pi^- p_{\uparrow} \rightarrow \omega(783) n$, $\pi^- p_{\uparrow} \rightarrow f_2(1270) n$
- Для всех реакций минимум асимметрии совпадает с изменением наклона дифференциального сечения
- Во всех реакциях наблюдаются осцилляции асимметрии
- Есть указание, что асимметрия больше по величине для «тяжелых» частиц и в области $-t=1$ (ГэВ/с)² асимметрия отрицательна, тогда как для π^0 -мезона положительна.
- **Ни одна теоретическая модель НЕ может объяснить результаты измерений.**

Асимметрия инклюзивного рождения π^0 -мезона в области фрагментации пучка



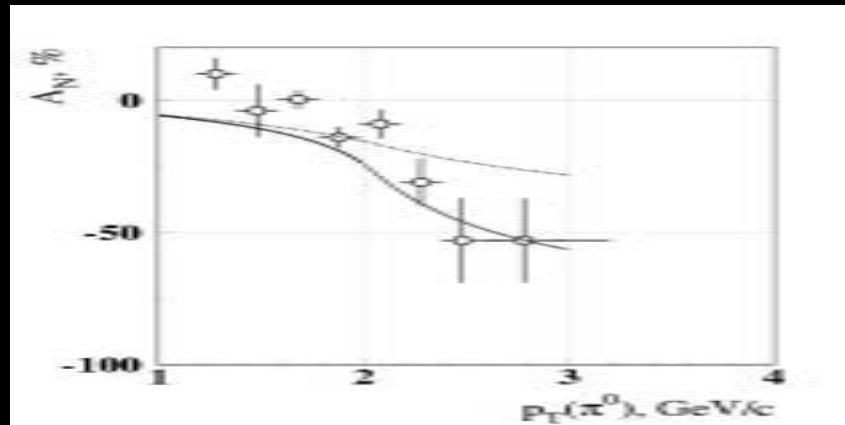
V.D. Arakid et al. *SPIN-91*
(Rapidity) Proc., p.283, 1992

Асимметрия инклюзивного рождения π^0 -мезона в области фрагментации пучка (ошибка ~4%) в до-обменной реакции

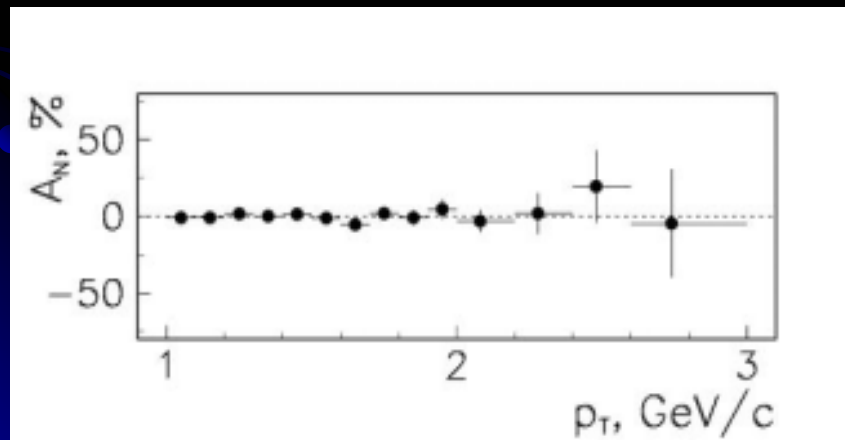
- Можно ожидать ненулевую асимметрию инклюзивного рождения частиц вблизи границы фазового объема

Асимметрия инклюзивного рождения π^0 в центральной ($x_F=0$) области

$\pi p_{\uparrow} \rightarrow \pi^0 X$, Phys.Lett.B243,461 (1990)



- Асимметрия в реакции $\pi p(d)_{\uparrow} \rightarrow \pi^0(\eta)X$ велика и не зависит от типа мишени. Результат не может быть объяснен в рамках моделей Сиверса и Коллинза.



- Асимметрия в реакции $pp_{\uparrow} \rightarrow \pi^0 X$ совпадает с нулем для всего интервала p_T , что подтверждает результат эксперимента E-704 при энергии 200 ГэВ.

$pp_{\uparrow} \rightarrow \pi^0 X$, Phys.At.Nucl, 67 (2004) 1487

30.10.2008

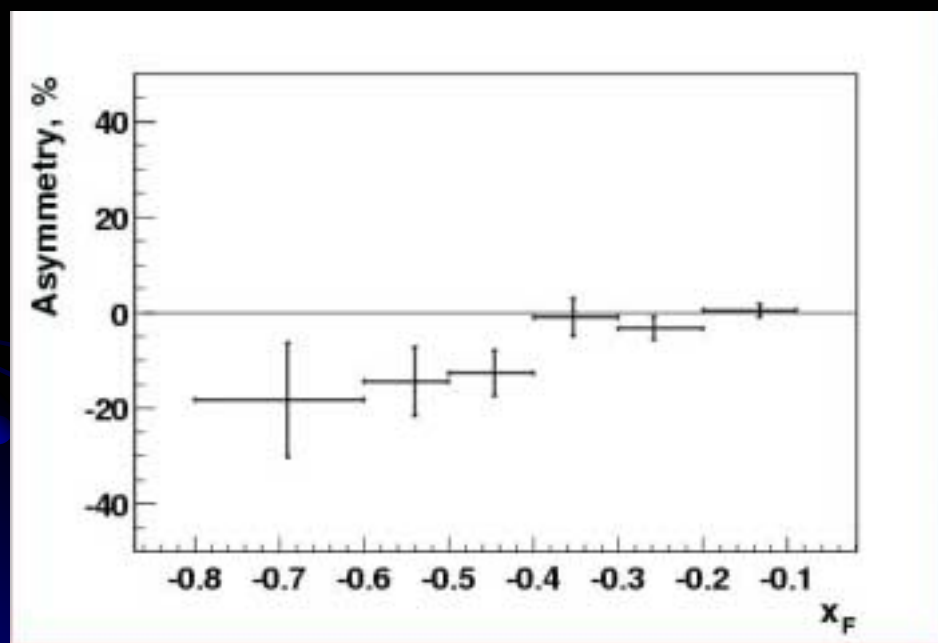
В. Мочалов, Семинар ИФВЭ

14

Первые результаты по измерению асимметрии в области фрагментации мишени.

$\pi^- p_{\uparrow} \rightarrow \pi^0 X$,

Phys.At.Nucl, 67 (2004) 1495



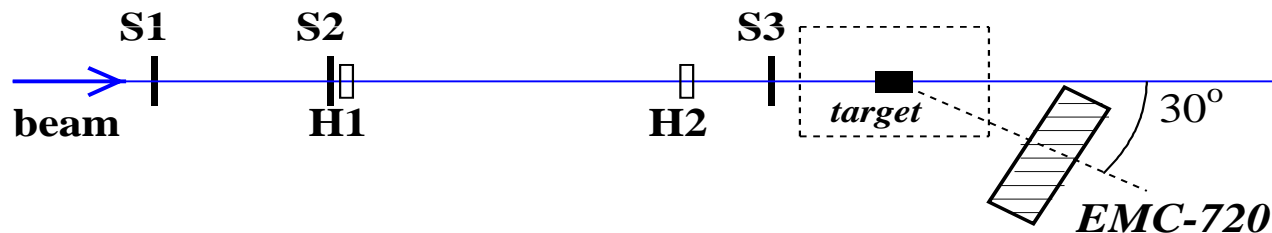
Асимметрия инклюзивного рождения π^0 -мезона в области фрагментации поляризованной протонной мишени была измерена в 1996-2002 в реакции

$\pi^- p_{\uparrow} \rightarrow \pi^0 X$

A_N возрастает по величине с ростом $|x_F|$, что совпадает с данными экспериментов E704 и STAR.

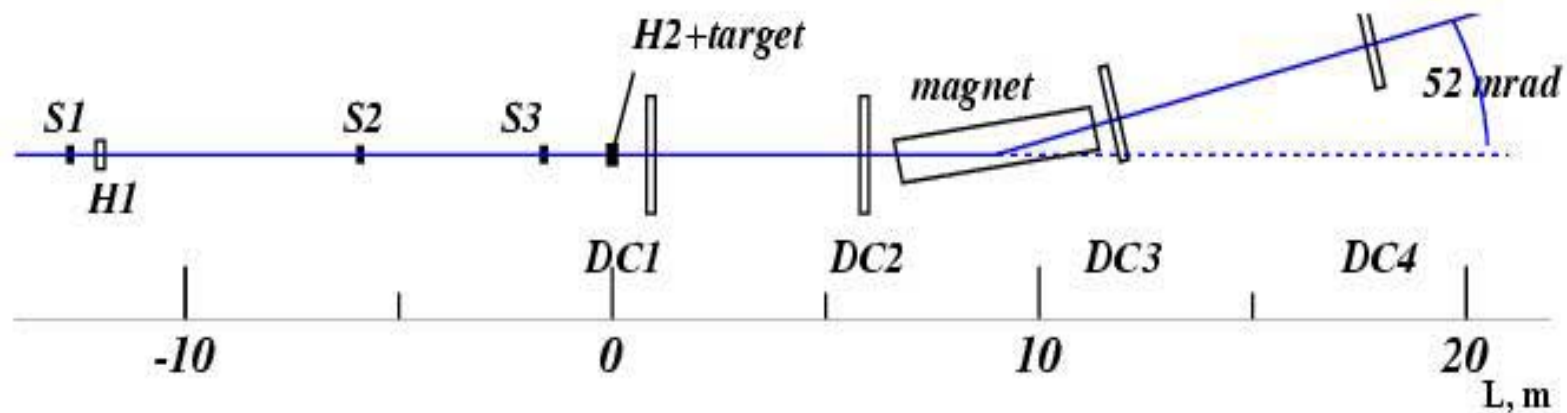
Измерение асимметрии в реакции $pp_{\uparrow} \rightarrow \pi^0 X$ в области фрагментации мишени

- Измерения проведены в 2005 и 2007 гг. на канале 14.
- Пучок – протоны с энергией 50 ГэВ, интенсивность – до $5 \cdot 10^6$
- Гамма детектор – матрица 30×24 ячеек свинцового стекла под углом 30° в лаб. системе, расстояние от мишени – 2.16 м.
- Триггер на энергию (в 2007 на поперечную энергию).

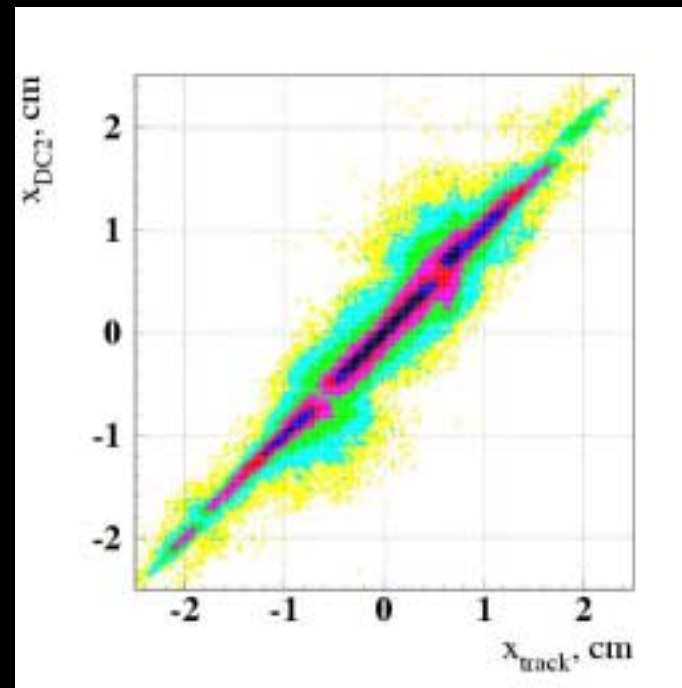
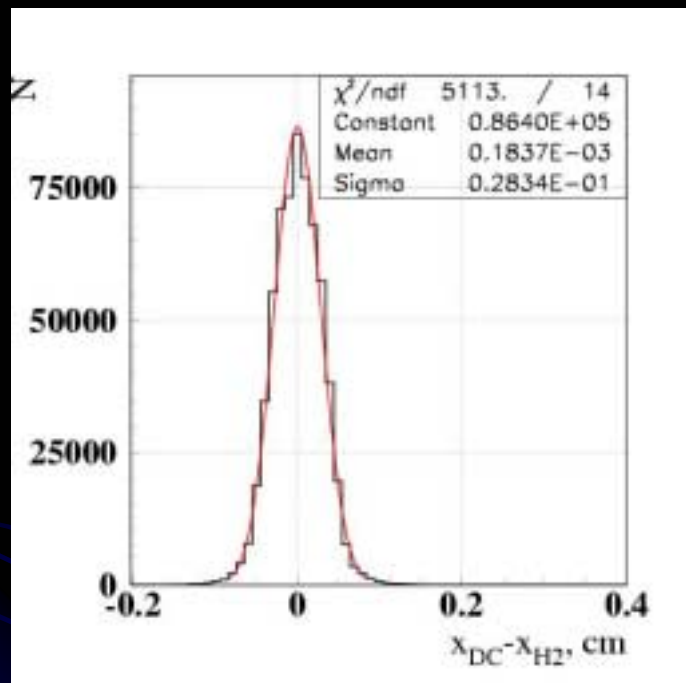


Исследование протонного пучка, выведенного с помощью монокристалла

- Исследования проводились в 2007 г.
- Интенсивность пучка до 10^4

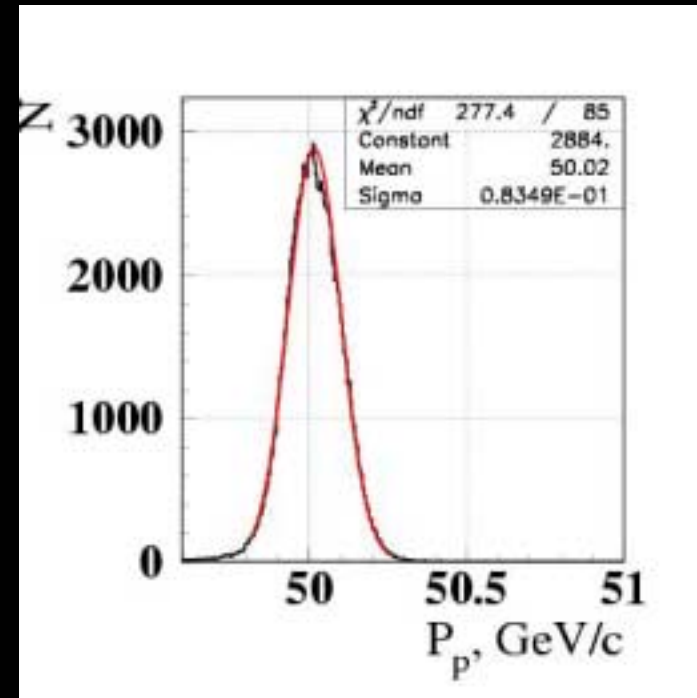
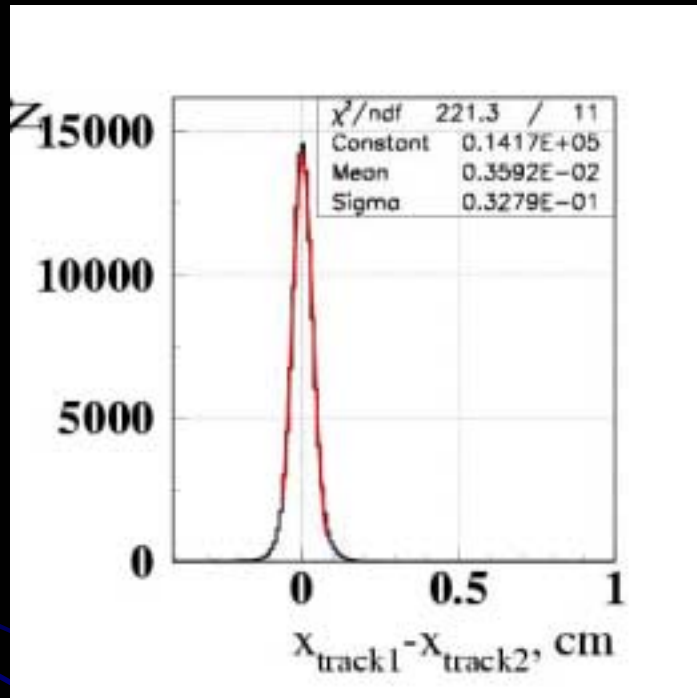


Точность трековой системы



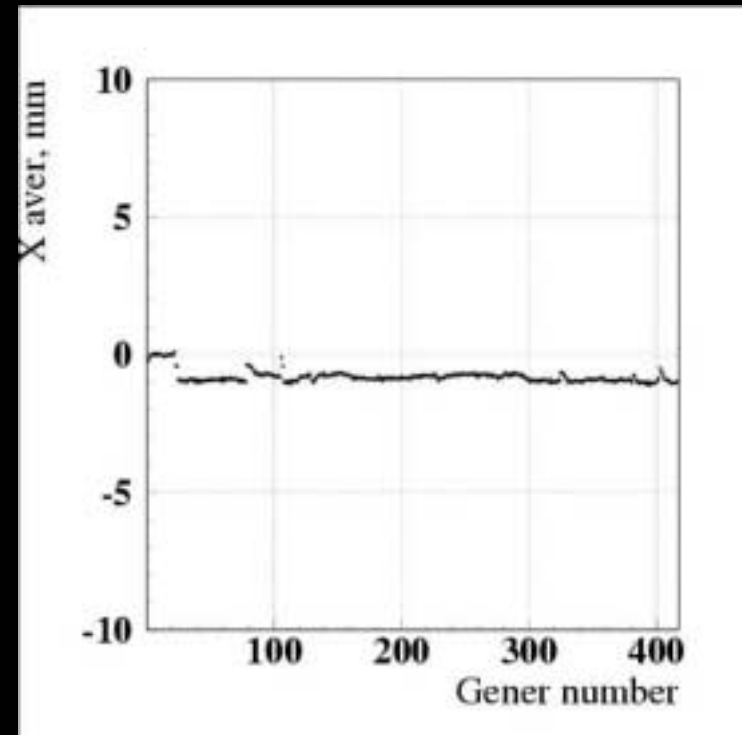
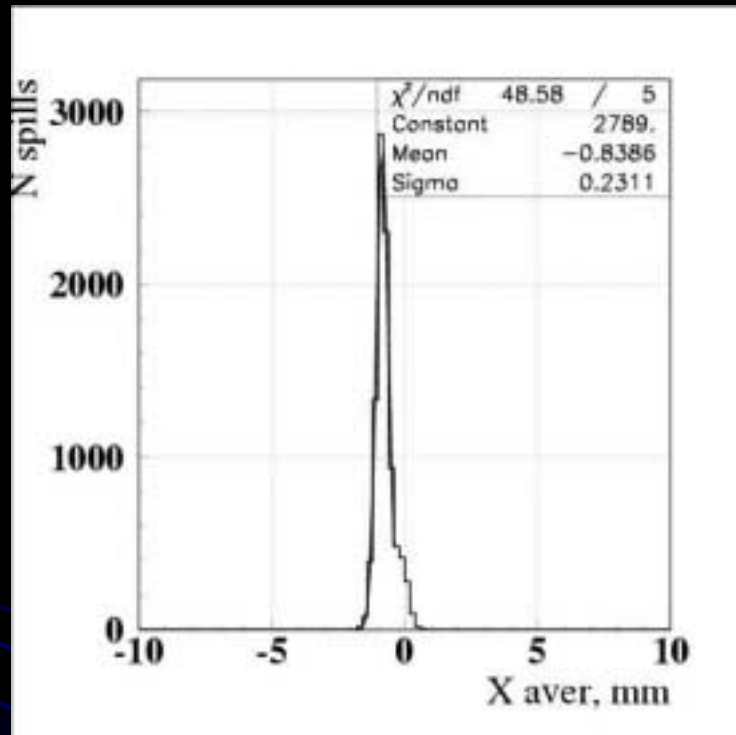
Разрешение каждой плоскости дрейфовой камеры 0,14 мм

Импульсный разброс пучка



- Разрешение трековой системы по импульсу 0.1%
- Угловая расходимость и импульсное разрешение протонного пучка 0.13%
- Число фоновых частиц менее $3 \cdot 10^{-4}$

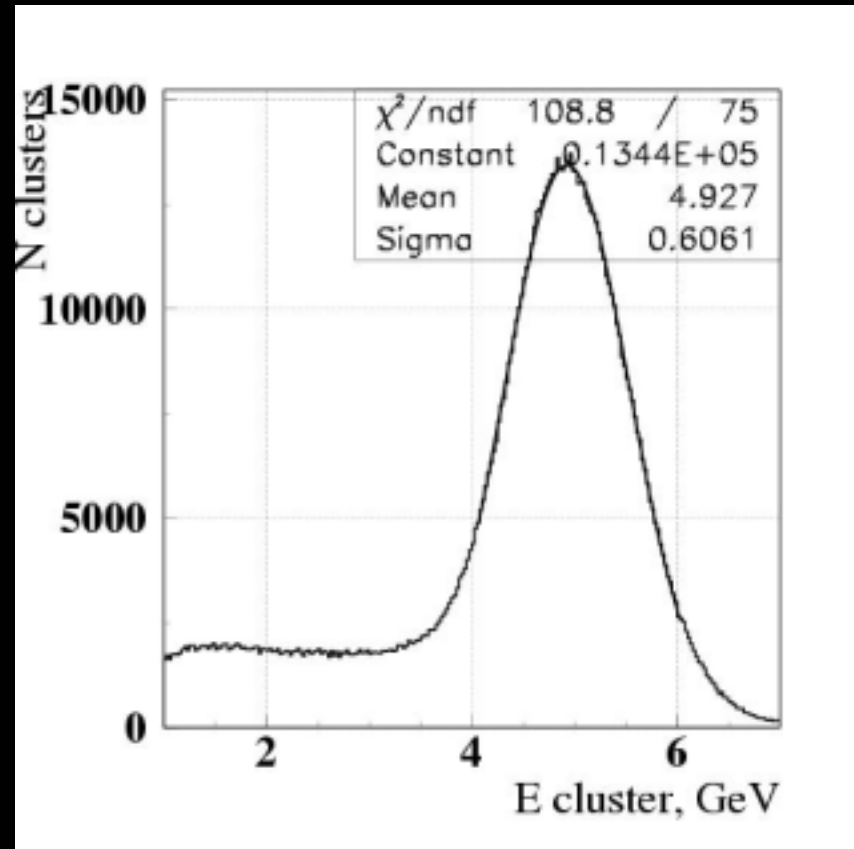
Пучок на мишени канала 14



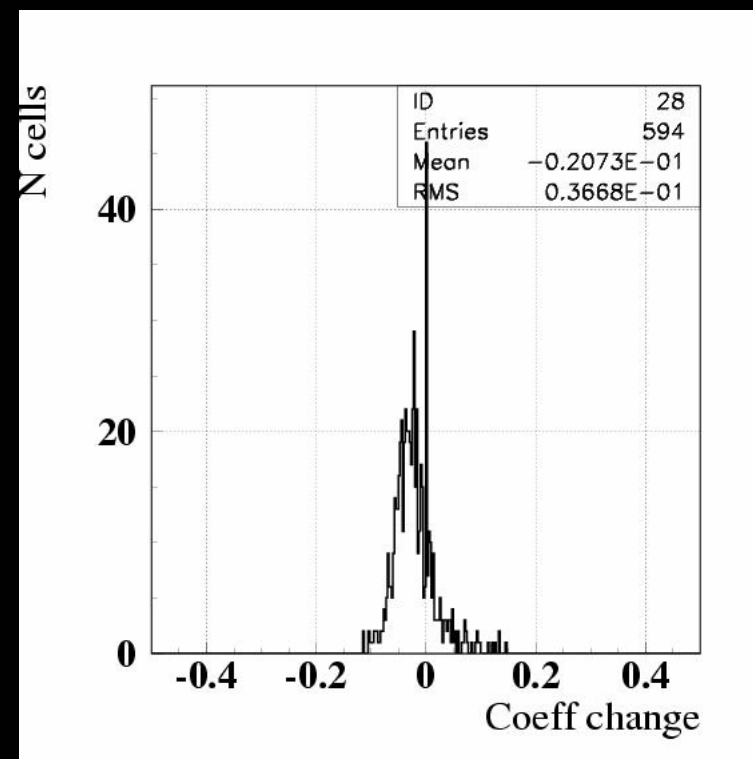
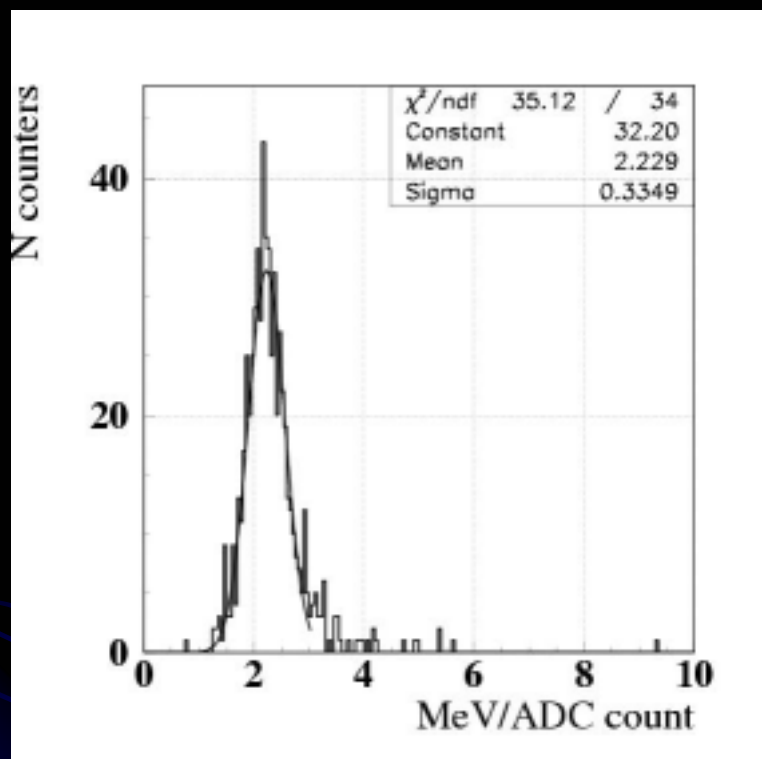
- Спектр средних значений положения пучка за сброс и
- Зависимость среднего значения положения пучка от времени

Калибровка калориметра

- Калибровка на пучке 5 ГэВ
 - Сигнал в каждой ячейке 800 мВ при 5 ГэВ
 - Метод обрачивания матрицы
- Дополнительная калибровка всего детектора на массу π^0 -мезонов



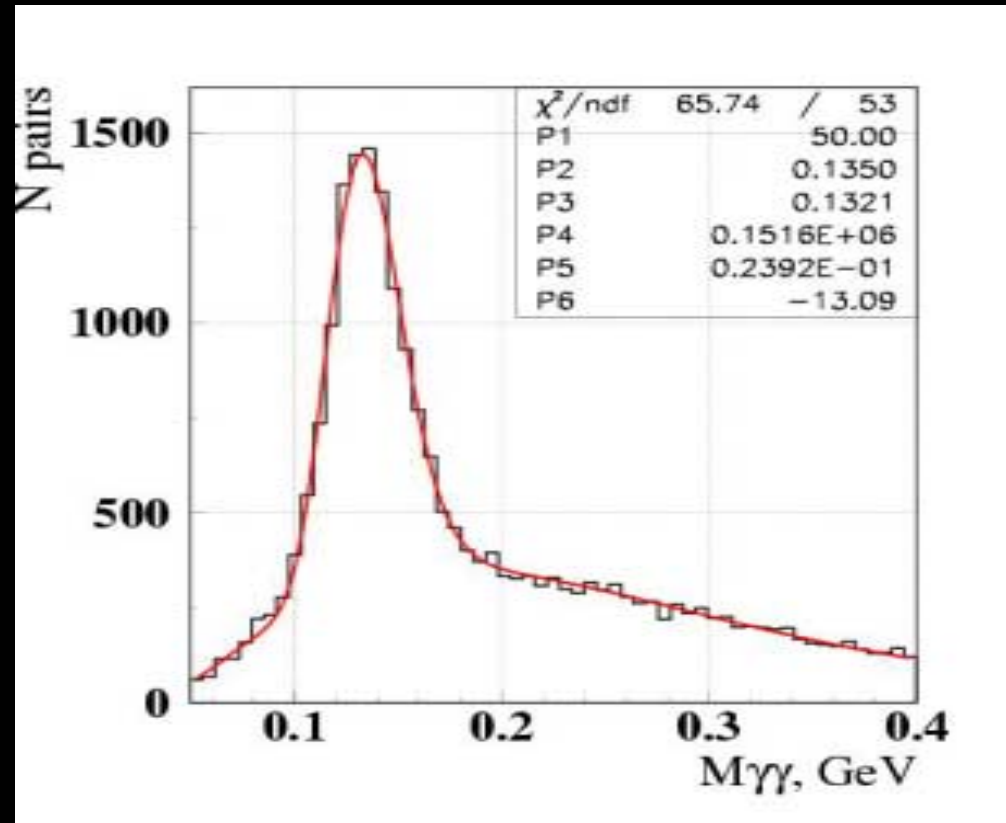
Результаты калибровки



- Средняя чувствительность 2.3 МэВ/отсчет АЦП
- Калибровочные коэффициенты за 2 года почти не поменялись

Дополнительная калибровка на массу π^0 -мезона

- Фон под массовым спектром фитировался функцией $a(x-x_0)^2 \cdot e^{bx}$
- Масса пары гамма-квантов фитировалась формулой:



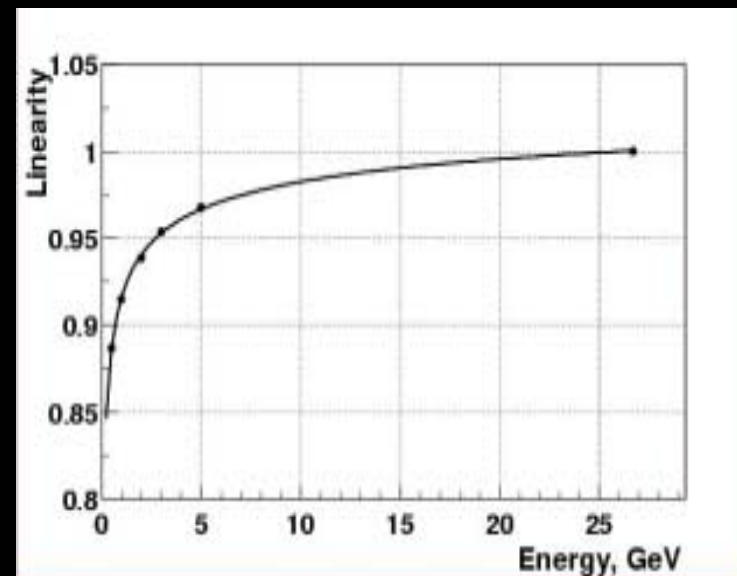
$$dN/dM_{\gamma\gamma} \propto 1/(\sqrt{2\pi} \sigma_L M_{\gamma\gamma}) \exp[-(\ln(M_{\gamma\gamma}/m_L)/\sigma_L)^2/2]$$

Алгоритм восстановления γ -квантов и π^0 -мезонов

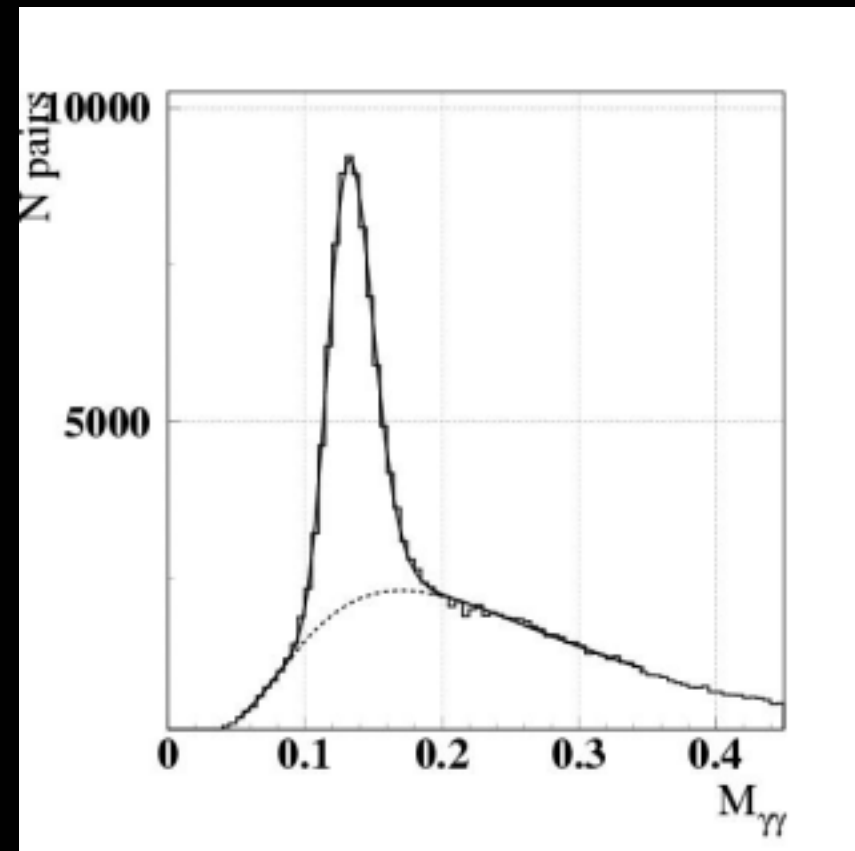
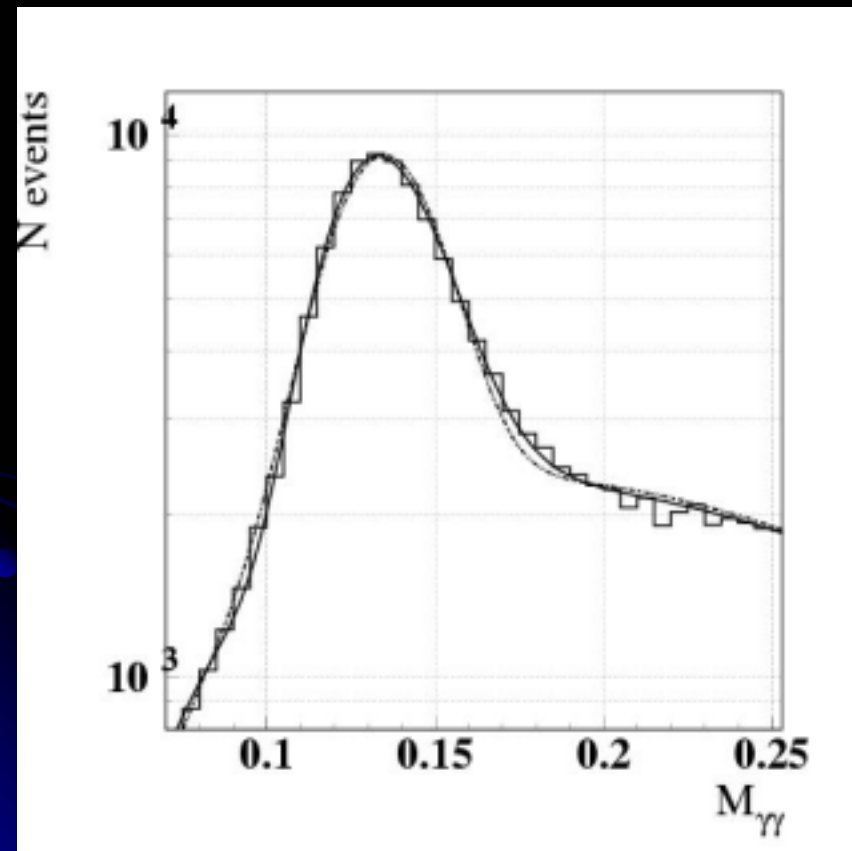
- Отбор кластеров:
 - Энергия центральной ячейки больше 100 МэВ
 - Энергия кластера >300 МэВ
 - В кластере по крайней мере 5 ячеек (минимум 3 по каждой координате)
 - Отсутствует второй максимум (Расстояние между гамма-квантами велико, нет перекрывающихся ливней)
- Поправка на «потерянную» энергию при регистрации
- Поправка энергии и координаты в зависимости от угла падения гамма-кванта

Поправка энергии и координаты

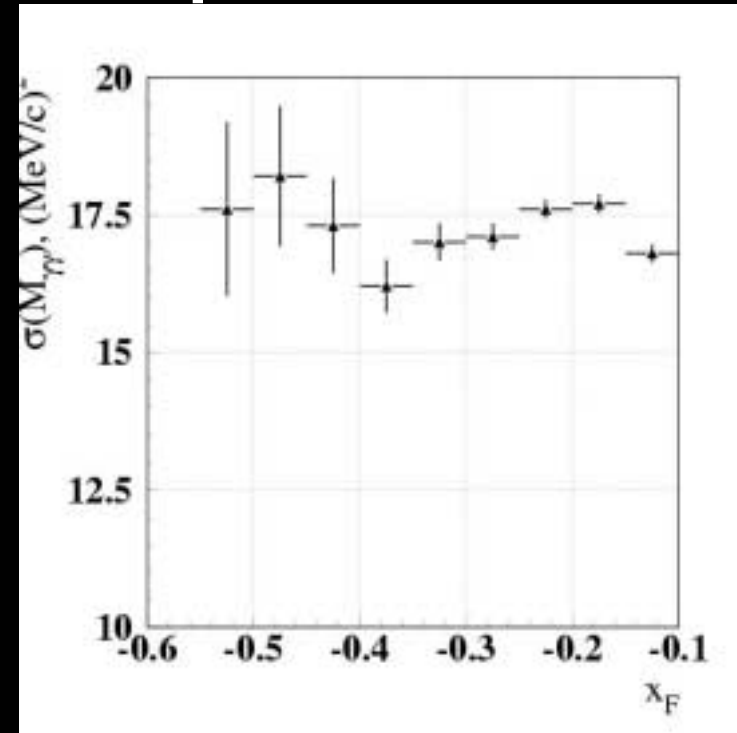
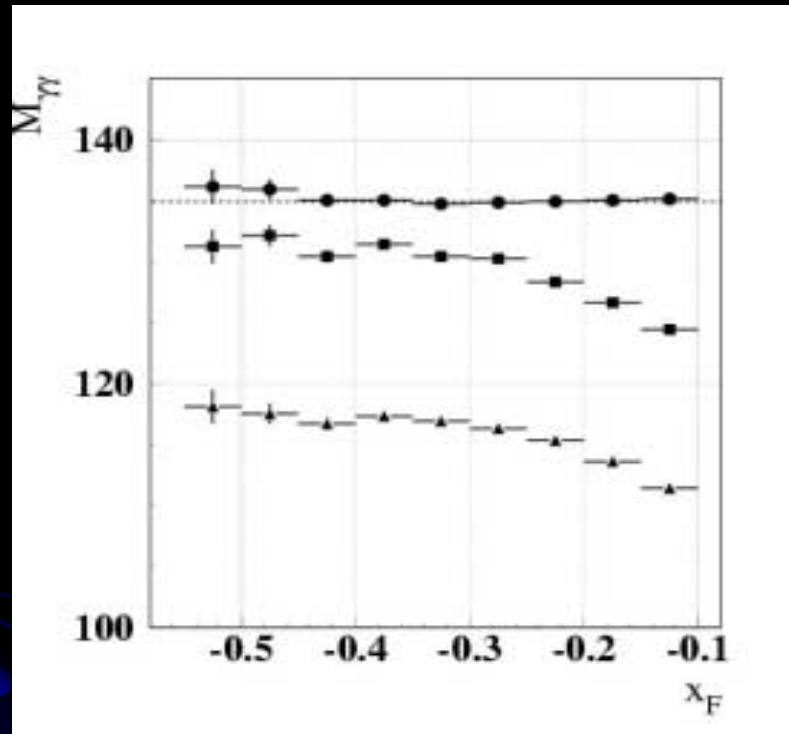
- Программа моделирования ливня подготовлена **К.Шестермановым**
 - Незарегистрированная энергия в калориметре достигает 15% при малых энергиях
- Дополнительные потери энергии и смещение координаты связаны с неортогональностью ливня относительно детектора
 - Смещение координаты около границ детектора составляет 2-3 см
- Алгоритм подготовлен **Л.Ф.Соловьевым** и опубликован в
 - ПТЭ 4 (2006), стр. 24-38, препринт ИФВЭ 2005 – 26;
 - ПТЭ №4 (2007), с. 35-45, Препринт ИФВЭ 2006-26.



Масса пи-0 мезона

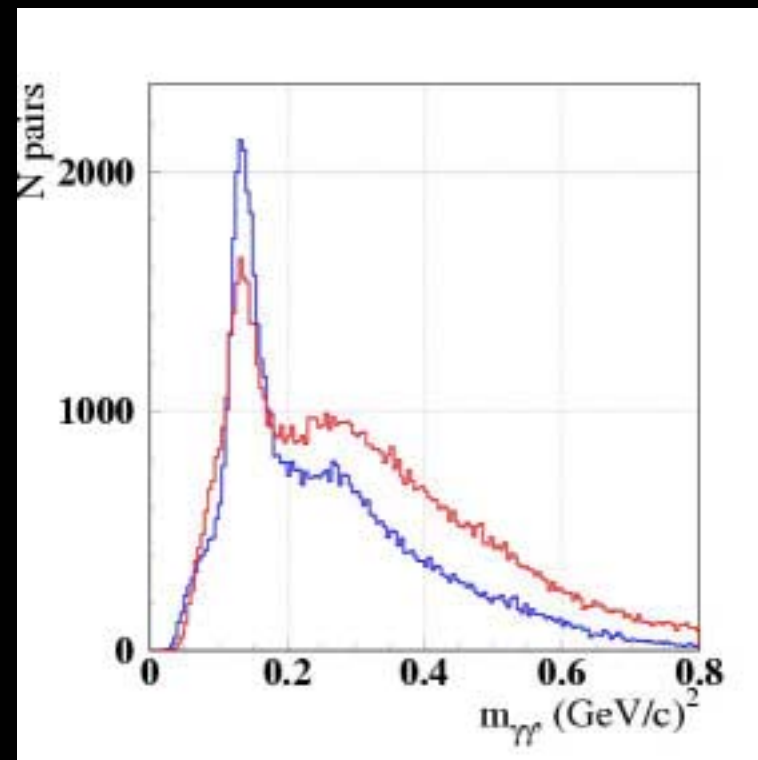
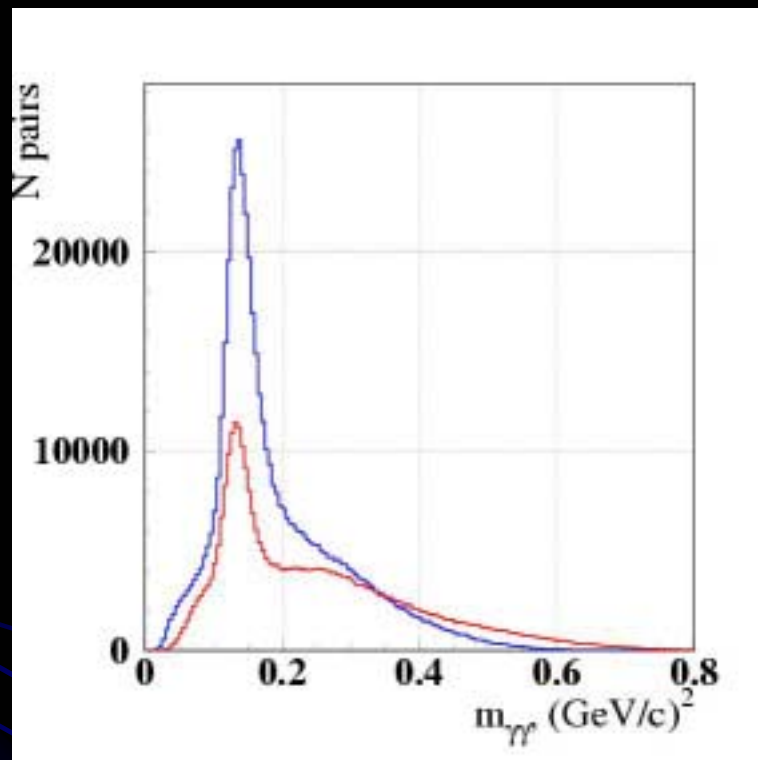


Результат поправок



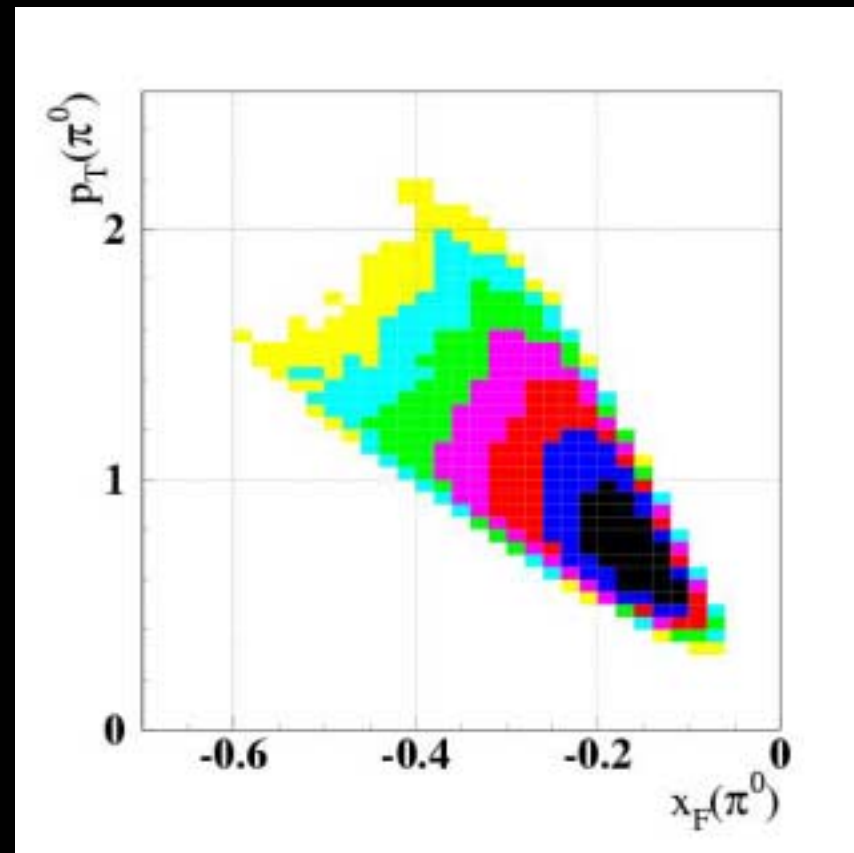
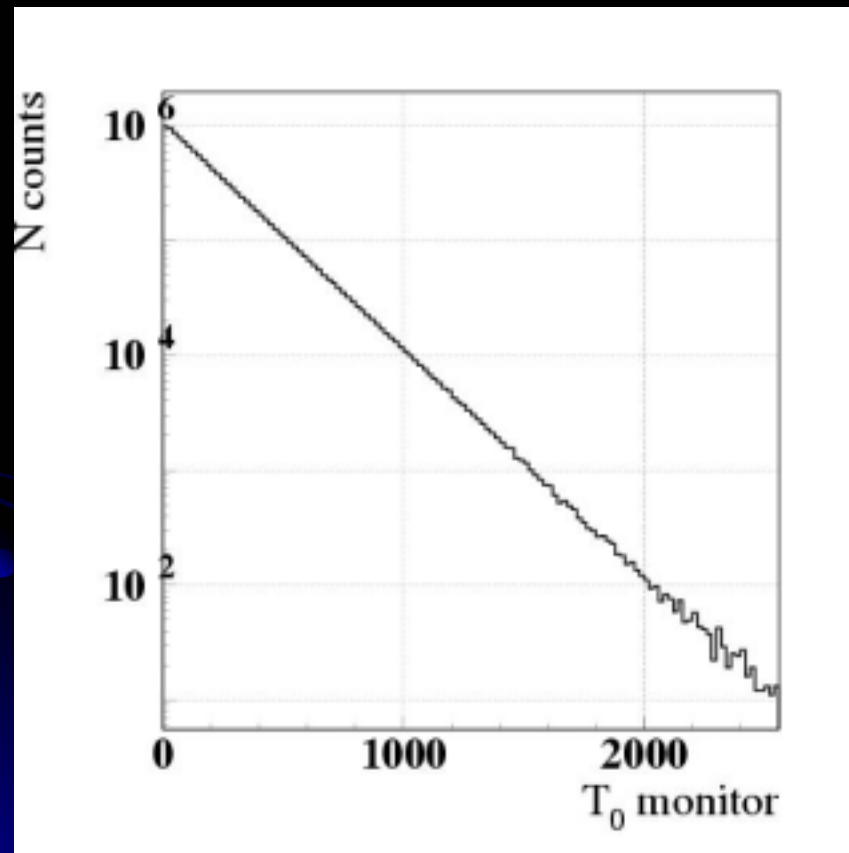
- Нижний (треугольники) набор данных – без поправок, средний (квадраты) – поправка на энергию, верхний – с учетом поправки на угол
- Справа – ширина π^0 -мезона

Массовые спектры в 2005 и 2007

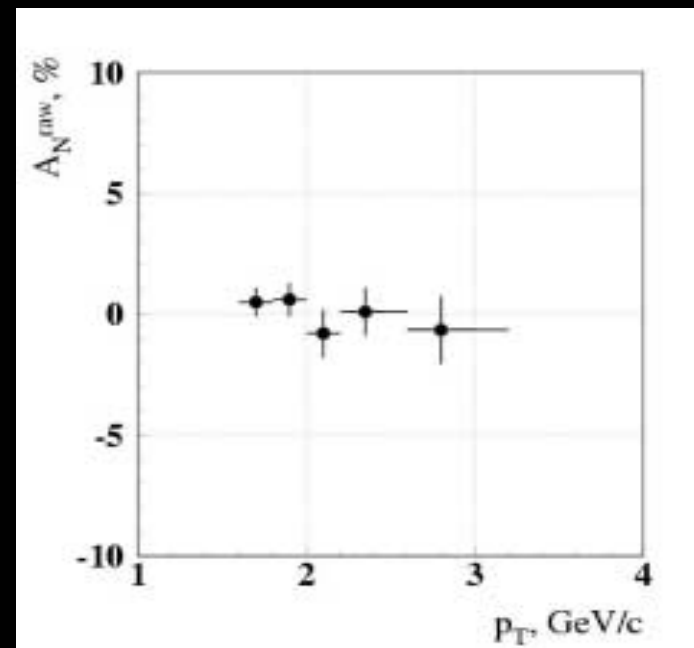
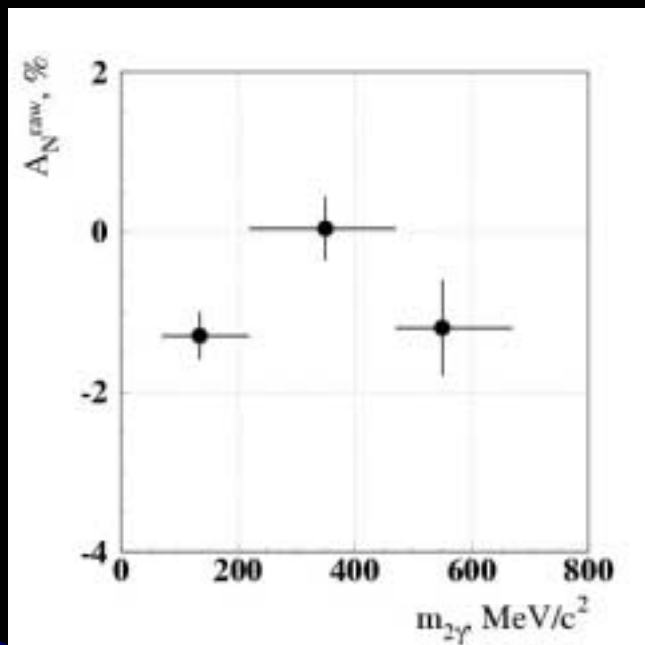


$M_{\gamma\gamma}$ при $-0.30 < x_F < -0.25$ (слева) и $-0.45 < x_F < -0.40$ (справа) в сеансах (красный) 2005 и (синий) 2007.

Распределение мониторов и кинематика эксперимента

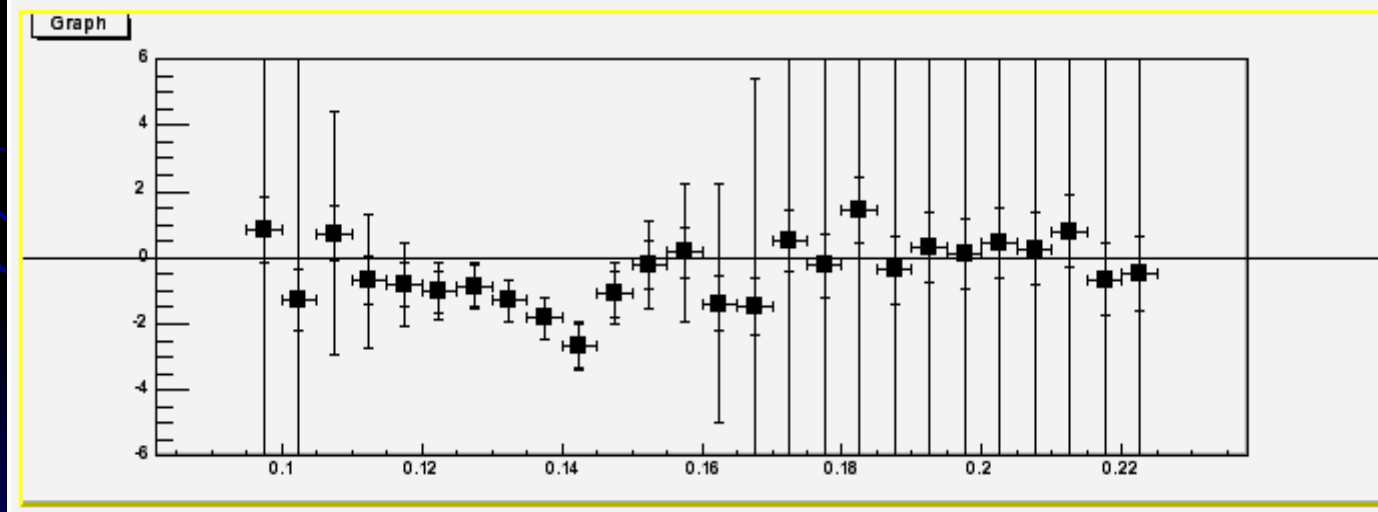
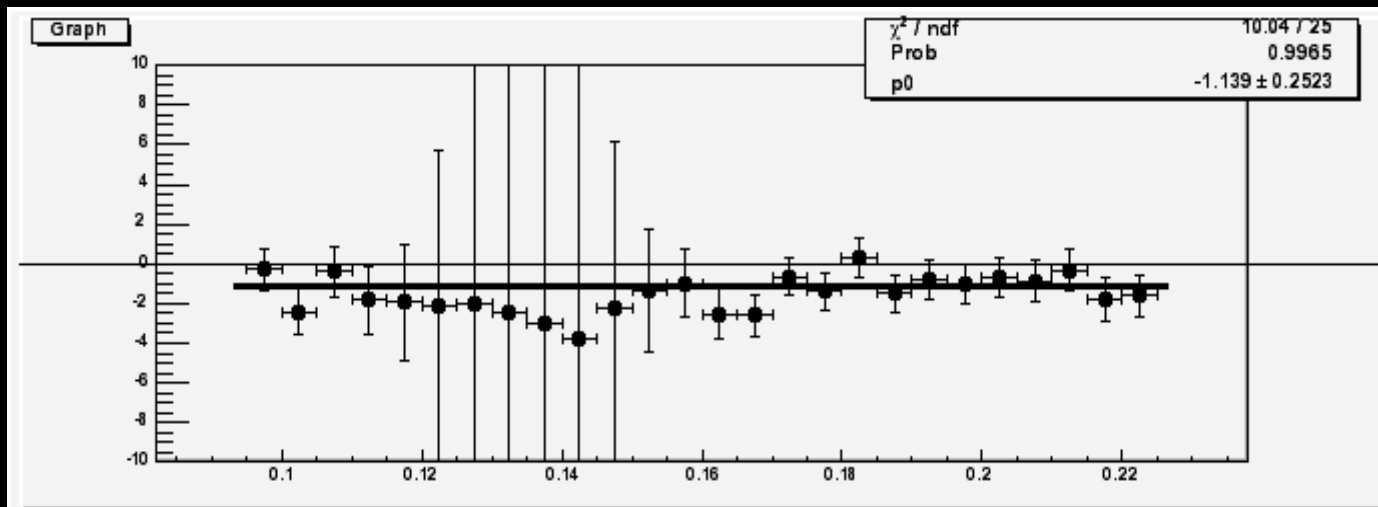


Метод вычисления асимметрии



- Для одноплечевого детектора разработан метод вычисления асимметрии, основанный на том, что асимметрия вне массового пика равна нулю:
- Слева – зависимость асимметрии от массы при $p_T > 1.5$ ГэВ, справа асимметрия для $220 < m_{\gamma\gamma} < 460$

Пример поведения асимметрии



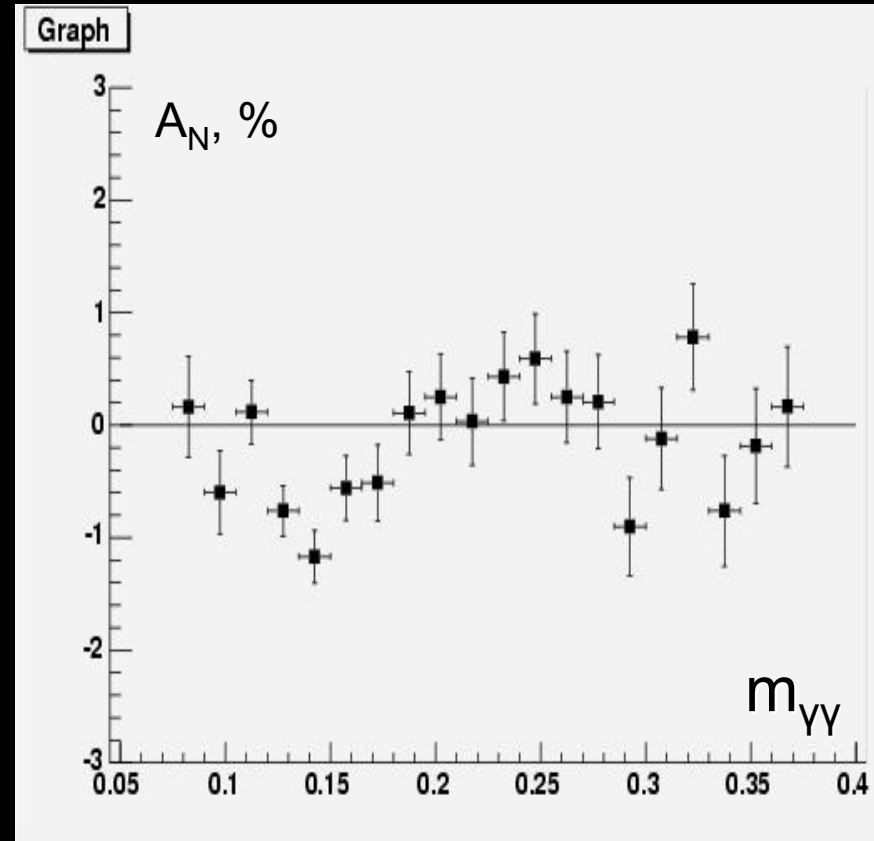
Алгоритм вычисления асимметрии

- При наличии сдвига асимметрии

$$A_{2\gamma}^{measured} = k \cdot A_{\pi^0}^{real} + A_{backgr}$$

- Подробно описано в ЯФ 67 (2004), стр.1520-1528, Препринт ИФВЭ 2003-21

- Фон фитировался константой

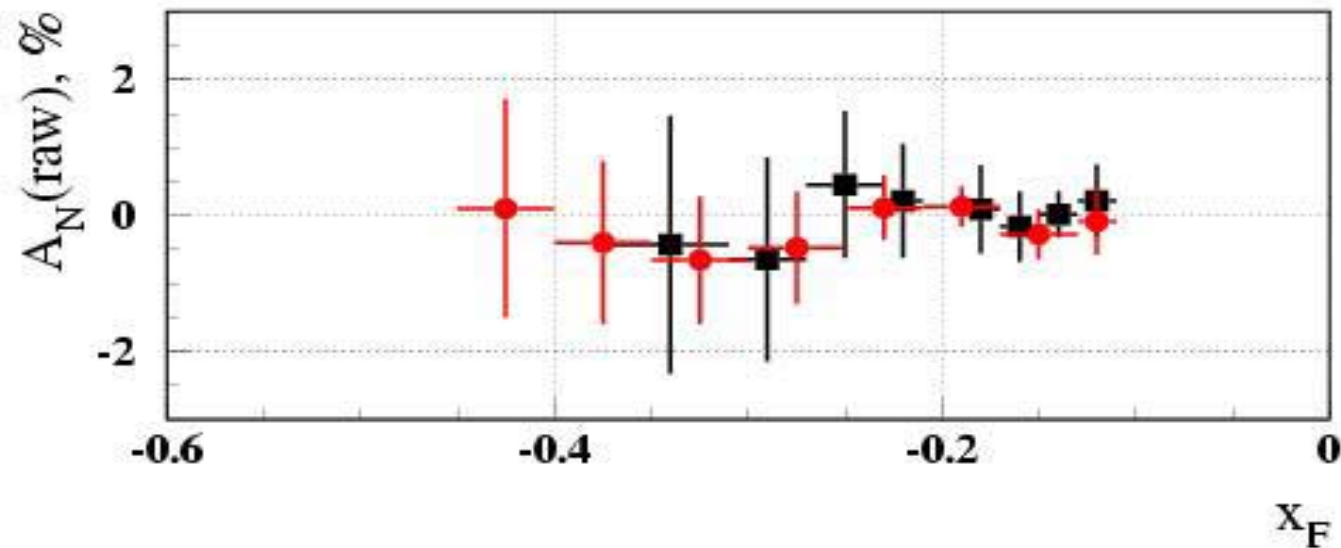


Исследование сходимости метода

Размер области фитирования 90-250 МэВ	-0.83	0.28
Размер области фитирования 100-160 МэВ	-0.77	0.29
Размер области фитирования 70-400 МэВ	-0.87	0.28
Фитирование с шириной 10 МэВ	-0.81	0.35
Фитирование с шириной 15 МэВ	-0.76	0.43
Сдвиг -10% (N1*1.2)	-0.83	0.29
Сдвиг -35% (N1*2.0)	-0.75	0.30
Сдвиг -35% (N1*0.5)	-0.73	0.29

- Систематическая ошибка метода мала

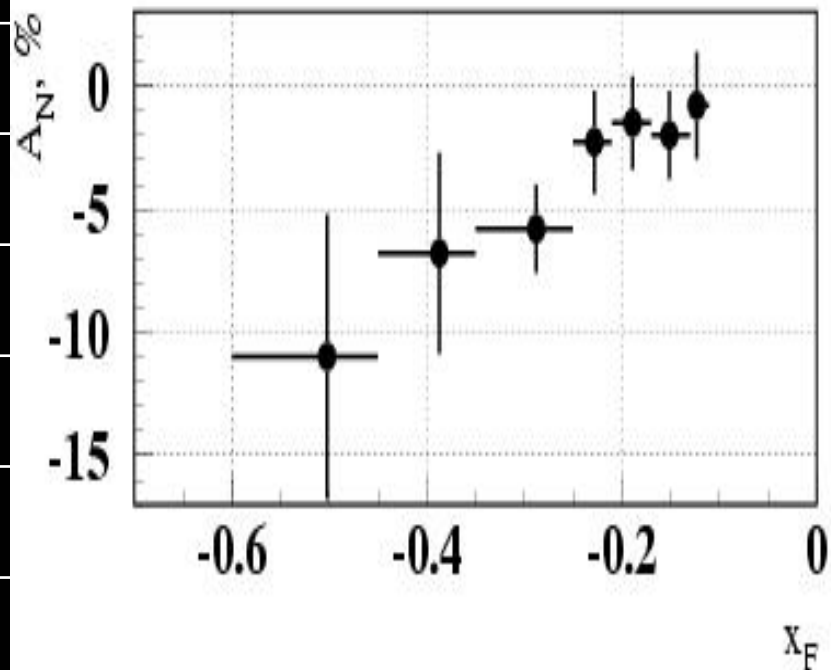
Ложная асимметрия



Асимметрия для данных одного знака поляризации

A_N в реакции $pp_{\uparrow} \rightarrow \pi^0 X$ (данные 2005+2007)

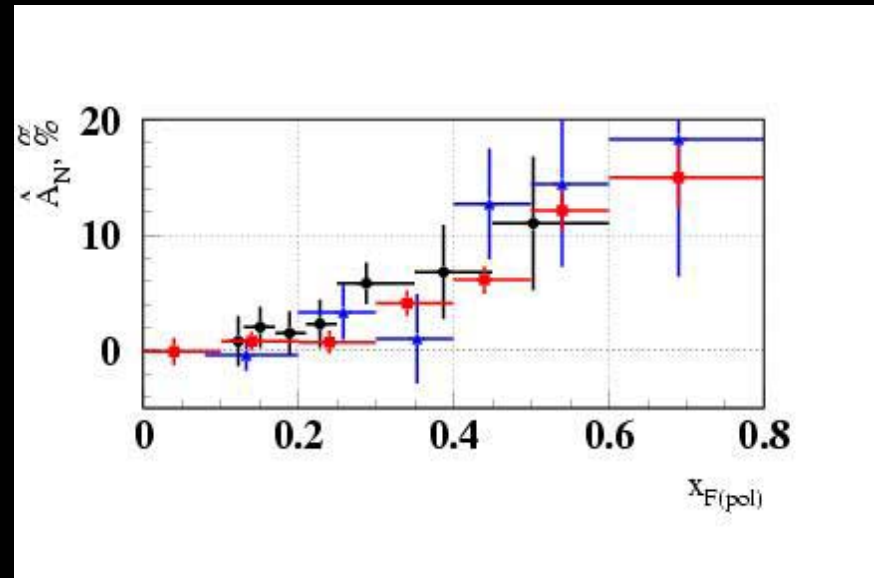
x_F	$\langle p_T \rangle$	$A_N, \%$
-(0.13-0.11)	0.9	-(0.8±2.2)
-(0.17-0.13)	1.0	-(1.9±1.8)
-(0.21-0.17)	1.1	-(1.5±1.9)
-(0.25-0.21)	1.2	-(2.3±2.1)
-(0.35-0.25)	1.3	-(5.8±1.8)
-(0.45-0.35)	1.5	-(6.8±4.1)
-(0.60-0.45)	1.7	-(11.0±5.8)



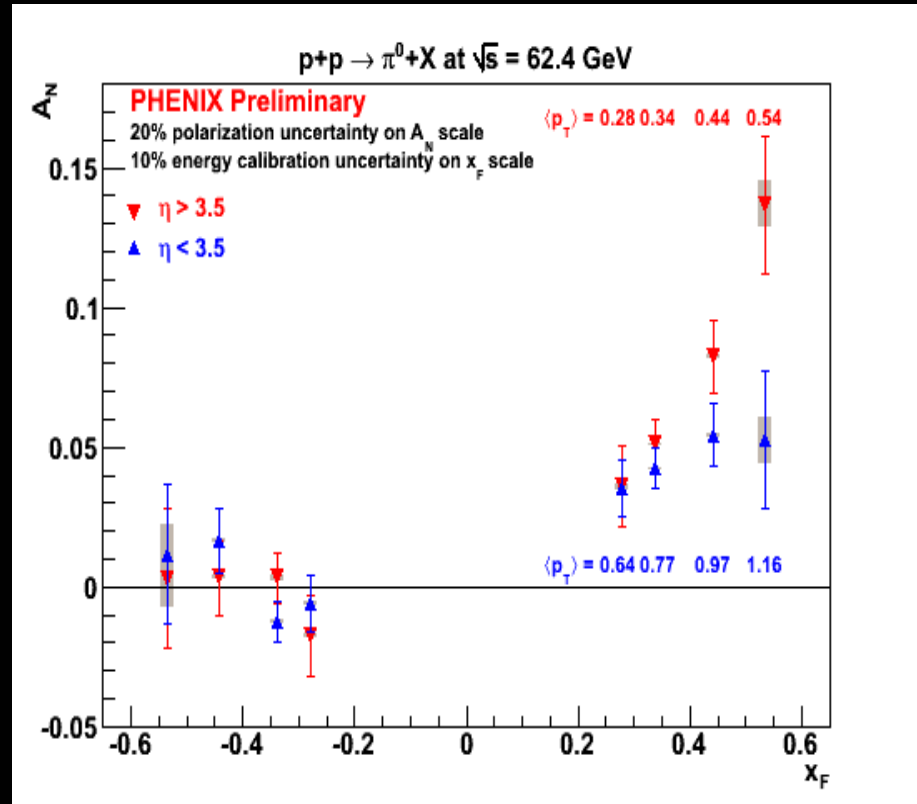
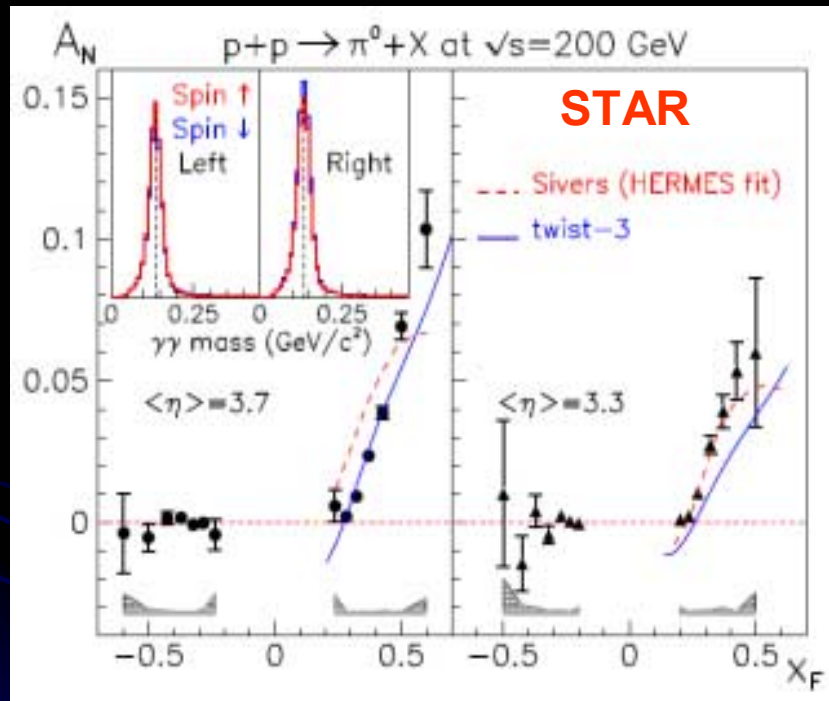
$A_N = -(6.2 \pm 1.5) \%$ в области $-0.6 < x_F < -0.25$

Сравнение с результатами других экспериментов

- A_N инклюзивного рождения π^0 -мезона при 50 ГэВ в области фрагментации поляризованной частицы при $0.25 < x_F < 0.6$ (6.2 ± 1.5)% совпадает с результатами других измерений:
- A_N в реакции $\pi^- p \rightarrow \pi^0 X$ при 40 ГэВ (6.9 ± 2.8)
- С данными эксперимента E704 при 200 GeV (6.3 ± 0.7)



Результаты измерения асимметрии на RHIC



- Поведение асимметрии при $\sqrt{s}=200$ повторяет результаты экспериментов на фиксированной мишени

Экспериментальные результаты и теоретические модели.

- После результатов экспериментов ПРОЗА, E-704 и других теоретические модели стали интенсивно развиваться – в рамках функций Сиверса и Коллинза развиваются различные подходы с использованием, например, орбитального момента и хромо-магнитного момента.
- Однако теоретические модели до сих пор не могут объяснить поляризацию (асимметрию) в эксклюзивных зарядово-обменных реакциях
- Расчеты для энергий RHIC хорошо совпадают с результатами в области больших $|x_F|$, однако:

Обсуждение

- Большие значения асимметрии инклюзивного рождения пионов (**ПРОЗА и ФОДС**) в центральной области **HE** могут быть объяснены в рамках современных моделей.
- Расчеты в рамках моделей Сиверса и высших твистов предсказывают уменьшение асимметрии с ростом p_T (что **противоречит** экспериментам при энергиях ИФВЭ)
- При этом асимметрия инклюзивного рождения в области фрагментации поляризованной частицы **HE** зависит от энергии пучка (как и поляризация гиперонов), таким образом:

Исследование спиновых эффектов при промежуточных энергиях (40-70 ГэВ) пучка – необходимый и полезный инструмент изучения поляризационных эффектов в различных реакциях

Высокая точность измерения может быть важнее, чем высокая энергия

Задача нового эксперимента – прецизионное измерение асимметрии в рождении легких резонансов в нейтральных и заряженных модах:

С.И.Алехин, Н.И.Беликов, А.Н.Васильев, А.С.Вовенко, Ю.М.Гончаренко, В.Н.Гришин, А.М.Давиденко, А.А.Деревщиков, В.А.Качанов, А.С.Кожин, Д.А.Константинов, В.А.Кормилицин, В.И.Кравцов, А.К.Лиходед, А.В.Лучинский, Ю.А.Матуленко, Ю.М.Мельник, А.П. Мещанин, Н.Г.Минаев, В.В.Мочалов, Д.А.Морозов, Л.В.Ногач, С.Б.Нурушев, А.В.Рязанцев, П.А.Семенов, Л.Ф.Соловьев, С.Р.Слабоспицкий, А.Ф.Прудкогляд, А.В.Узунян, М.Н.Уханов, Ю.В.Харлов, Б.В.Чуйко, А.Е.Якутин
+ Дубна + Харьков

“Polarization data has often been the graveyard of fashionable theories. If theorists had their way, they might just ban such measurements altogether out of self-protection.”

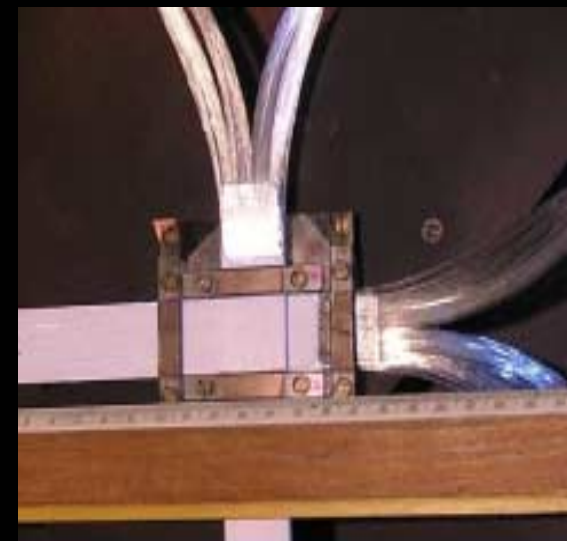
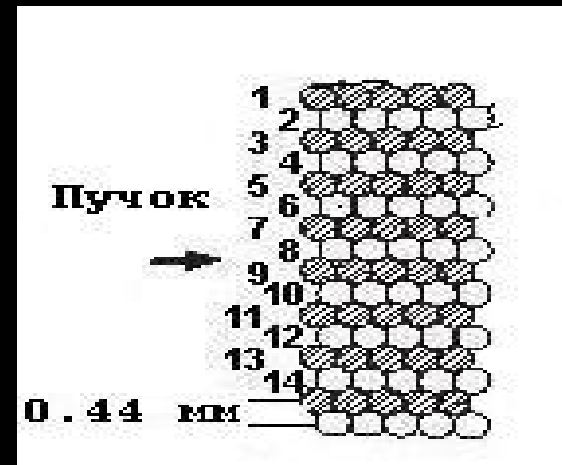
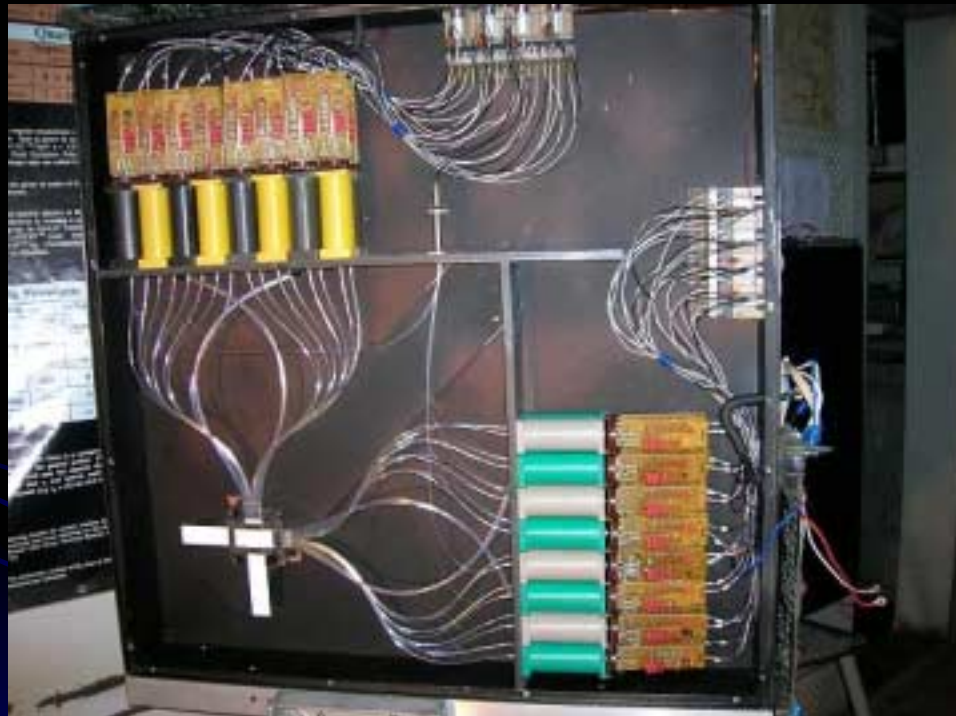
J.D. Bjorken

NATO Advanced Research Workshop on
QCD Hard Hadronic Processes
St. Croix, 1987

Содержание

- Роль спина в сильных взаимодействиях
- Возникновение односпиновой асимметрии
- Измерение односпиновой асимметрии на установке ПРОЗА
 - в зарядово-обменных реакциях.
 - в инклюзивных реакциях:
 - в центральной области
 - в области фрагментации неполяризованного пучка
 - в области фрагментации мишени
 - Исследование асимметрии в сеансах 2005 и 2007 гг.
- Обсуждение
 - Сравнение результатов эксперимента ПРОЗА с другими экспериментами
 - Результаты по измерению A_N и теоретические модели.

Волоконный ГОДОСКОП

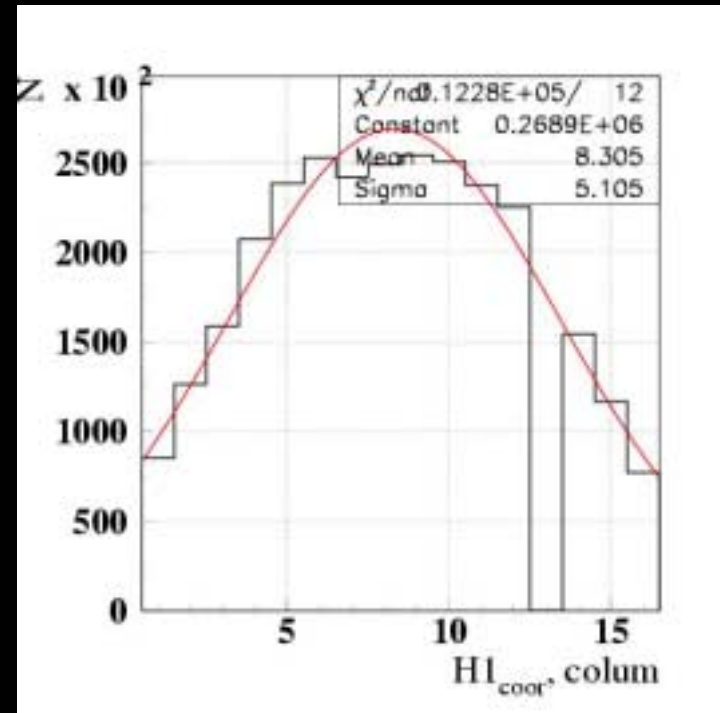
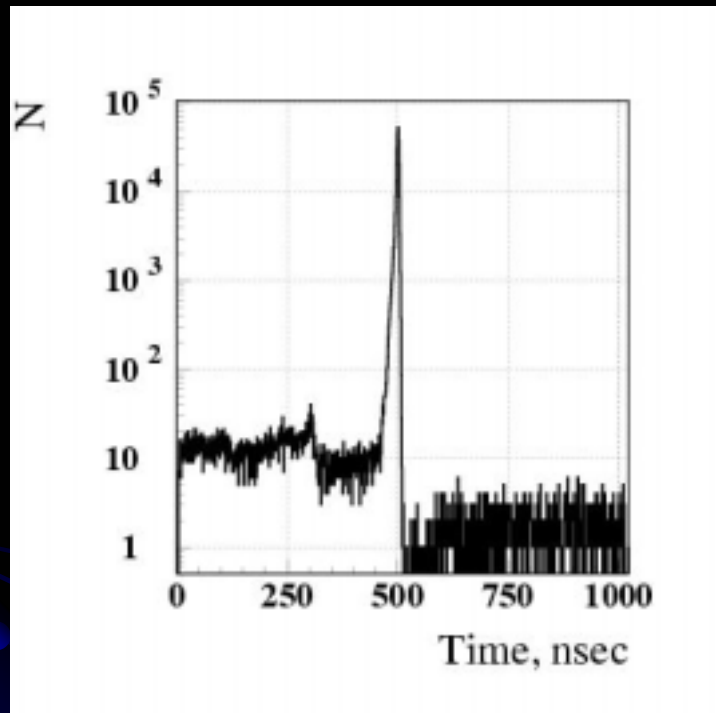


30.10.2008

В. Мочалов, Семинар ИФВЭ

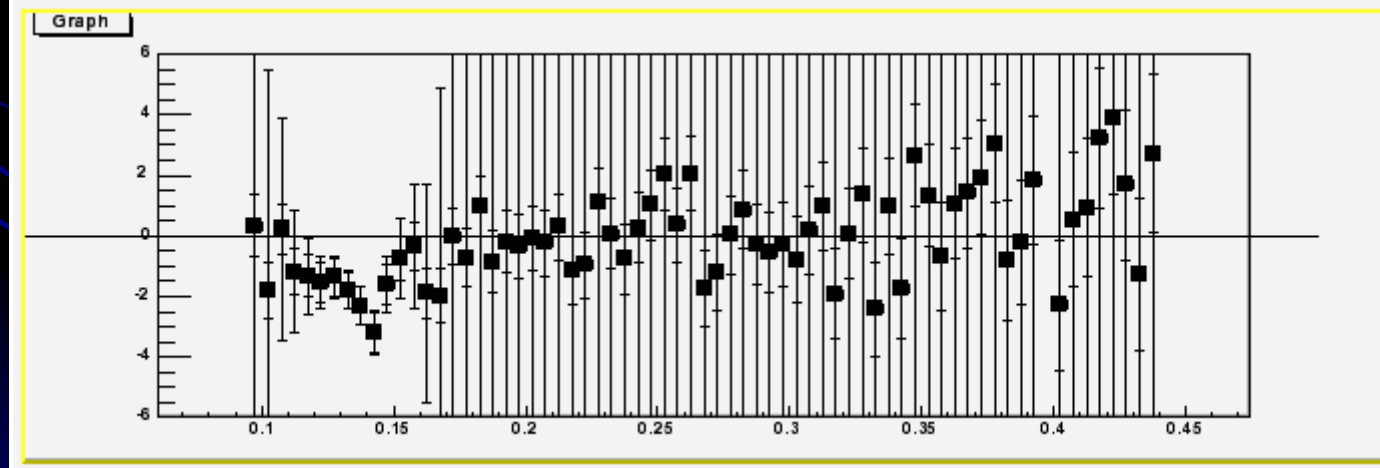
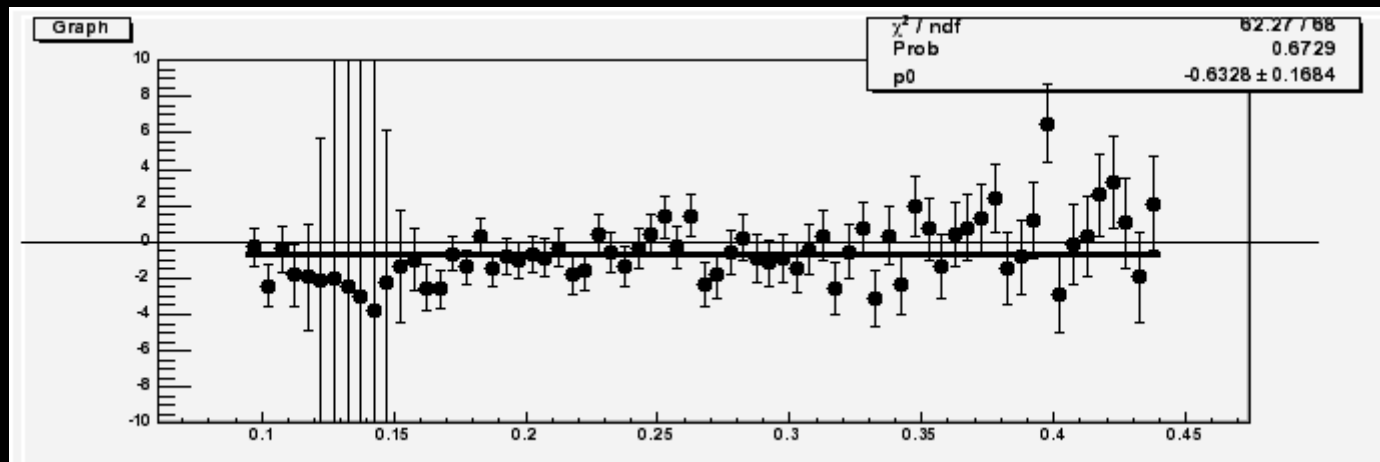
43

Характеристики волоконного годоскопа



- Сигнал в волоконном годоскопе (слева)
- Профиль пучка в волоконном годоскопе (справа)

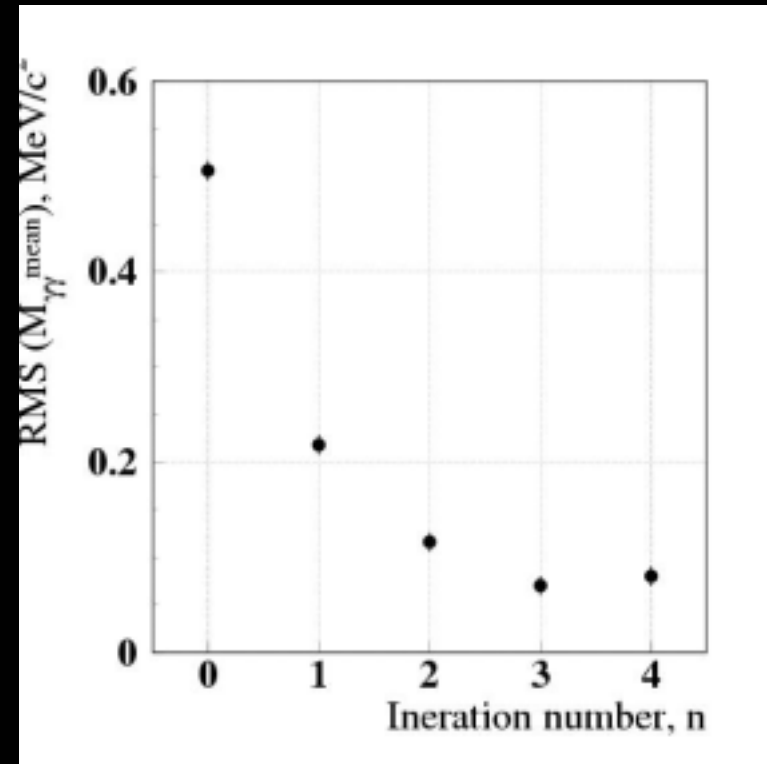
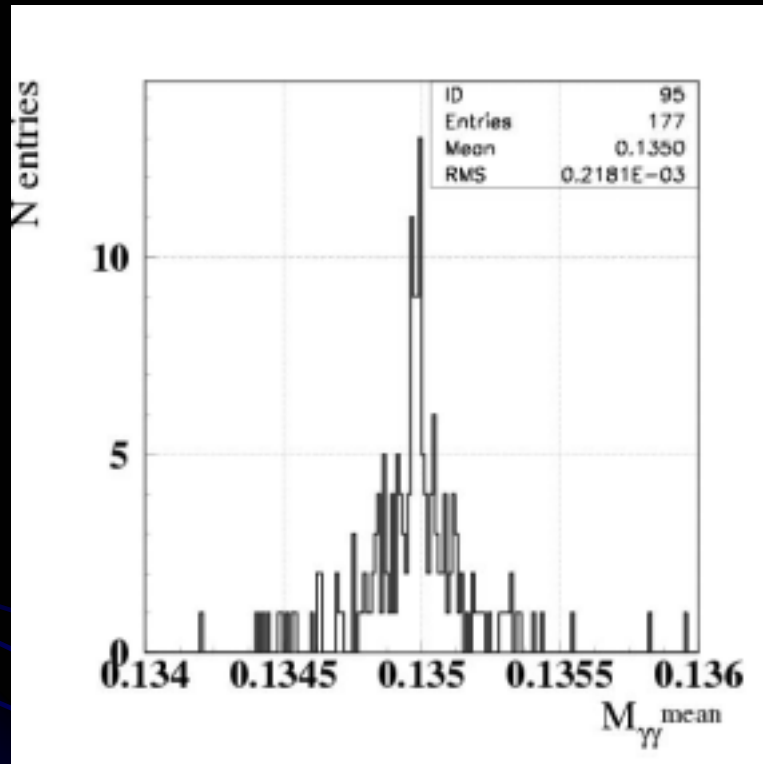
Реальная картинка



Аппаратура для измерения пучка

	Тип	$L_{\text{магн}}, \text{ мм}$	Шаг, мм	N каналов
H1	Волоконный годоскоп	-21287	0.88	16
H2	Волоконный годоскоп	-8587	0.88	16
DC1	Дрейфовая Камера	-8060	12.	16
DC2	Дрейфовая Камера	-3440	12.	16
DC3	Дрейфовая Камера	+3100	12.	16
DC4	Дрейфовая Камера	+9100	12.	16

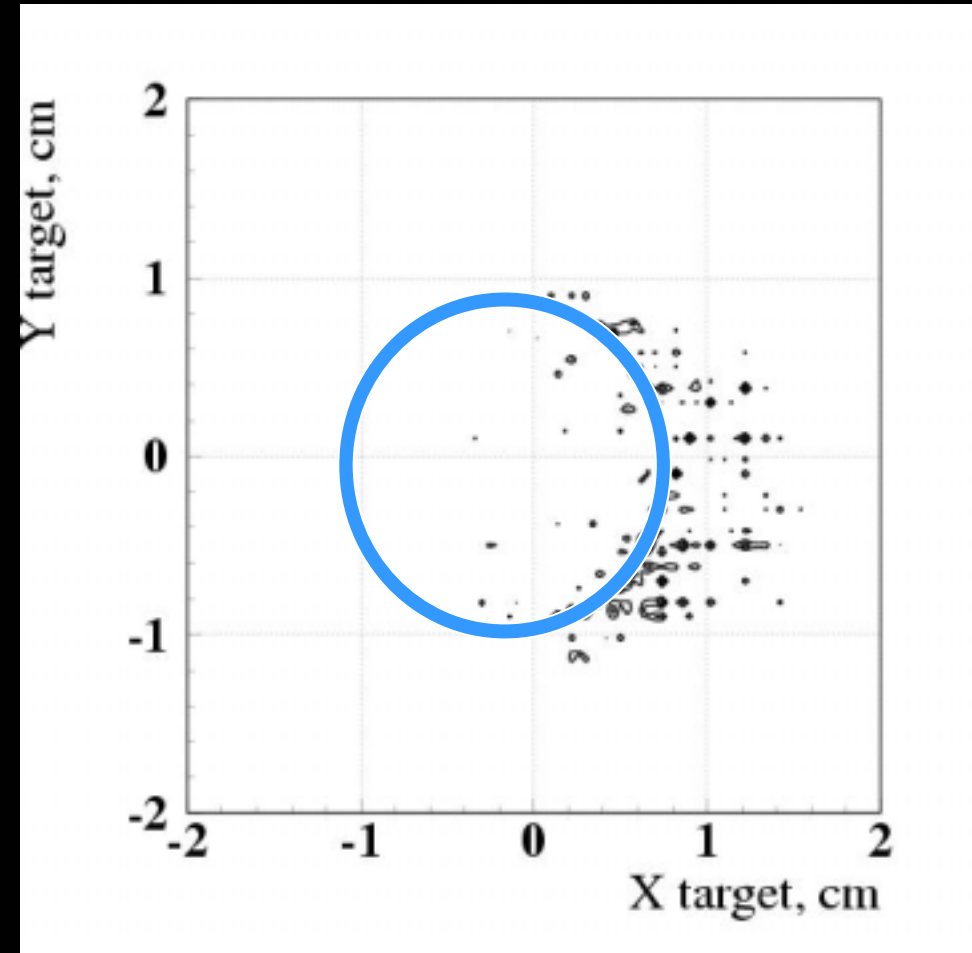
Сходимость калибровки на массу



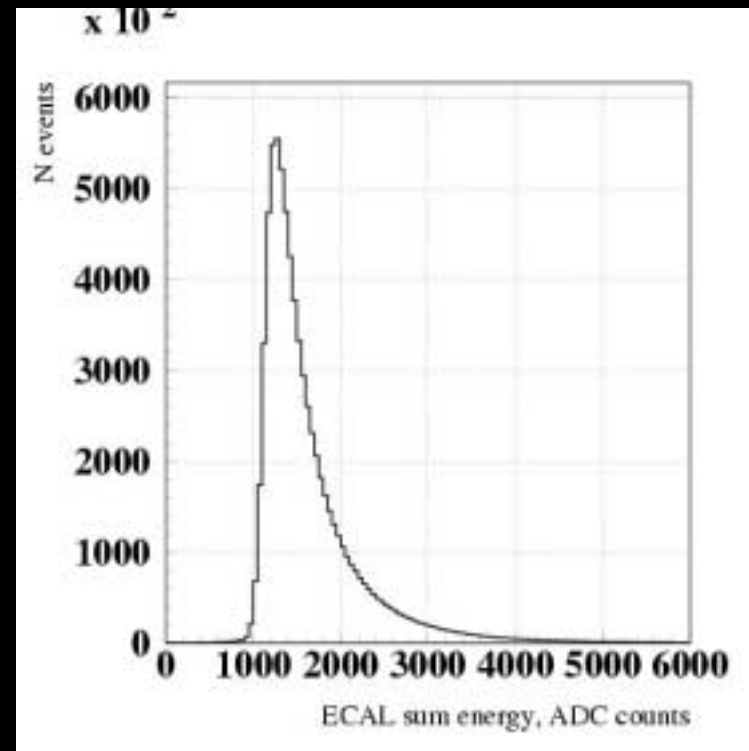
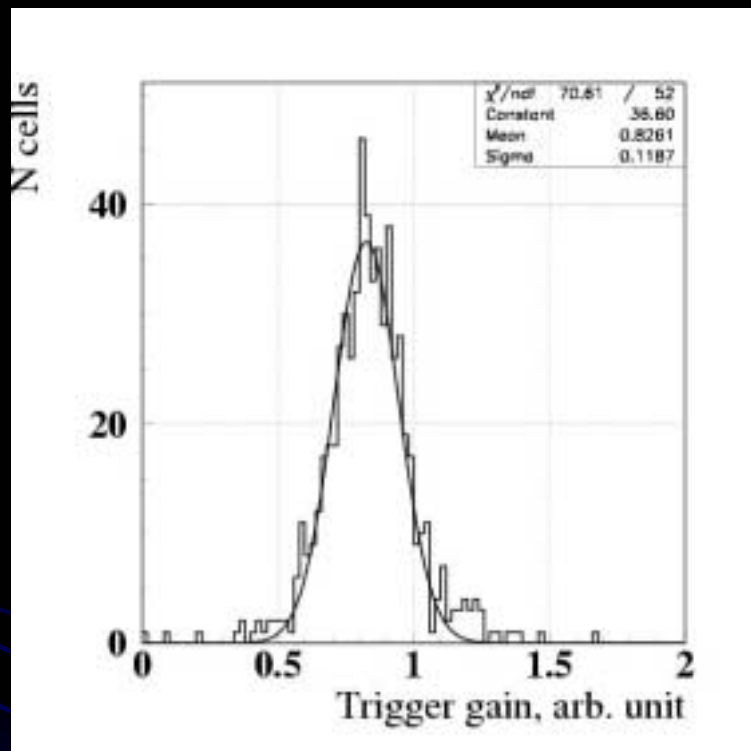
- Распределение средних значений массы после первой итерации (слева)
- Ширина распределения в зависимости от числа итераций

Привязка пучка к мишени

- Привязка по отношению событий на пустой и углеродной мишени



Калибровка триггерного сигнала



- Малый разброс триггерных коэффициентов (слева) обеспечил хороший триггер на суммарную энергию в калориметре (справа)