

Измерение дифференциальных сечений электророждения π^0 -мезона во внерезонансном кинематическом диапазоне на детекторе CLAS (Jefferson Lab)

Иван Бедлинский

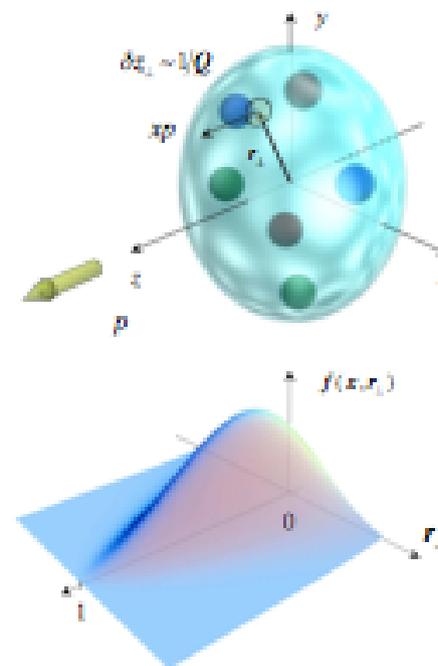
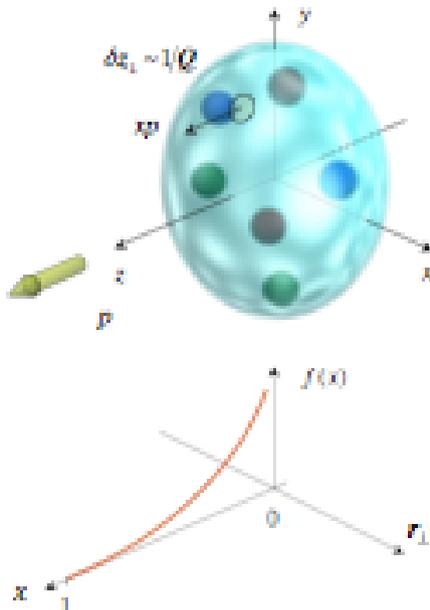
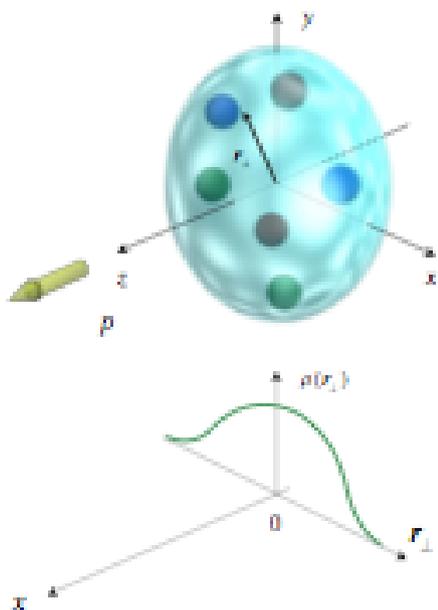
*Доклад на семинаре Отдела Электромагнитных
Процессов и Взаимодействий Атомных Ядер
НИИЯФ МГУ*

10 сентября 2013

План

- Физическая мотивация
- Обобщенные партонные распределения
- Экспериментальная установка
- Обработка экспериментальных данных
- Сравнение полученных результатов с теоретическими моделями
- Выводы

Описание адронной структуры в терминах Обобщенных Партонных Распределений(ОПР)



Нуклонные форм-факторы

Описание в терминах поперечного распределения заряда

Нобелевская премия 1961-
Р. Хофстедтер

Структурные функции

Описание в терминах продольных распределений(поляризованных и неполяризованных) импульсов кварков

Нобелевская премия 1990 –
Дж.Фридман, Г. Кендалл, Р. Тейлор

Обобщенные партонные распределения

Описание в терминах корреляций между продольным импульсом кварков и их поперечными пространственными распределениями

Обобщенные партонные распределения

•Обобщенные партонные распределения являются функциями трех кинематических переменных:

x, ξ и t

•Существуют 4 кирально-четных ОПР, в которых партон не меняет спиральность

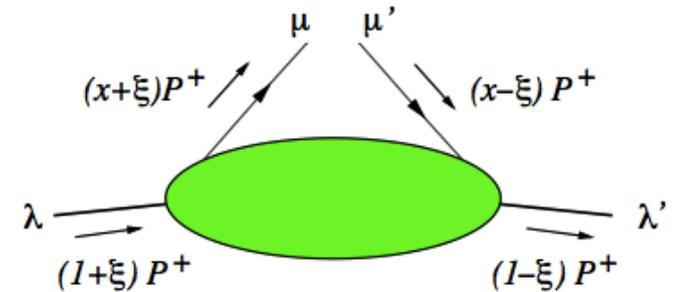
$H, \tilde{H}, E, \tilde{E}$

•Также существуют 4 кирально-нечетных ОПР, которые меняют спиральность партона

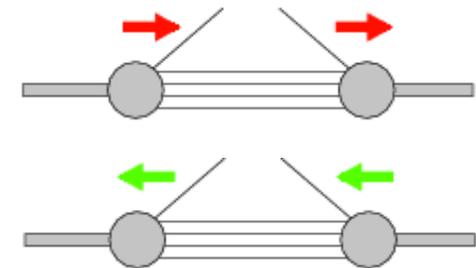
$H_T, \tilde{H}_T, E_T, \tilde{E}_T$

•Получить доступ к кирально-нечетным ОПР сложно, поскольку субпроцессы с переворотом спина партона подавлены

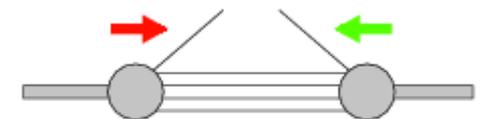
•Для полного описания нуклона необходимо знать все 8 ОПР!



Сохраняющие спиральность ОПР

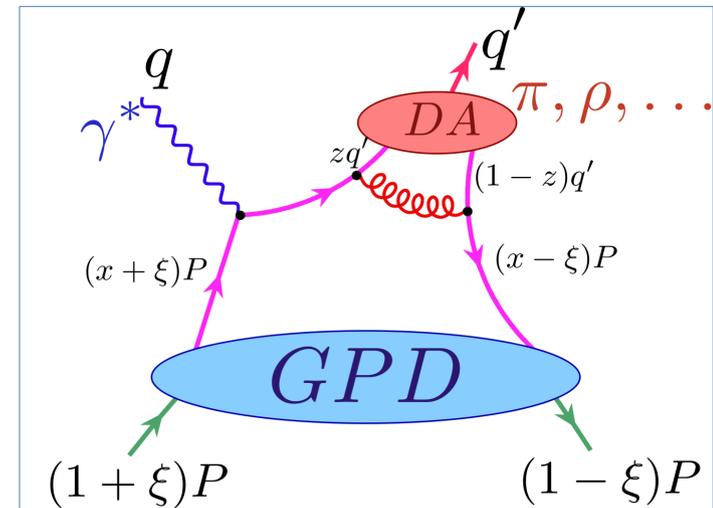


Меняющие спиральность ОПР



Получение доступа к кирально-нечетным ОПР в электророждении π^0 -мезона

- В теоретических работах было высказано предположение, что вклад от сохраняющих спиральность ОПР в электророждении π^0 -мезона в кинематике детектора CLAS подавлен.
- Меняющие спиральность ОПР играют основную роль в этом процессе.
- Изучение электророждения π^0 -мезона дает прямой доступ к изучению меняющих спиральность ОПР H_T и $\bar{E}_T (= 2\tilde{H}_T + E_T)$



$$ep \rightarrow e' p' \pi^0$$

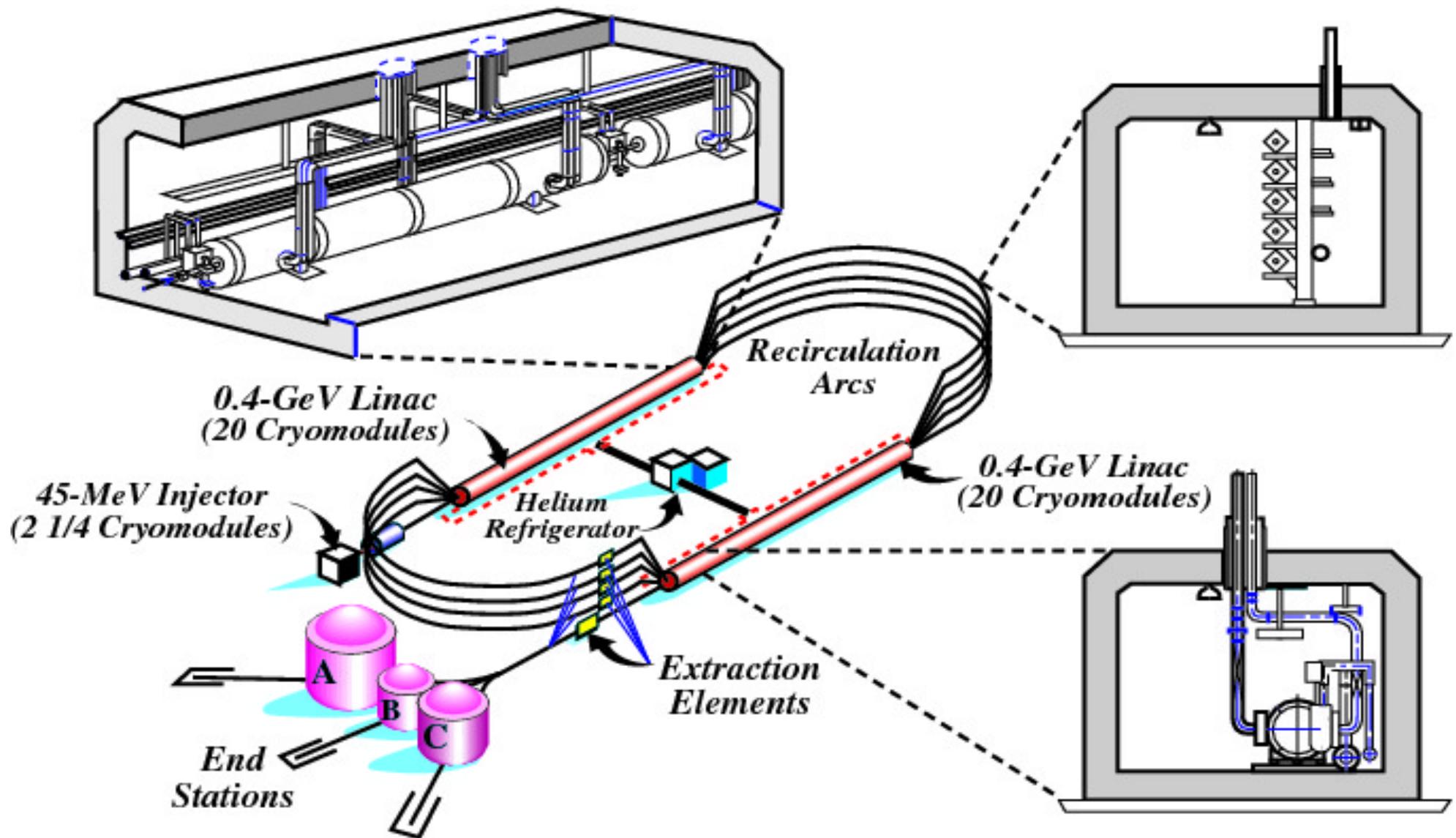
S.V. Goloskokov and P. Kroll, Eur. Phys. J. A47, 112 (2011),

G. R. Goldstein, J. O. Gonzalez Hernandez and S. Liuti, Phys. Rev. D84}, 034007 (2011)

Лаборатория имени Томаса Джефферсона

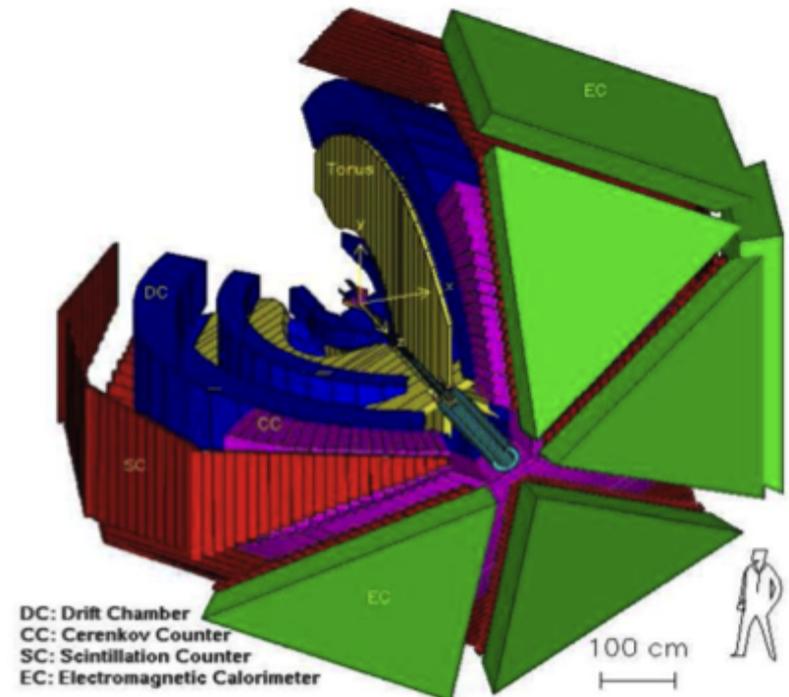
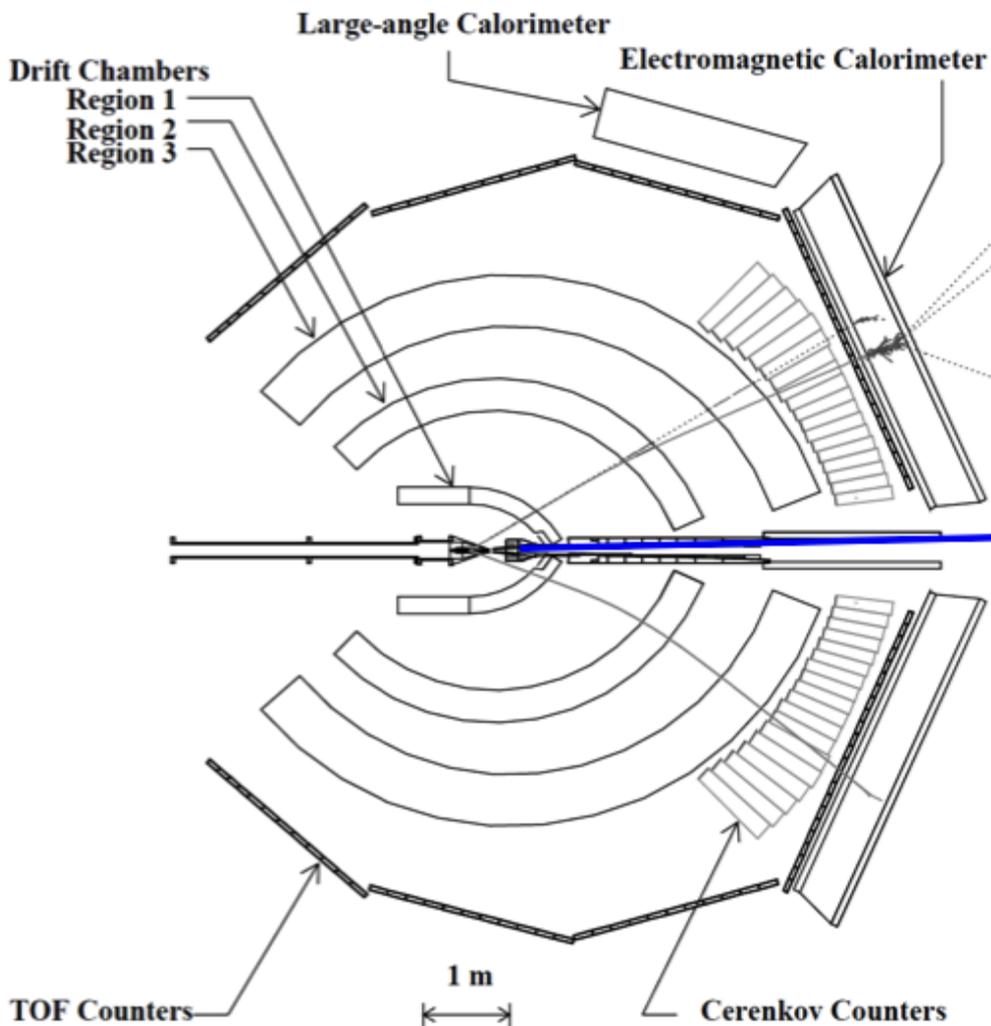


Схема ускорителя СЕВАФ

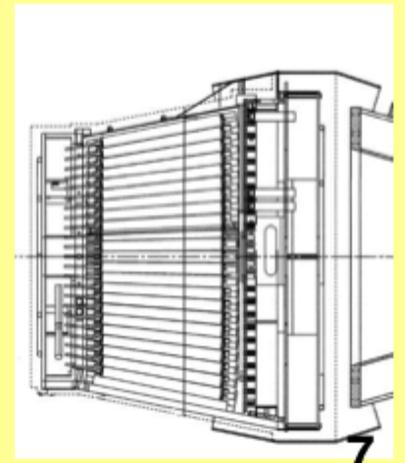
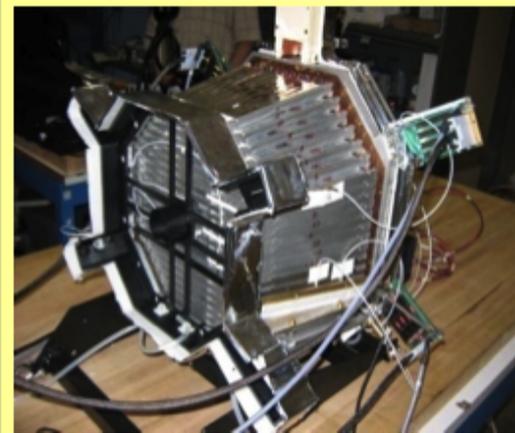


Детектор CLAS и IC

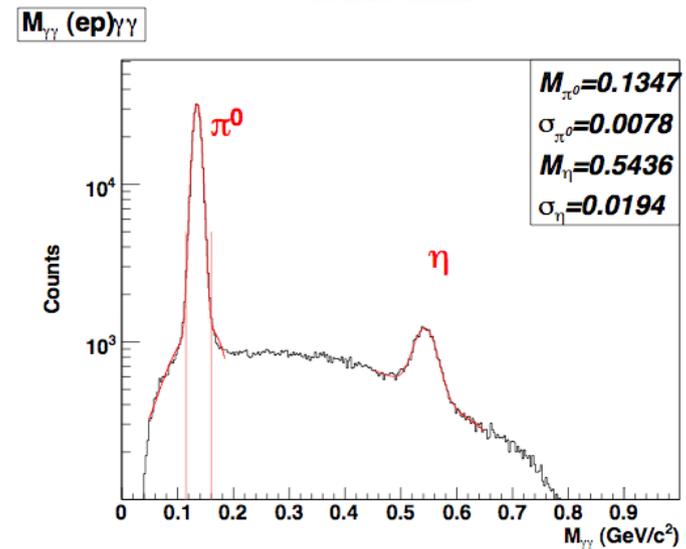
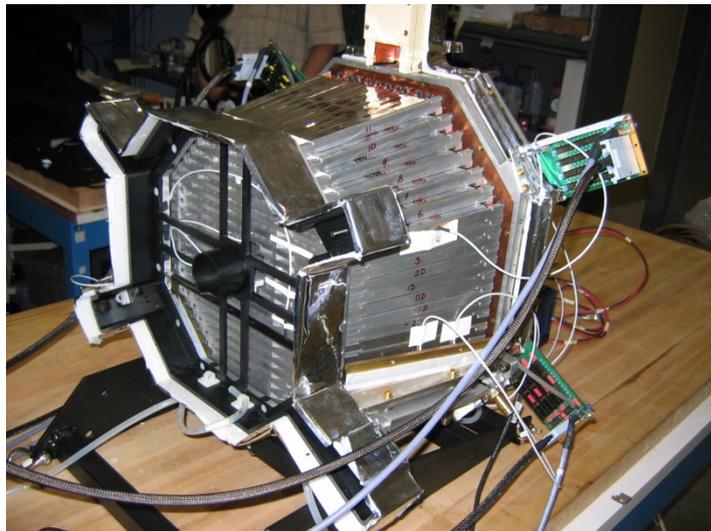
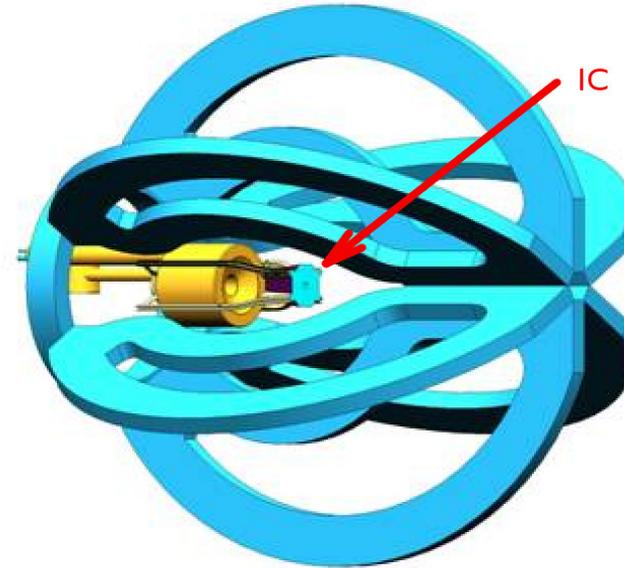
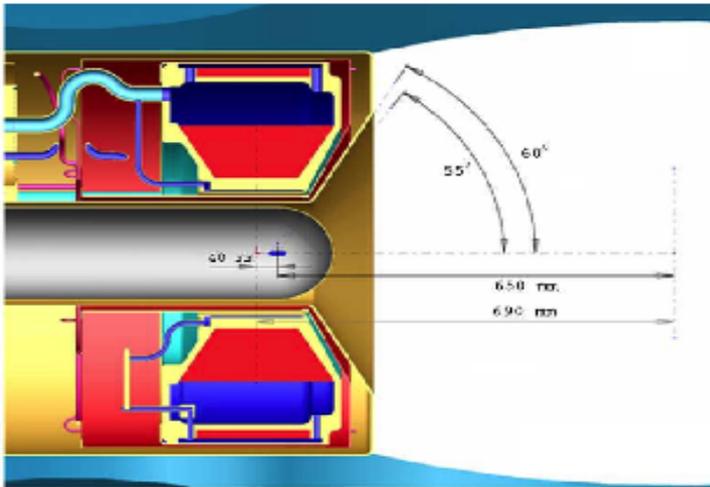
- ✓ electron detection - EC, DC, CC
- ✓ proton detection – SC, DC
- ✓ photons detection – EC, IC



Inner Calorimeter



Внутренний Калориметр(IC) и DVCS соленоид



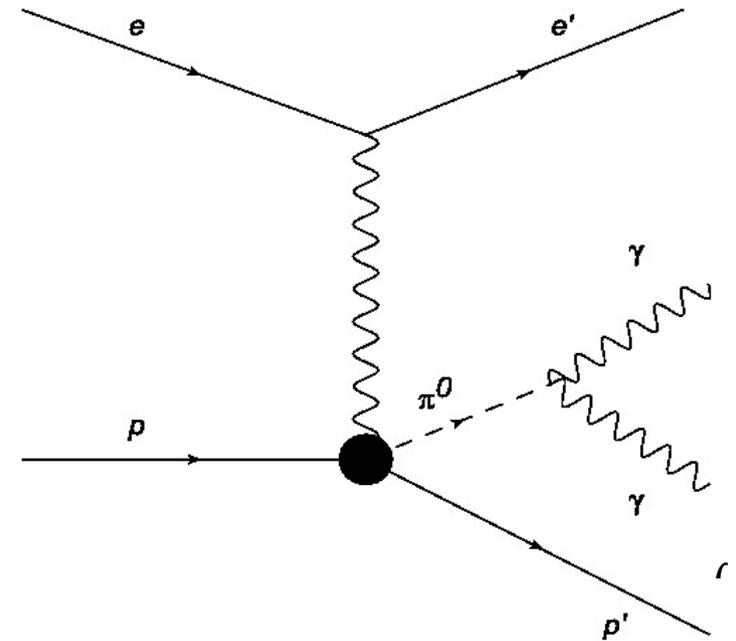
Эксперимент e1-dvcs

- Данные набраны с 11 марта 2005 г. по 27 мая 2005 г. на детекторе CLAS
- Использовалась неполяризованная жидководородная мишень длиной 2.5 см.
- Использовался поляризованный электронный пучок с энергией $E_0 = 5.75$ ГэВ
- Общая набранная светимость $L = 3.27 \cdot 10^7$ 1/nb
- На ленты записано $7.16 \cdot 10^9$ событий

Эксклюзивная реакция электророждения π^0 -мезона

$$ep \rightarrow e' p' \pi^0, \pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$$

Все четыре частицы финального состояния e', p', γ, γ зарегистрированы



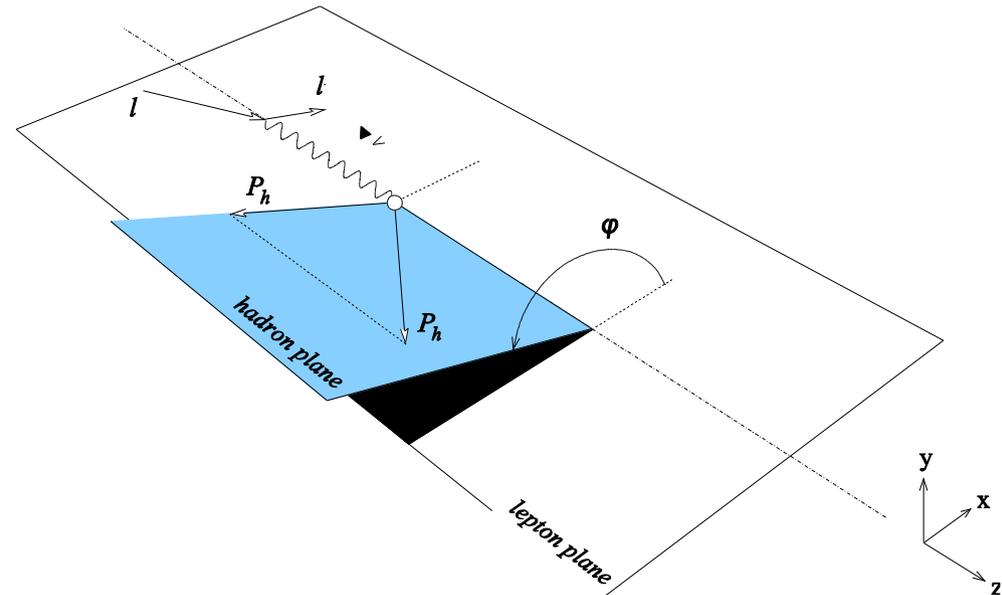
Одной из целей работы является измерение дифференциальных сечений

$$\frac{d^4\sigma(Q^2, x_B, t, \phi)}{dQ^2 dx_B dt d\phi}$$

Во внерезонансной кинематической области $W > 2$ ГэВ

Кинематические переменные

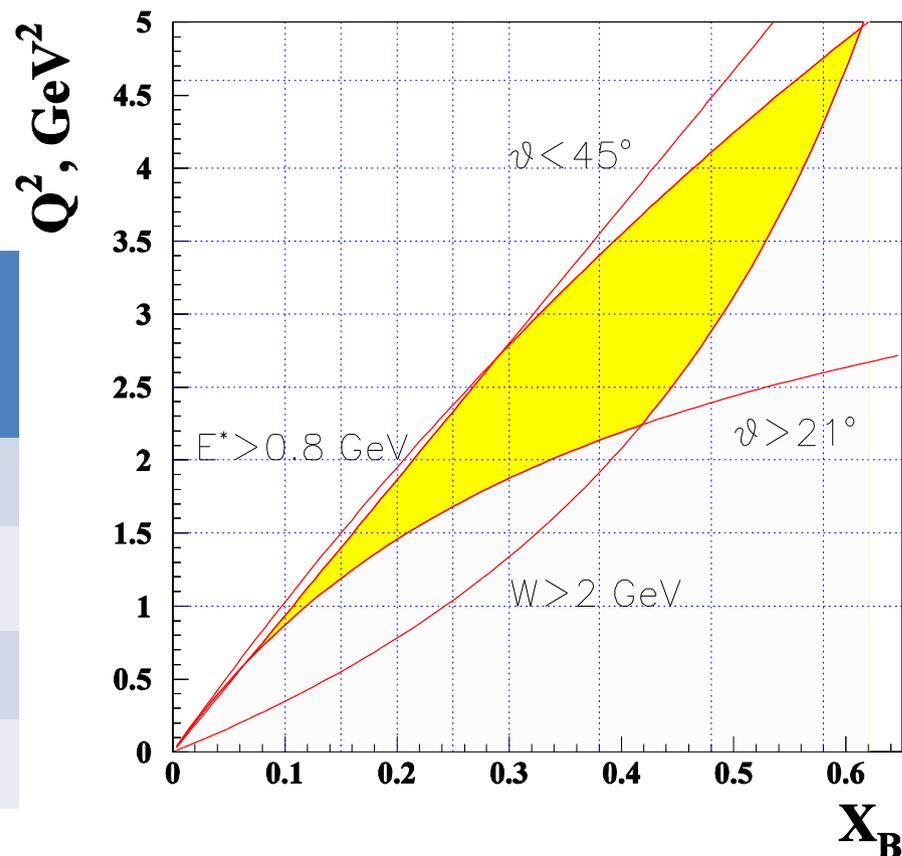
- $Q^2 = -q^2 = -(p_e - p_e')^2$
- $x_B = Q^2 / 2Pq$, где P, q это 4-векторы протона и виртуального фотона
- $t = (P - P')^2$, передача импульса протону
- ϕ угол между лептонной и адронной плоскостями в конвенции Тренто



Акцептанс и кинематические бины

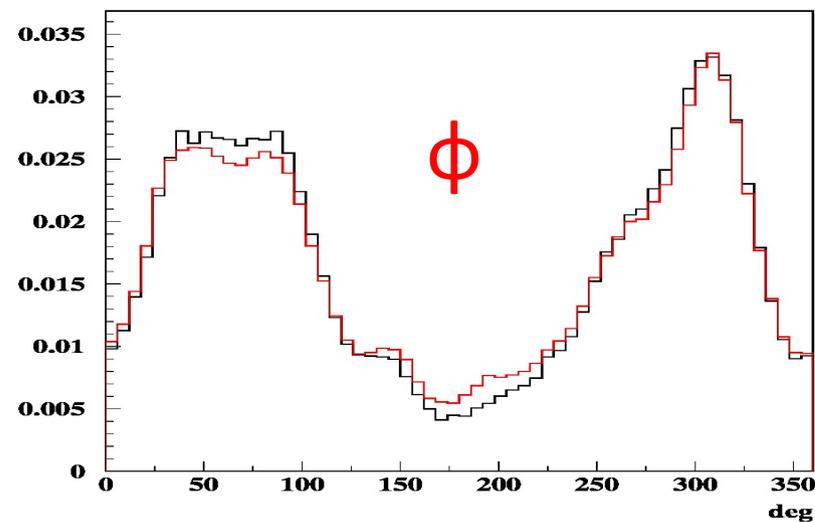
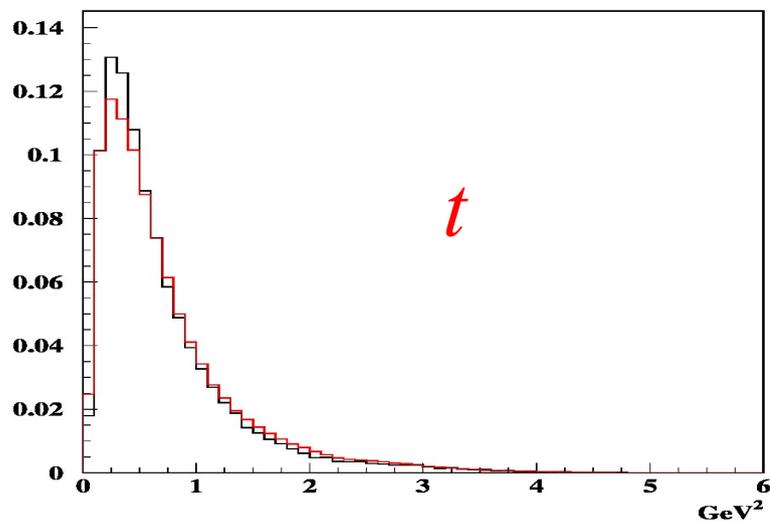
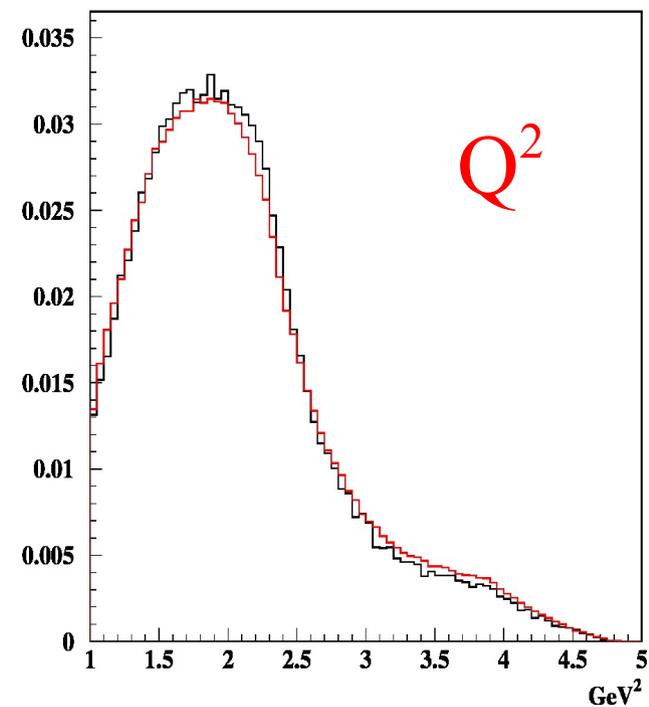
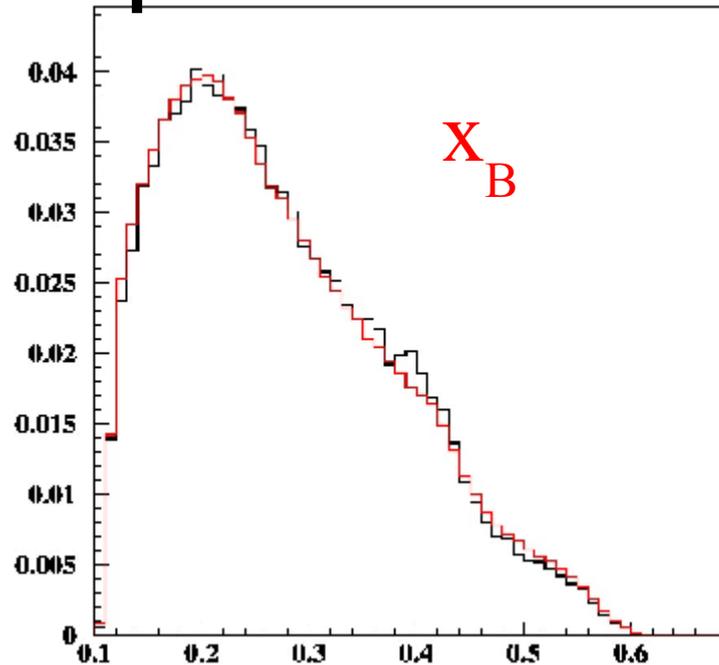
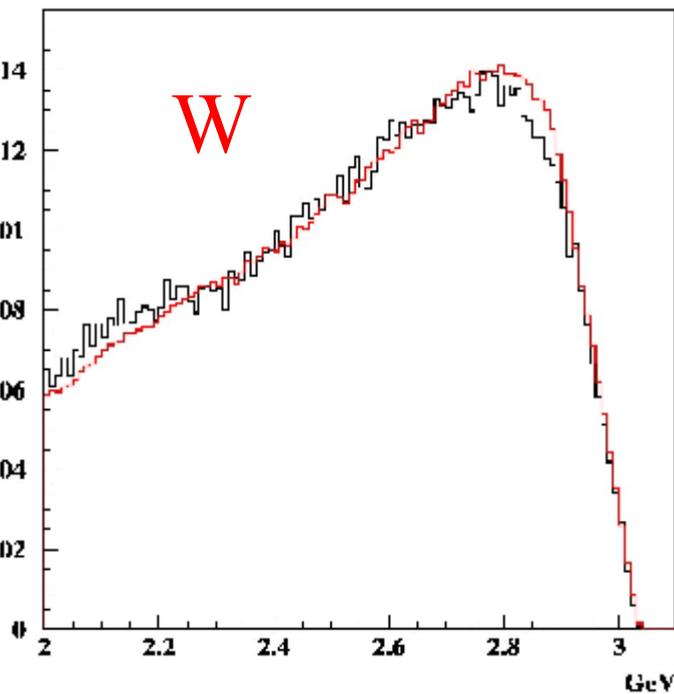
Использовались
прямоугольные
кинематические бины

Переменная	Число бинов	Нижний предел	Верхний предел
Q^2	8	1.0	4.5 ГэВ ²
x_B	7	0.1	0.58
$-t$	8	0.09	2.0 ГэВ ²
ϕ	20	0.	360. °



Дифференциальные сечения были измерены в ~ 1800 кинематических бинах по Q^2, x_B, t, ϕ

Акцептансы по индивидуальным переменным



Отбор событий из реакции

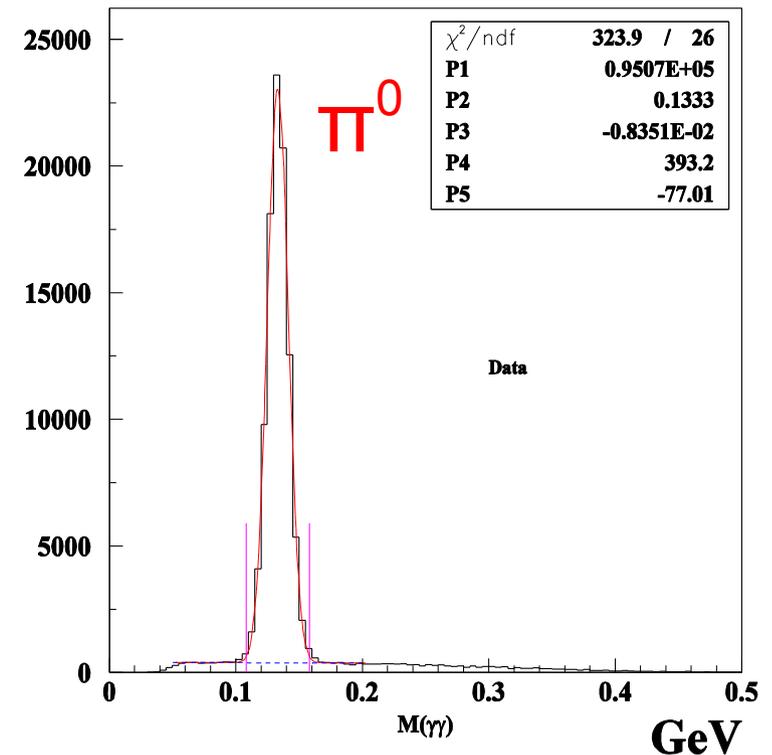
$$e p \rightarrow e' p' \pi^0$$

- Топология реакции не была ограничена e, p, γ, γ . Допускались события с "дополнительными" частицами.
- Отбирались события с одним электроном, с по меньшей мере одним протоном и по меньшей мере с двумя фотонами.
- Все комбинации из e, p, γ, γ проверялись на принадлежность к реакции $e p \rightarrow e' p' \pi^0$
- Если хотя бы одна комбинация удовлетворяла обрезаниям на эксклюзивность событие считалось эксклюзивным.

Обрезания на эксклюзивность

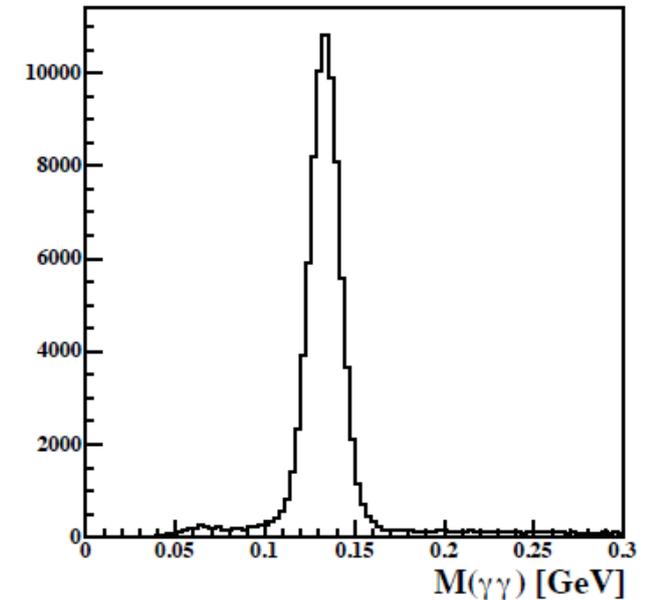
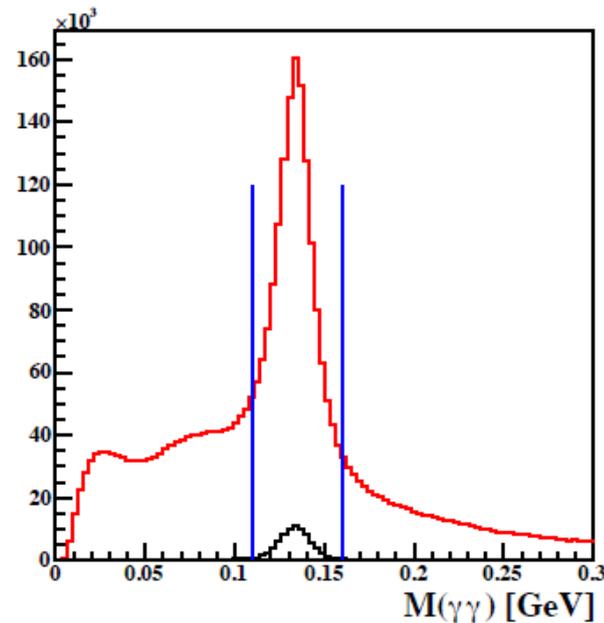
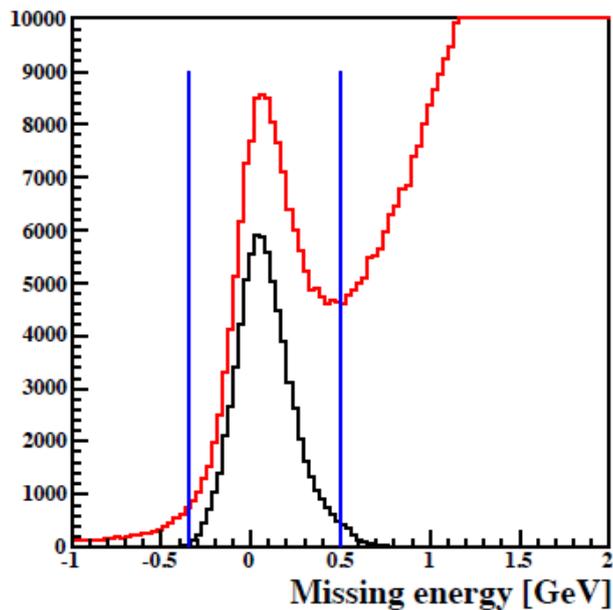
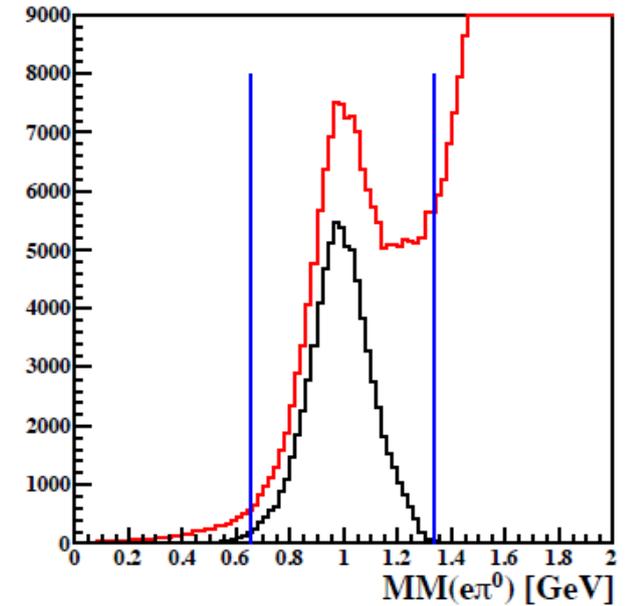
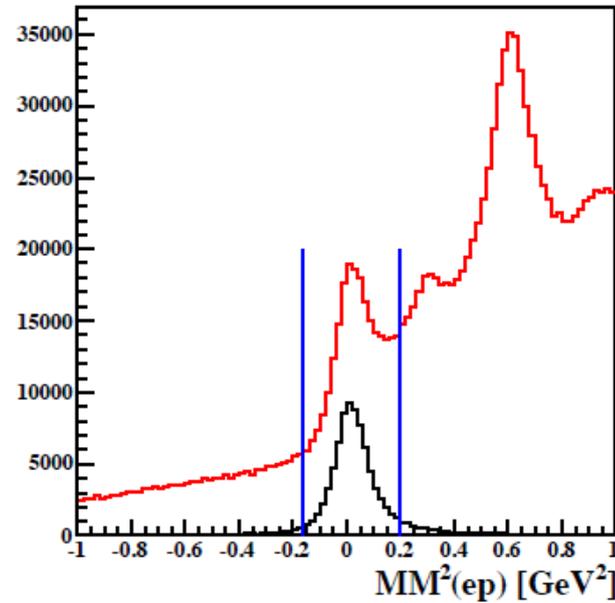
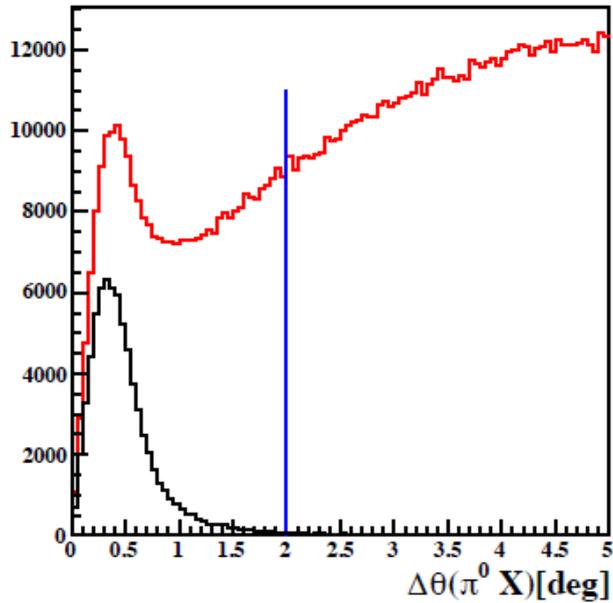
Использовались следующие обрезания для выделения эксклюзивной реакции:

- Обрезание на инвариантную массу двух фотонов $M(\gamma\gamma)=M(\pi^0)\pm 3\sigma$
- Обрезание на угол между недостающей системой к ер и направление импульса π^0
- Обрезание на недостающую массу к е $\gamma\gamma$ $M_x(e\gamma\gamma)=M(p)\pm 3\sigma$
- Обрезание на квадрат недостающей массы к ер $M_x^2(er)=M^2(\pi^0)\pm 3\sigma$
- Обрезание на недостающую энергию к е $\gamma\gamma$ $E_x(e\gamma\gamma)=0\pm 3\sigma$



Обрезания были разные для фотонов, зарегистрированных в разных калориметрах

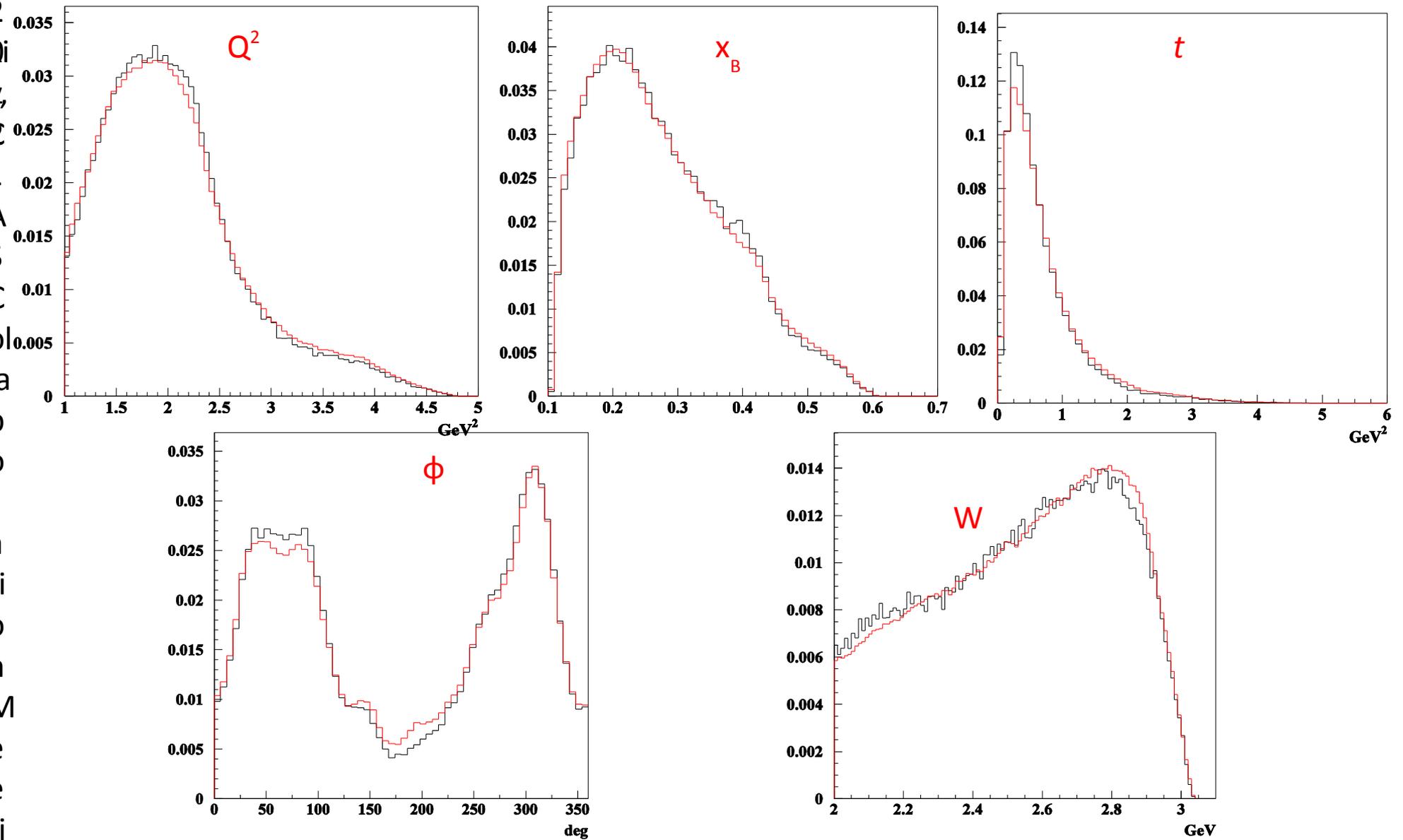
Обрезания на эксклюзивность



Вычисление аксептанса детектора

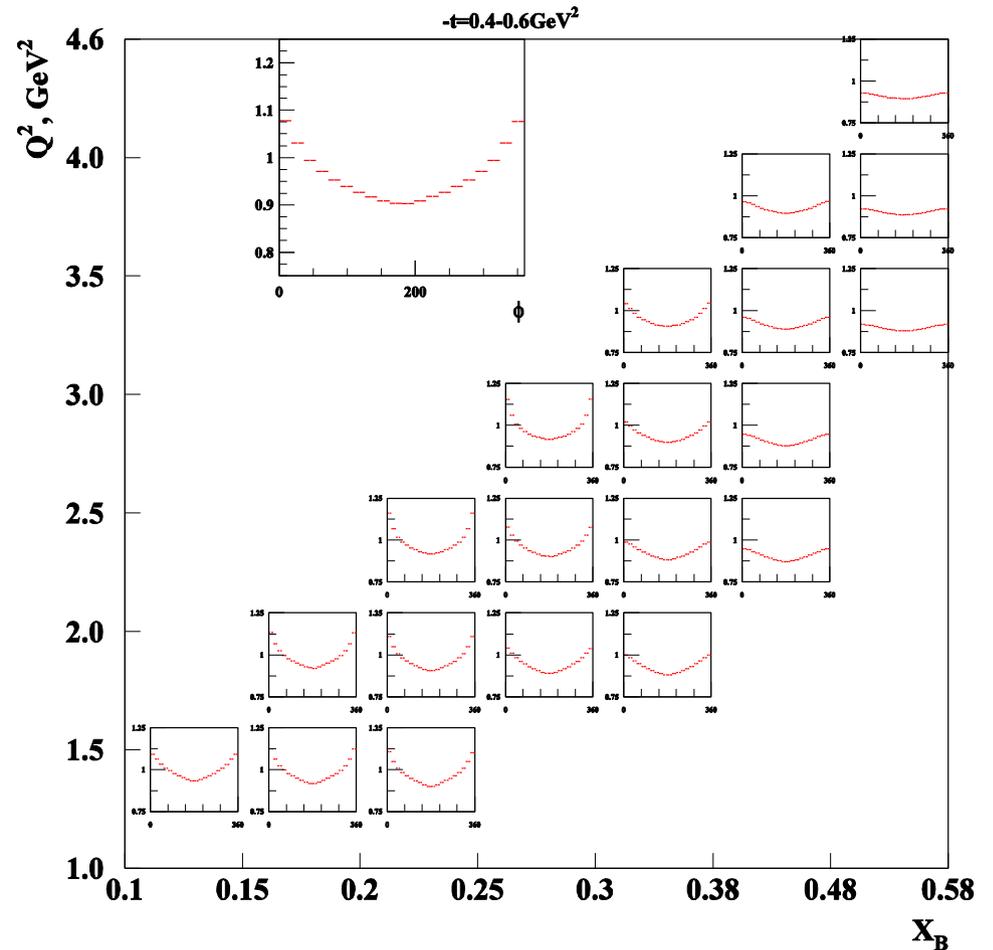
- Генератор событий `aa0_rad` с радиационными эффектами.
- Программный пакет CLAS Geant Simulation(**GSIM**)
- Постпроцессор GSIM
- Добавление шумов в события Монте-Карло
- Реконструкция событий Монте-Карло
- Анализ событий Монте-Карло

Данные и Монте-Карло



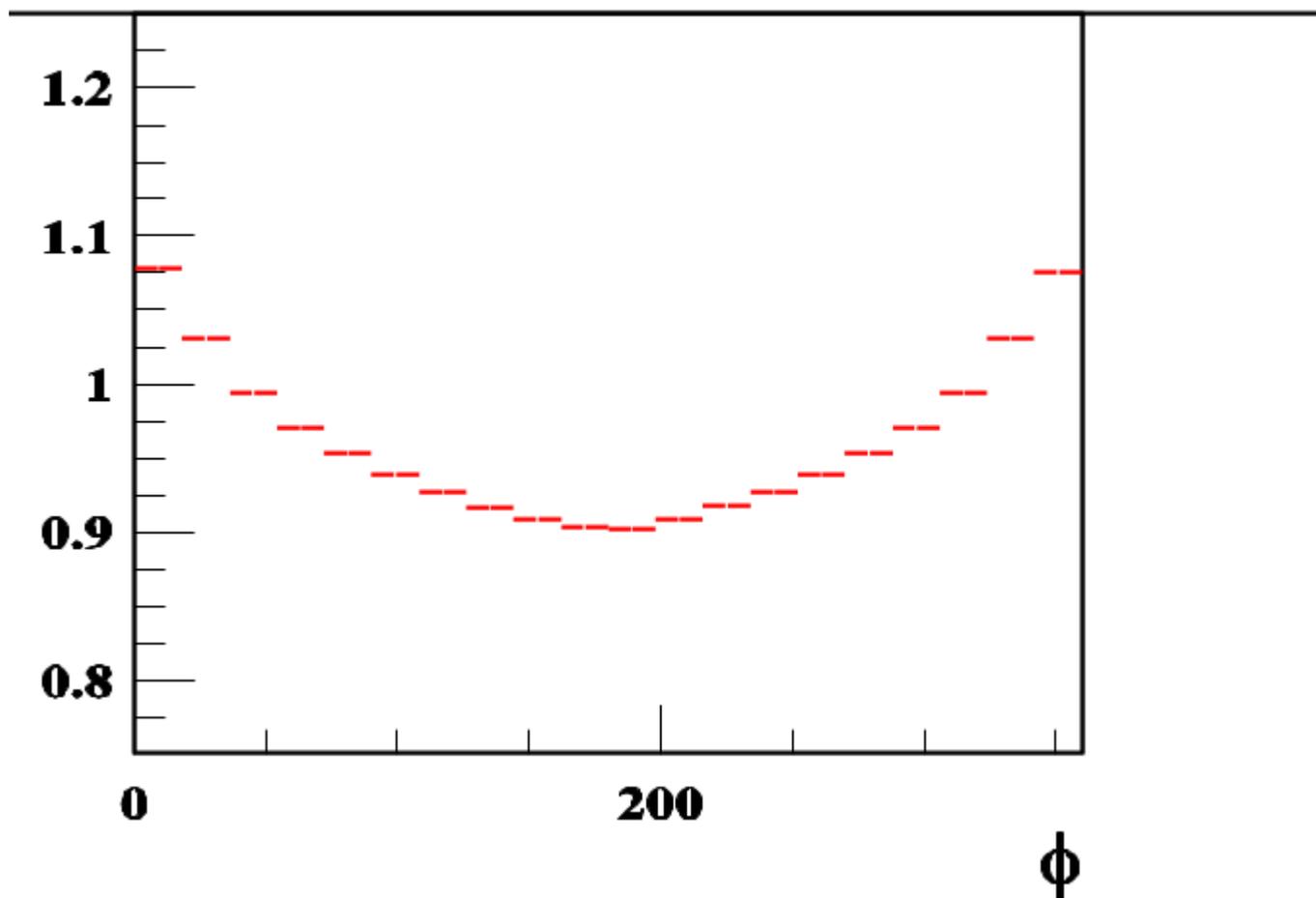
Радиационные поправки

- Для вычисления радиационных поправок использовался пакет **exclurad**
- В нем были использованы те же самые эмпирические структурные функции, что и в пакете `aa0_rad`
- Радиационные поправки были вычислены индивидуально для каждого бина, т.е. имели ϕ зависимость
- Радпоправки были $\sim 5-10\%$



Радиационные поправки

$-t=0.4-0.6\text{GeV}^2$

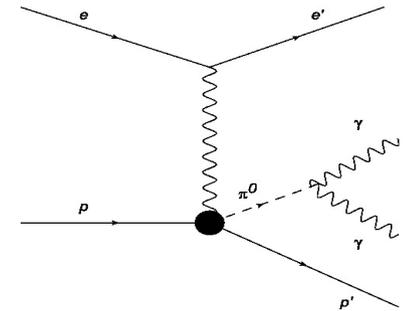


Абсолютная нормализация

- Во время анализа эксперимента e1-dvcs были вычислены дифференциальные сечения реакции упругого рассеяния.
- Идентификация частиц и большинство обрезаний были идентичны тем, что использовались в анализе эксклюзивного электророждения π^0 -мезона
- Измеренные сечения в среднем составляли **87.66%** от параметризации мировых данных. Это число использовалось как нормализационная константа в анализе электророждения π^0 -мезона

Сечения реакции $\gamma^* p \rightarrow p' \pi^0$

Дифференциальные сечения в неполяризованном случае:



$$\frac{d^4 \sigma(Q^2, x_B, t, \varphi)}{dQ^2 dx_B dt d\varphi} = \Gamma(Q^2, x_B) \frac{1}{2\pi} [\sigma_T + \varepsilon\sigma_L + \varepsilon\sigma_{LT} \cos \varphi + \sqrt{\varepsilon(1+\varepsilon)} \sigma_{TT} \cos 2\varphi]$$

$\Gamma(Q^2, x_B)$ Поток виртуальных фотонов

Сечения реакции $\gamma^* p \rightarrow p' \pi^0$
(рассеяние потока виртуальных фотонов на протоне):

$$\frac{d^2 \sigma(Q^2, x_B, t, \varphi)}{dt d\varphi} = \frac{1}{2\pi} [\sigma_T + \varepsilon\sigma_L + \varepsilon\sigma_{LT} \cos \varphi + \sqrt{\varepsilon(1+\varepsilon)} \sigma_{TT} \cos 2\varphi]$$

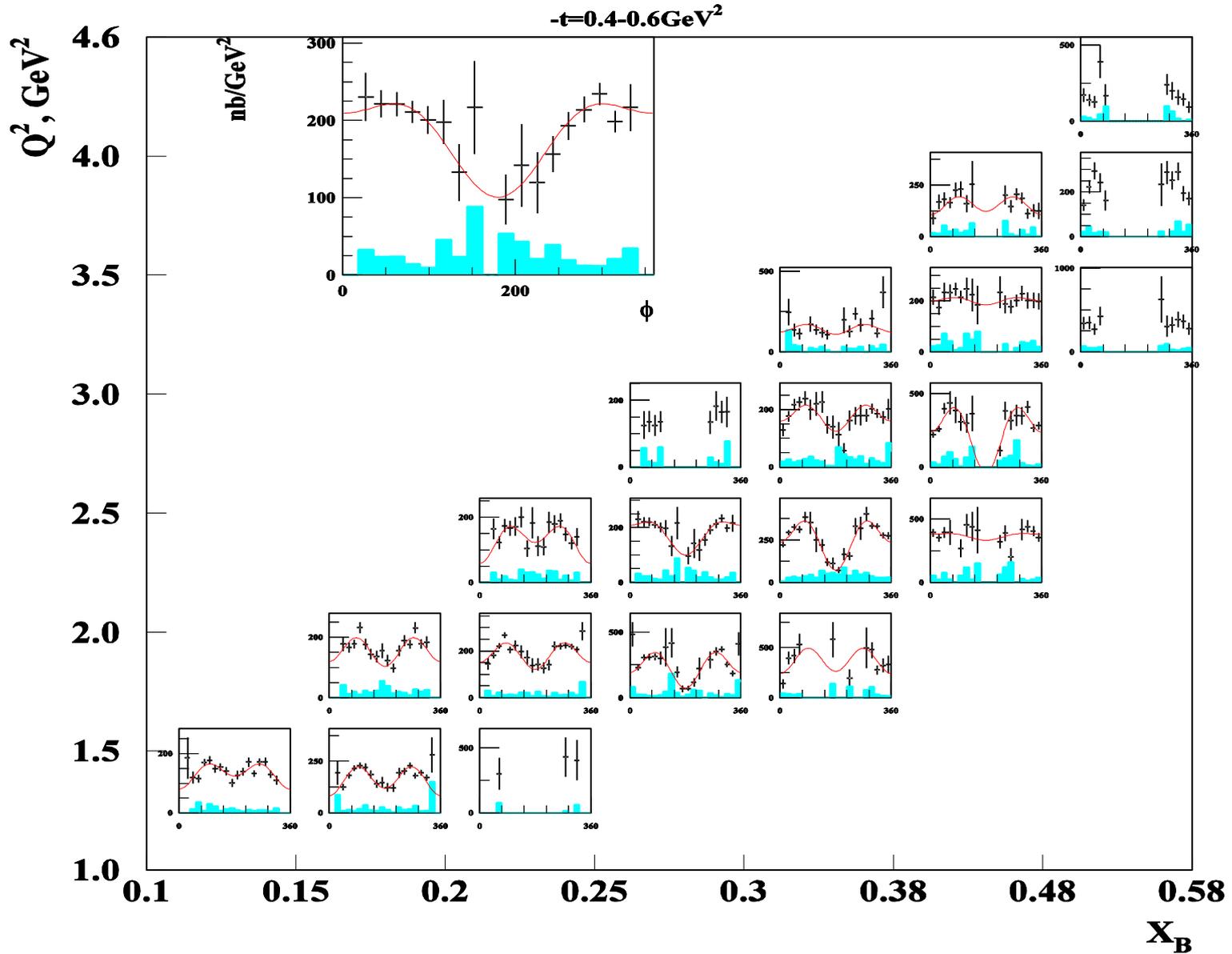
Систематические неопределенности

- Неопределенности были учтены индивидуально для каждого бина (где применимо)
- Были изучены 10 источников неопределенностей
- Средняя систематическая ошибка ~10%

Источник	Варьируется ли бина бину	Оценка от К (%)
Восстановление триггерного времени	Да	0.9
Длина мишени	Нет	0.2
Геометрические обрезания	Да	4.7
Обрезание на недостающую массу к $e\bar{e}\gamma$	Да	2.5
Обрезание на инвариантную массу двух фотонов	Да	2.9
Обрезание на недостающую энергию к $e\bar{e}\gamma\gamma$	Да	3.2
Радиационные поправки	Да	2.9
Вычисление светимости	Нет	1
Идентификация протона	Да	2.4
Обрезание на энергию γ зарегистрированного в ЕС	Да	1.6

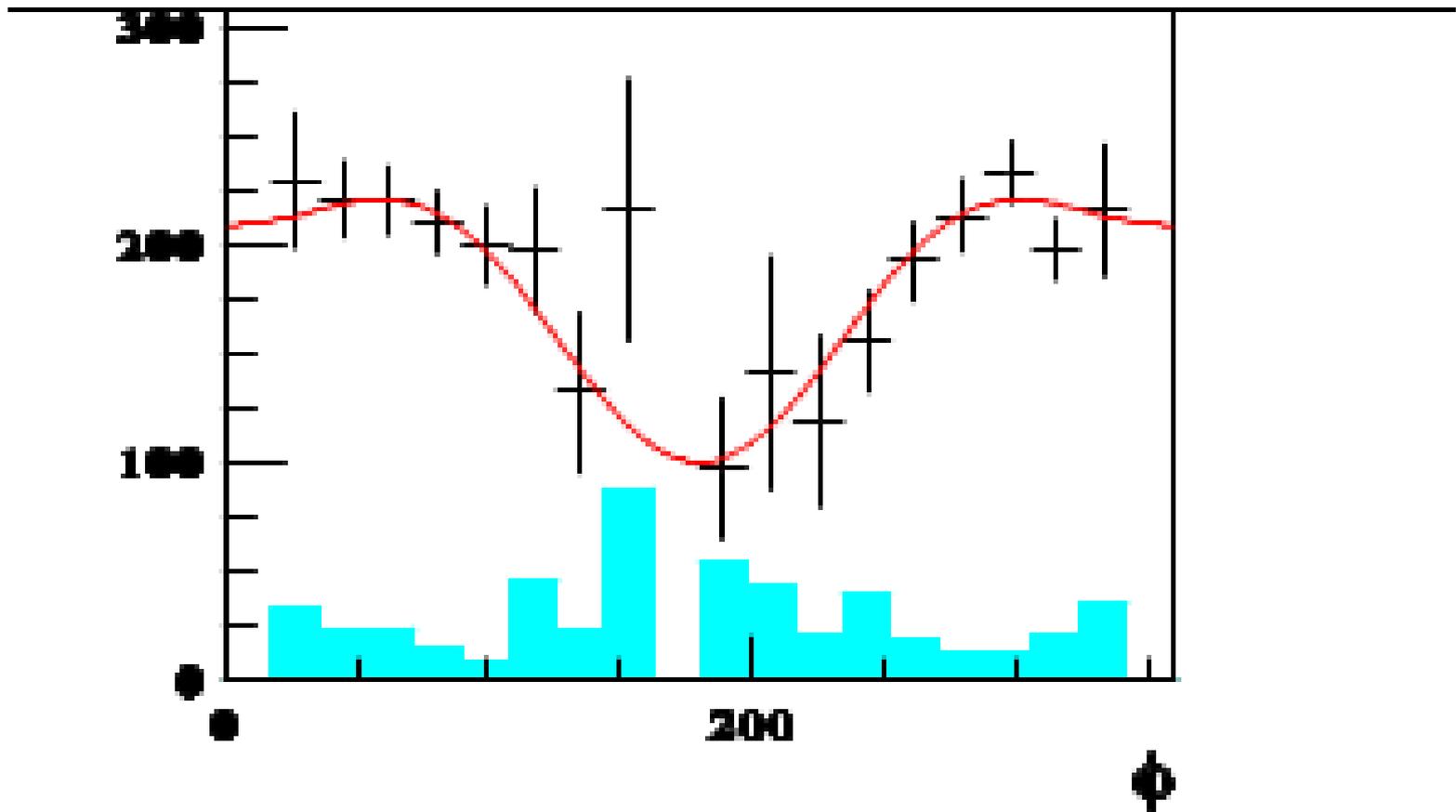
$$\frac{d^2\sigma(Q^2, x_B, t, \phi)}{dtd\phi}$$

Сечения реакции $\gamma^*p \rightarrow p'\pi^0$



$$\frac{d^2 \sigma(Q^2, x_B, t, \varphi)}{dt d\varphi} = \frac{1}{2\pi} [\sigma_T + \varepsilon \sigma_L + \varepsilon \sigma_{LT} \cos \varphi + \sqrt{\varepsilon(1+\varepsilon)} \sigma_{TT} \cos 2\varphi]$$

$-t = 0.4 - 0.6 \text{ GeV}^2$



Вычисление структурных функций

$$\frac{d^2 \sigma(Q^2, x_B, t, \varphi)}{dtd \varphi} = \frac{1}{2\pi} [\sigma_T + \varepsilon \sigma_L + \varepsilon \sigma_{LT} \cos \varphi + \sqrt{\varepsilon(1+\varepsilon)} \sigma_{TT} \cos 2\varphi]$$

Для данных x_B , Q^2 , t , отфитировав φ зависимость функцией вида:

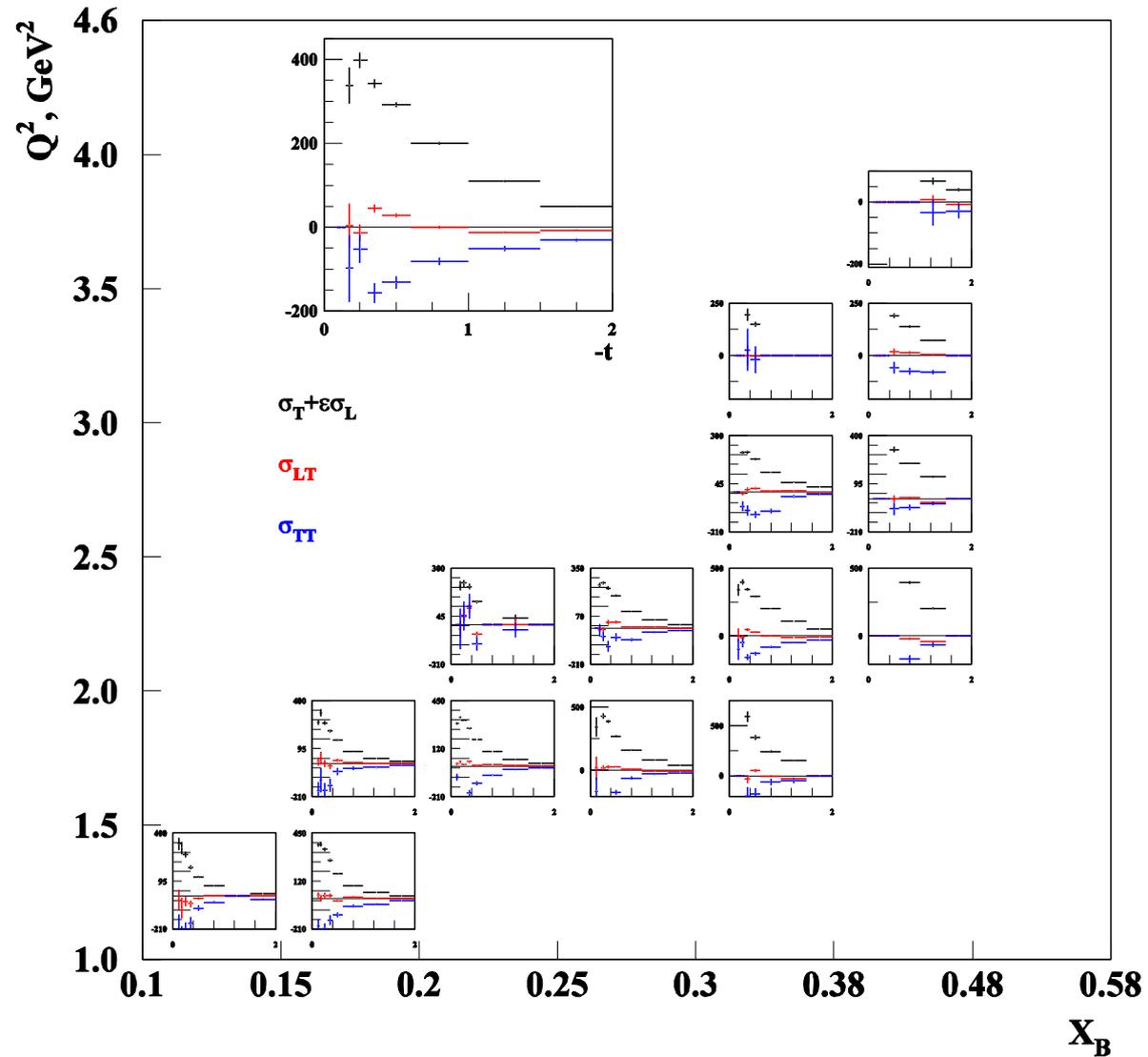
$$F = A + B \cos \varphi + C \cos 2\varphi$$

можно вычислить структурные функции:

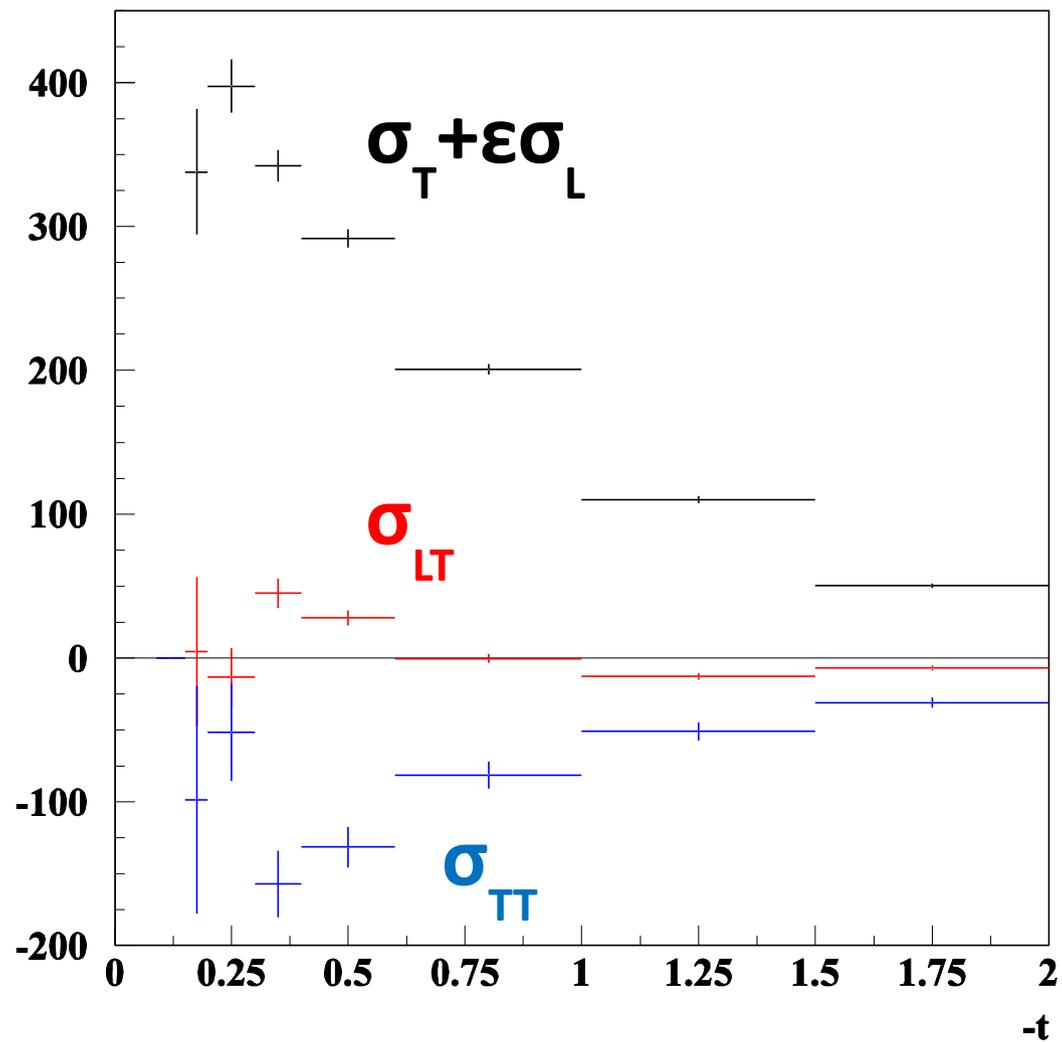
$$\sigma_T + \varepsilon \sigma_L, \sigma_{TT}, \sigma_{LT}$$

В данной работе невозможно разделить σ_T и $\varepsilon \sigma_L$

Структурные функции



Структурные функции

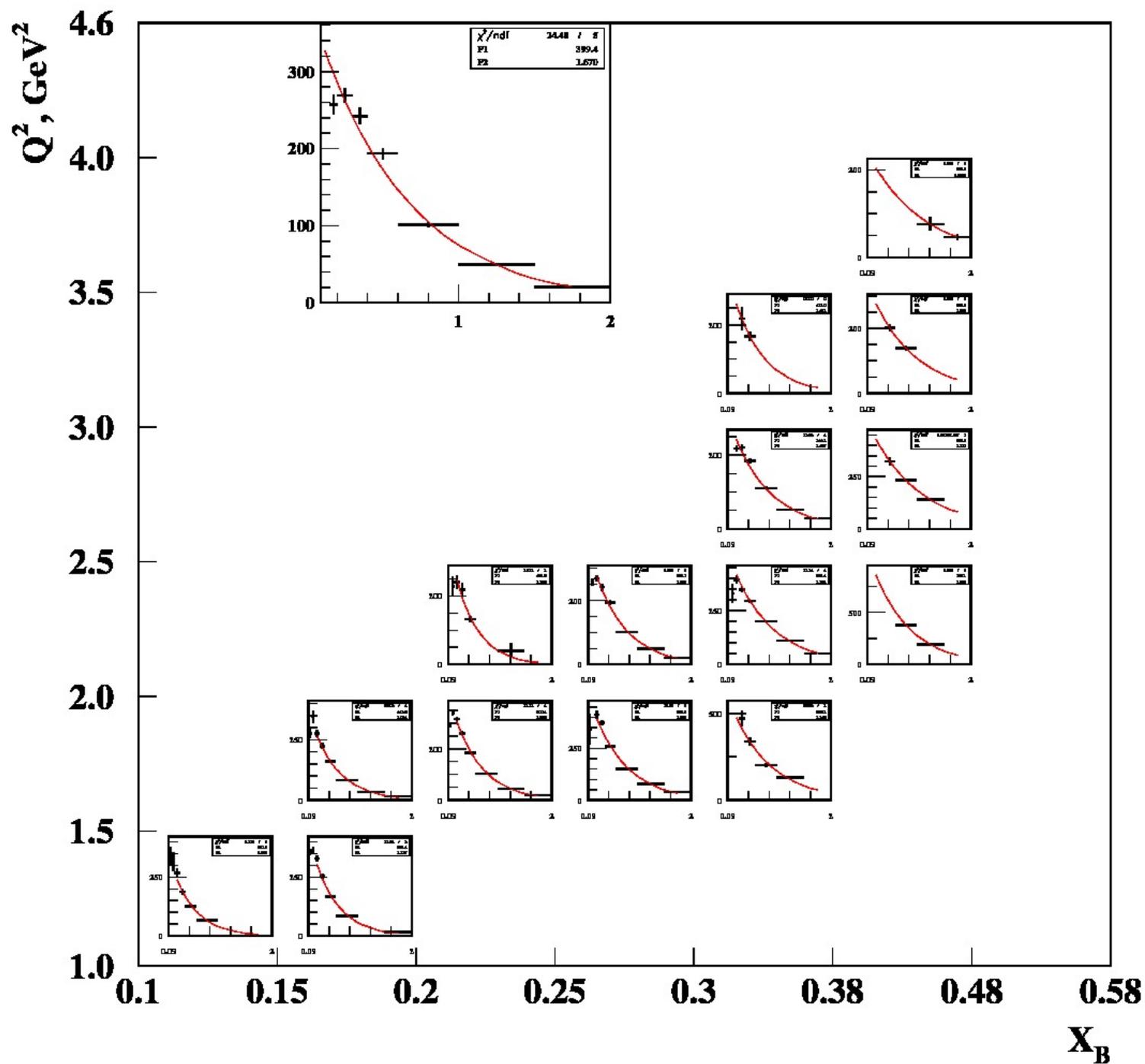


t-Распределения

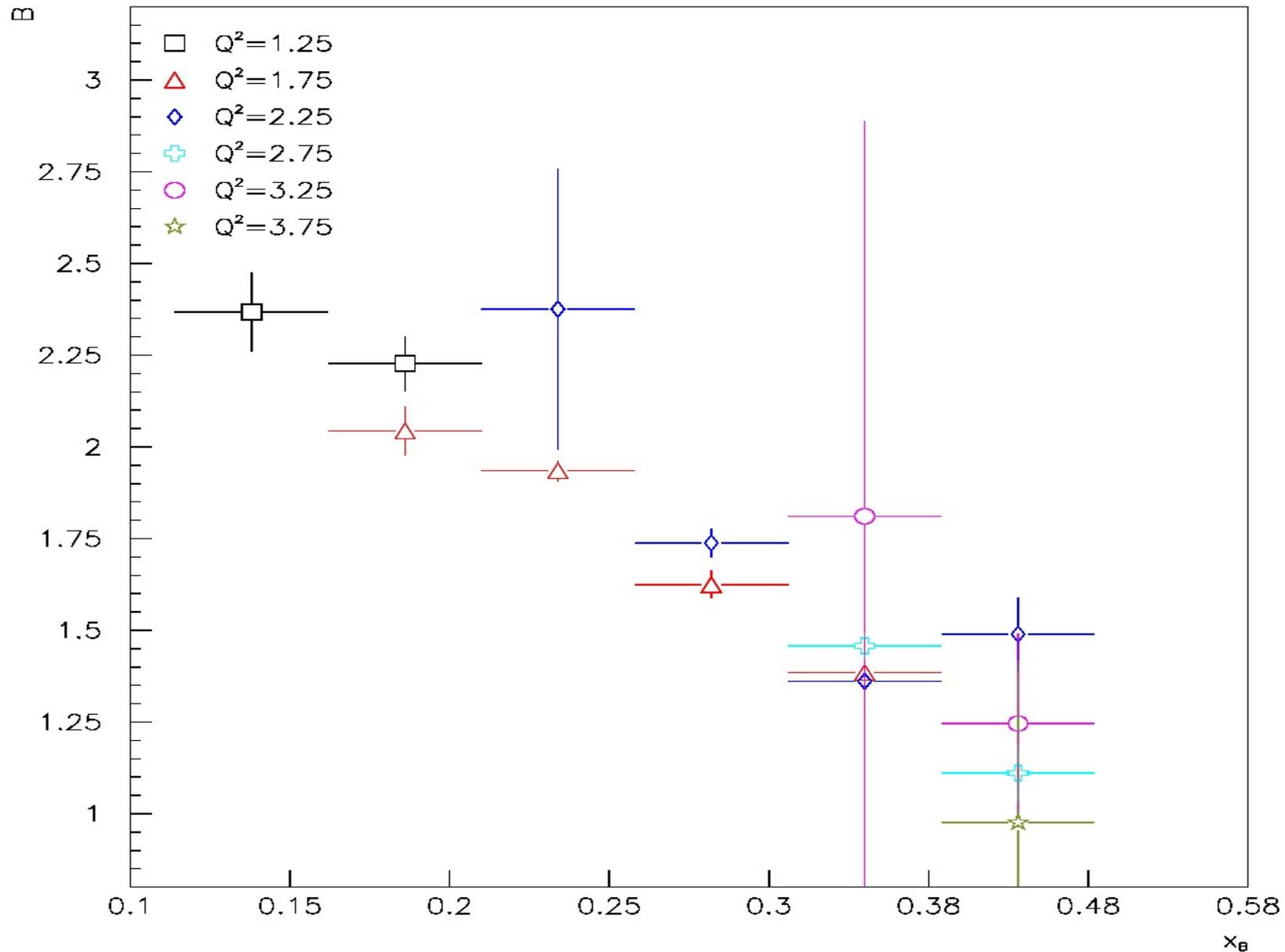
- После того, как были вычислены структурные функции была получена зависимость $\sigma_T + \varepsilon \sigma_L$ от t для разных значений x_B и Q^2
- Для каждого данного x_B и Q^2 t -зависимость была отфитирована экспонентой:

$$\sigma_T + \varepsilon \sigma_L = A e^{-Bt}$$

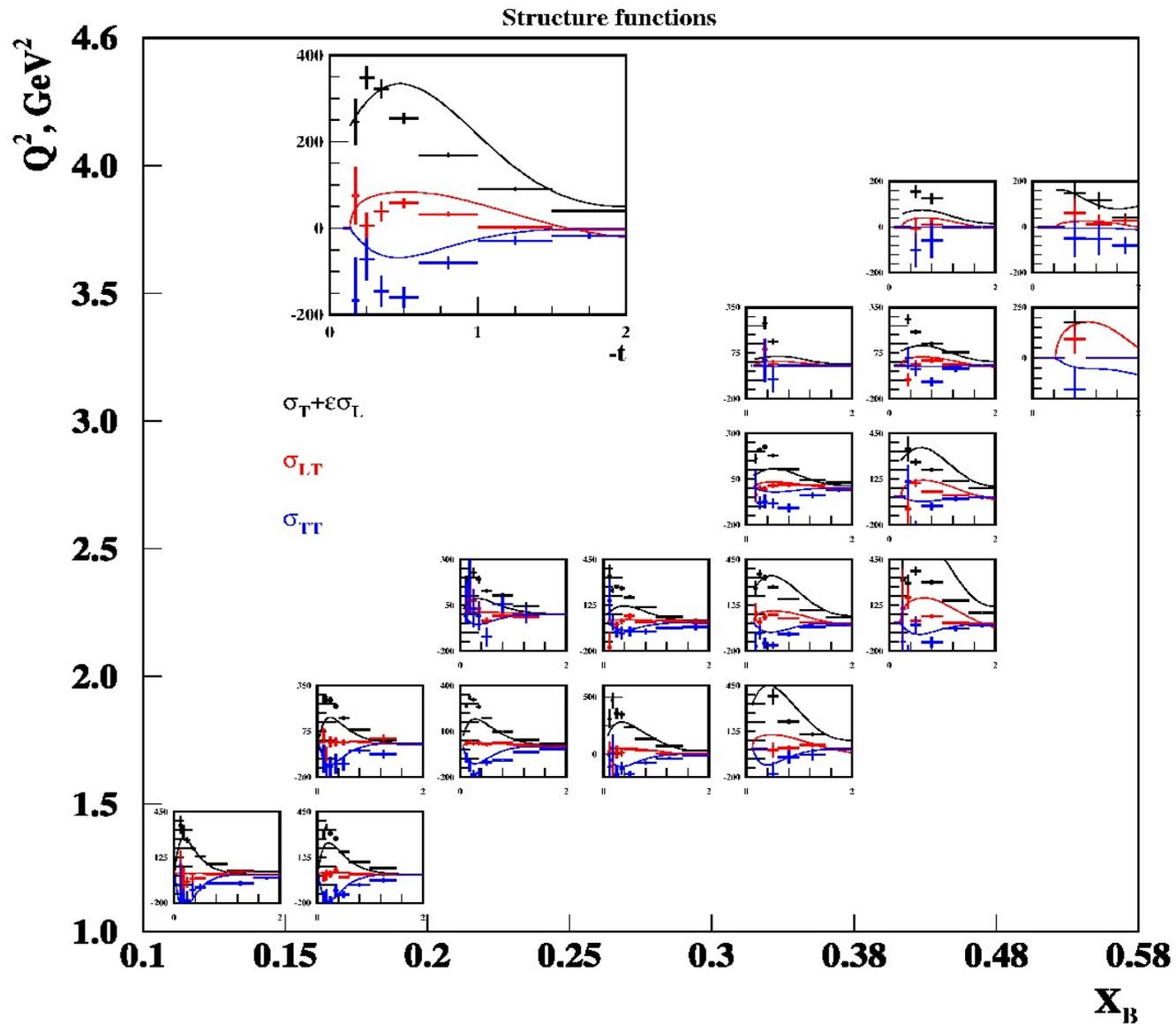
$$\sigma_T + \varepsilon \sigma_L = A e^{-Bt}$$



Параметр B из фита Ae^{-Bt} для разных значений Q^2 и x_B

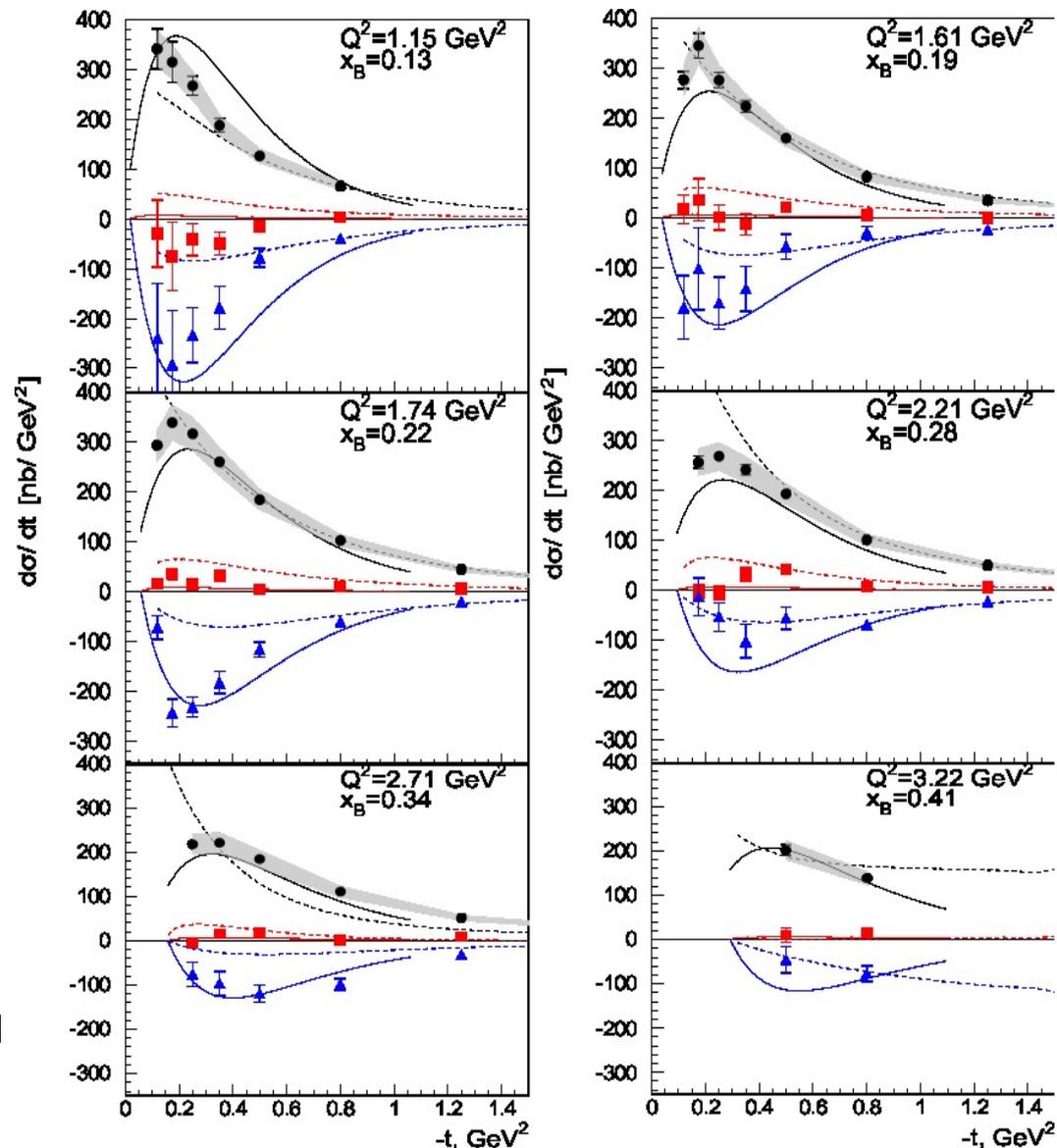


Сравнение с Редже моделью Ж.М. Лаже



Сравнение с ОПР моделями

- Вычисленные структурные функции были сравнены с предсказаниями двух ОПР моделей (Goloskokov, Kroll and Goldstein, Luiti) в нескольких кинематических бинах.
- Было показано, что модели сравнительно хорошо описывают экспериментальные данные.
- Ни одна из этих моделей не использовала эти данные для "подстройки" параметров.



Сравнение с ОПР моделями

Измеренные структурные функции дают прямой доступ к меняющейся киральности ОПР

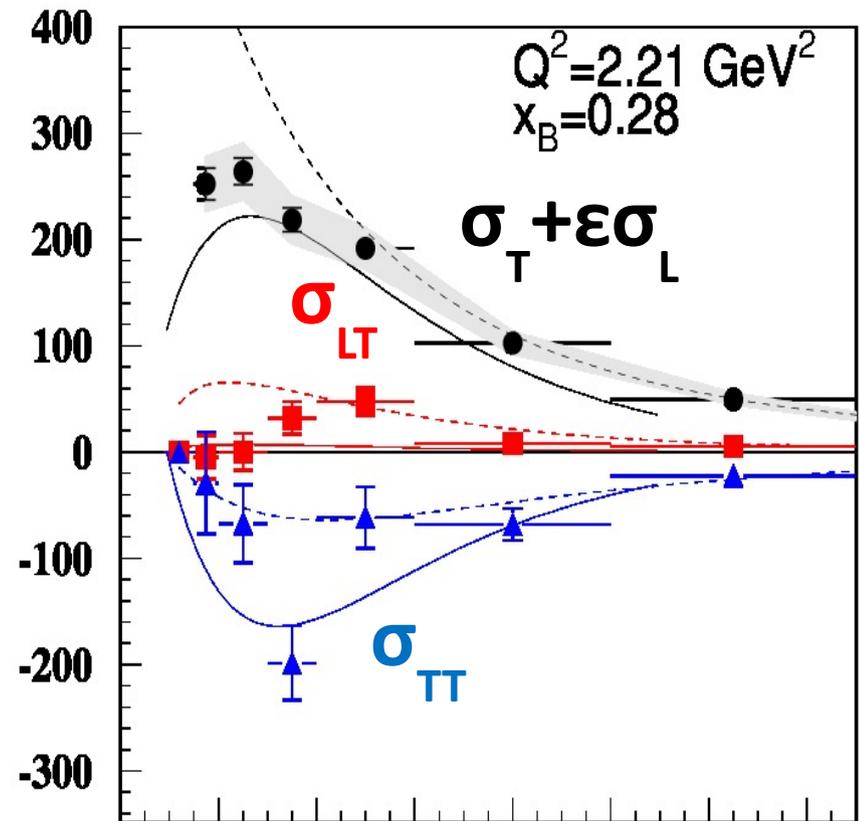
$$\frac{d\sigma_T}{dt} = \frac{4\pi\alpha_e\mu_\pi^2}{2kQ^4} \left[(1-\xi^2) \left| \langle H_T \rangle \right|^2 - \frac{t'}{8m^2} \xi^2 \left| \langle \bar{E}_T \rangle \right|^2 \right]$$

$$\frac{d\sigma_{TT}}{dt} = \frac{4\pi\alpha_e\mu_\pi^2}{8kQ^4} \frac{t'}{4m^2} \xi^2 \left| \langle \bar{E}_T \rangle \right|^2$$

$$\bar{E}_T = 2H_T + E_T$$

Сплошными линиями изображены предсказания модели С. Голоскокова и П. Кролла.

Пунктирными линиями изображены предсказания Модели Г. Голдстейна и С. Льюти



Выводы

- Дифференциальные сечения реакции $e p \rightarrow e p \pi^0$ были измерены в широком диапазоне Q^2 , x_B , t и ϕ в эксперименте e1-dvcs на детекторе CLAS.
- Получены структурные функции $\sigma_T + \varepsilon \sigma_L$, σ_{TT} , σ_{LT}
- Показано, что структурные функции хорошо описываются в рамках моделей описывающих эксклюзивное рождение π^0 обобщенными партонными распределениями.
- Получено указание на то, что реакция эксклюзивного электророждения π^0 -мезона является уникальным процессом, дающим доступ к кирально-нечетным ОПР \bar{E}_T и H_T