

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Физический факультет,  
Кафедра общей ядерной физики

Скородумина Юлия Андреевна

**Исследование эксклюзивной реакции электророждения  $\pi^+\pi^-$ -пары на протоне, связанном в дейтроне, в резонансной области.**

Специальность 01.04.16. - физика атомного ядра и элементарных частиц

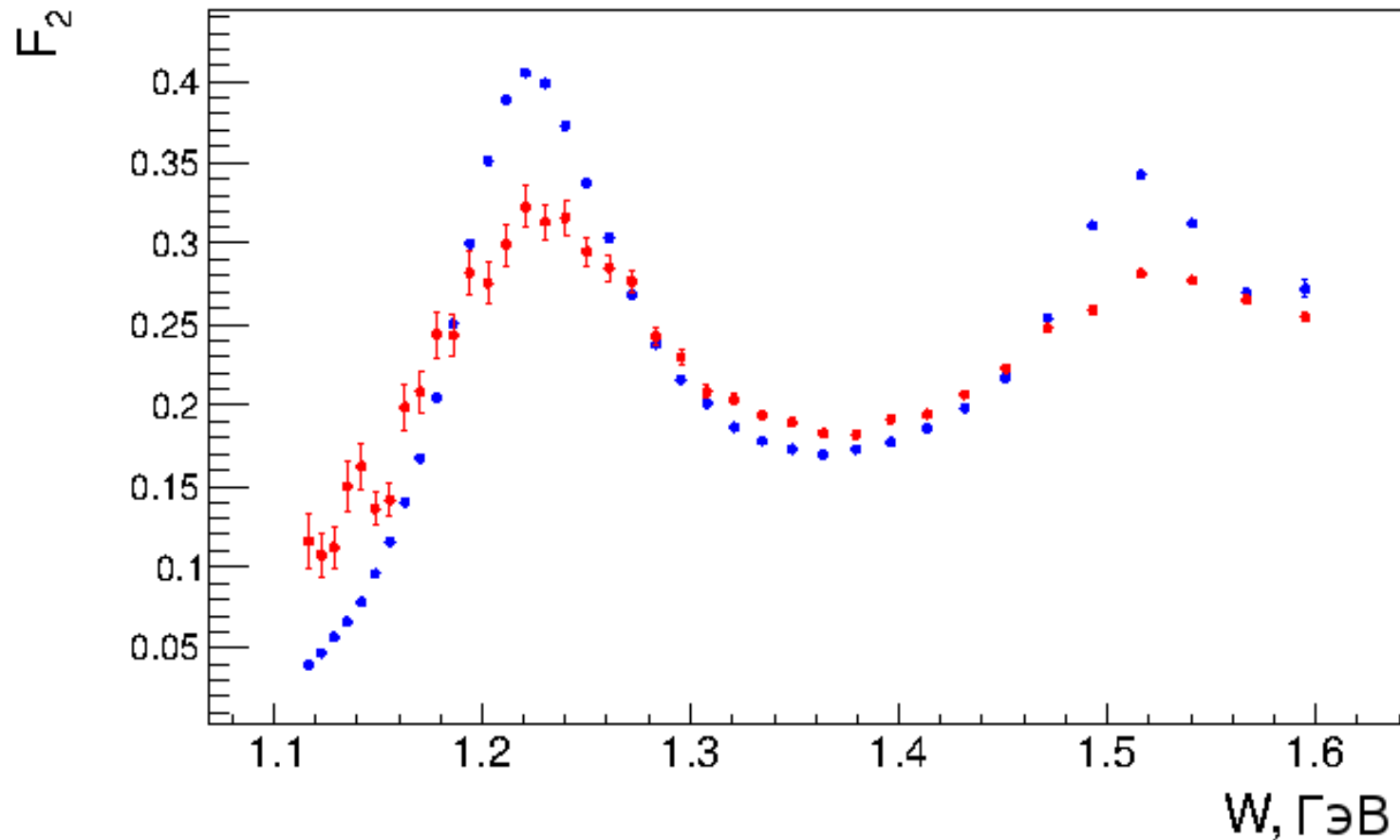
Доклад по материалам диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель д.ф.-м.н, профессор Ишханов Б.С.

Москва 2016 г.

# Физическая мотивация

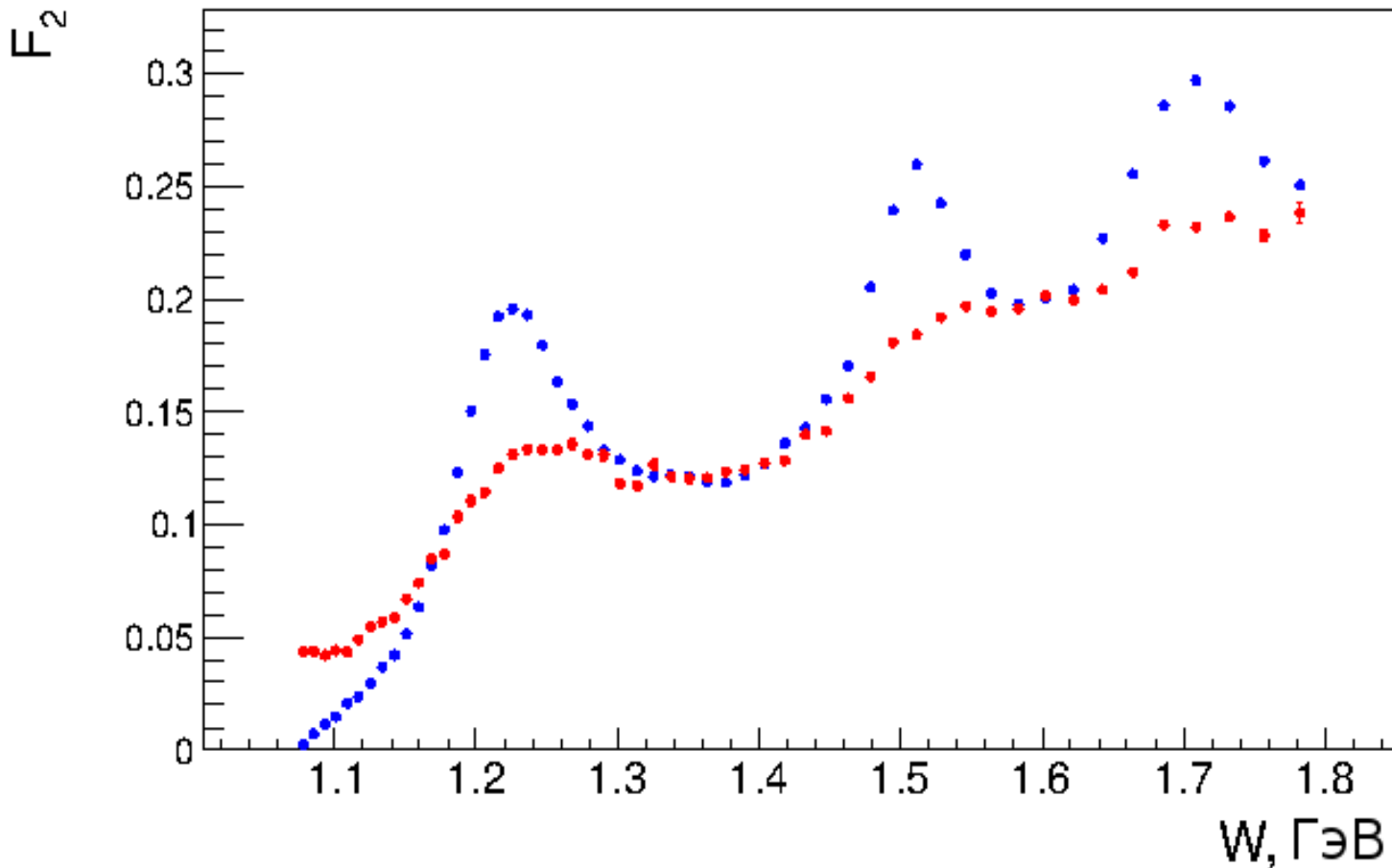
W-зависимость инклюзивной структурной функции  $F_2$  при  $Q^2 = 0.425 \text{ GeV}^2$



Синие точки – для свободного протона, красные точки – для дейтрона

# Физическая мотивация

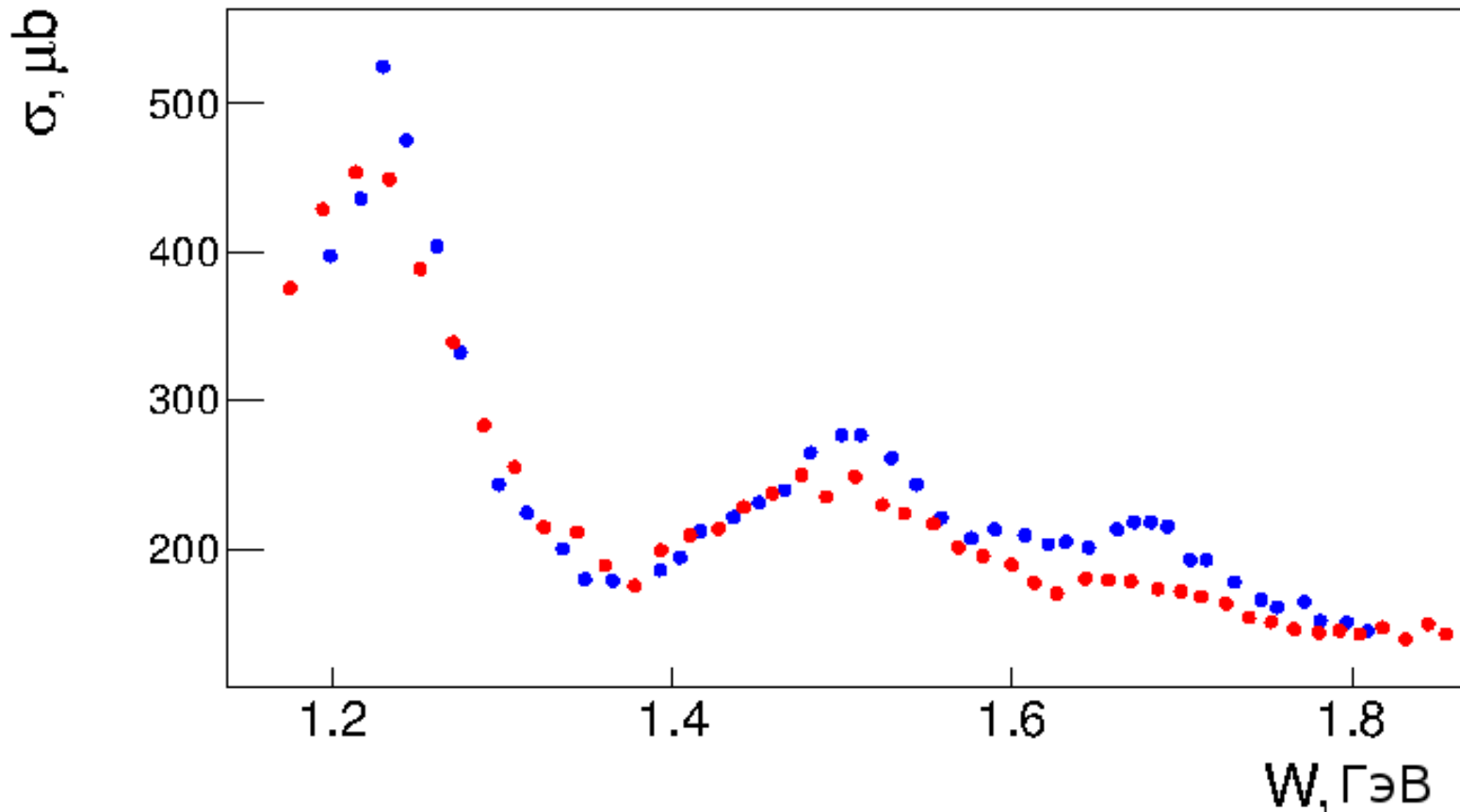
W-зависимость инклюзивной структурной функции  $F_2$  при  $Q^2 = 1.175 \text{ GeV}^2$



Синие точки – для свободного протона, красные точки – для дейтрона

# Физическая мотивация

W-зависимость полного сечения поглощения реальных фотонов



Синие точки – для свободного протона, красные точки – для дейтрона

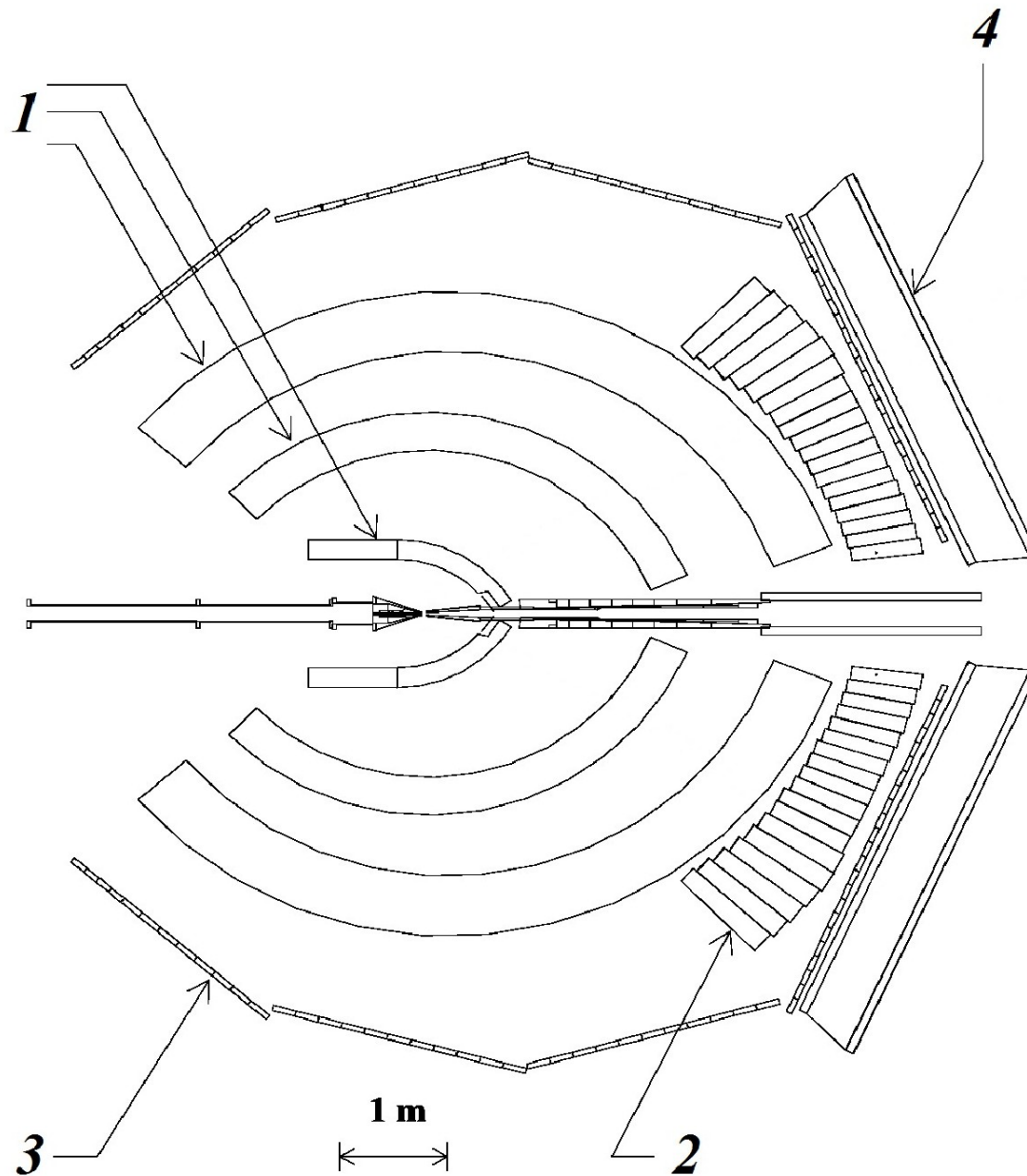
## Отличия от экспериментов на свободном протоне:

- Нуклон-мишень участвует в Ферми-движении
- Значительно более сложные эффекты взаимодействий в начальном и конечном состоянии
- Возможные модификации амплитуд реакции из-за ядерных эффектов в дейтроне

# Цели

- Извлечение интегральных и дифференциальных сечений реакции  $e p(n) \rightarrow e' p'(n') \pi^+ \pi^-$  в квазисвободном режиме (режим минимизации вкладов взаимодействий в конечном состоянии).
- Оценка вкладов взаимодействий в конечном состоянии в сечение реакции  $e p(n) \rightarrow e' p'(n') \pi^+ \pi^-$ .
- Разработка методов отбора событий реакции  $e p(n) \rightarrow e' p'(n') \pi^+ \pi^-$  в квазисвободном режиме.
- Разработка методов учета эффектов движения Ферми в сечениях реакции  $e p(n) \rightarrow e' p'(n') \pi^+ \pi^-$ .
- Сравнение сечений реакции  $e p(n) \rightarrow e' p'(n') \pi^+ \pi^-$  с сечениями этой же реакции на свободном протоне. Исследование возможных модификаций амплитуд исследуемой реакции за счет ядерных эффектов.

# CLAS (CEBAF Large Acceptance Spectrometer)



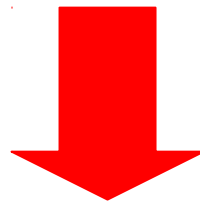
Основные элементы  
детектора CLAS:

- **1** – дрейфовые камеры (DC),
- **2** – Черенковские счетчики (CC),
- **3** – система времени пролета (TOF),
- **4** – электромагнитные калориметры (EC)

$$E_{\text{beam}} = 2.039 \text{ GeV}$$

# Отбор событий исследуемой реакции

- Отбор электронных событий и удаление “пионного загрязнения” (ЕС, СС)
- Идентификация конечных адронов в TOF ( $p'$ ,  $\pi^+$ ,  $\pi^-$ )
- Выделение геометрических областей с постоянной эффективностью регистрации частиц (в переменных  $\varphi$ - $\theta$ ,  $\theta$ - $p$ ) для всех конечных частиц ( $e'$ ,  $p'$ ,  $\pi^+$ ,  $\pi^-$ ).
- др.



Отобранные  $2\pi$ -события исследуемой реакции



# Топологии реакции $e p(n) \rightarrow e' p'(n') \pi^+ \pi^-$ (нейтрон как наблюдатель)

- Все частицы в конечном состоянии зарегистрированы (10%)
- $\pi^-$  восстанавливается (70%)
- $\pi^+$  восстанавливается (10%)  $\rightarrow$  смешивание с каналами  $\gamma_\nu n(p) \rightarrow p'(n') \pi^-$  и  $\gamma_\nu n(p) \rightarrow p'(n') \pi^- \pi^0$
- $p$  восстанавливается (10%)  $\rightarrow$  смешивание с каналом  $\gamma_\nu n(p) \rightarrow n'(p') \pi^+ \pi^-$

# Квадрат недостающей массы и недостающий импульс (в приближении покоящейся мишени)

$$M_X^2 = (P_e^\mu + P_p^\mu - P_{e'}^\mu - P_{p'}^\mu - P_{\pi^+}^\mu)^2$$

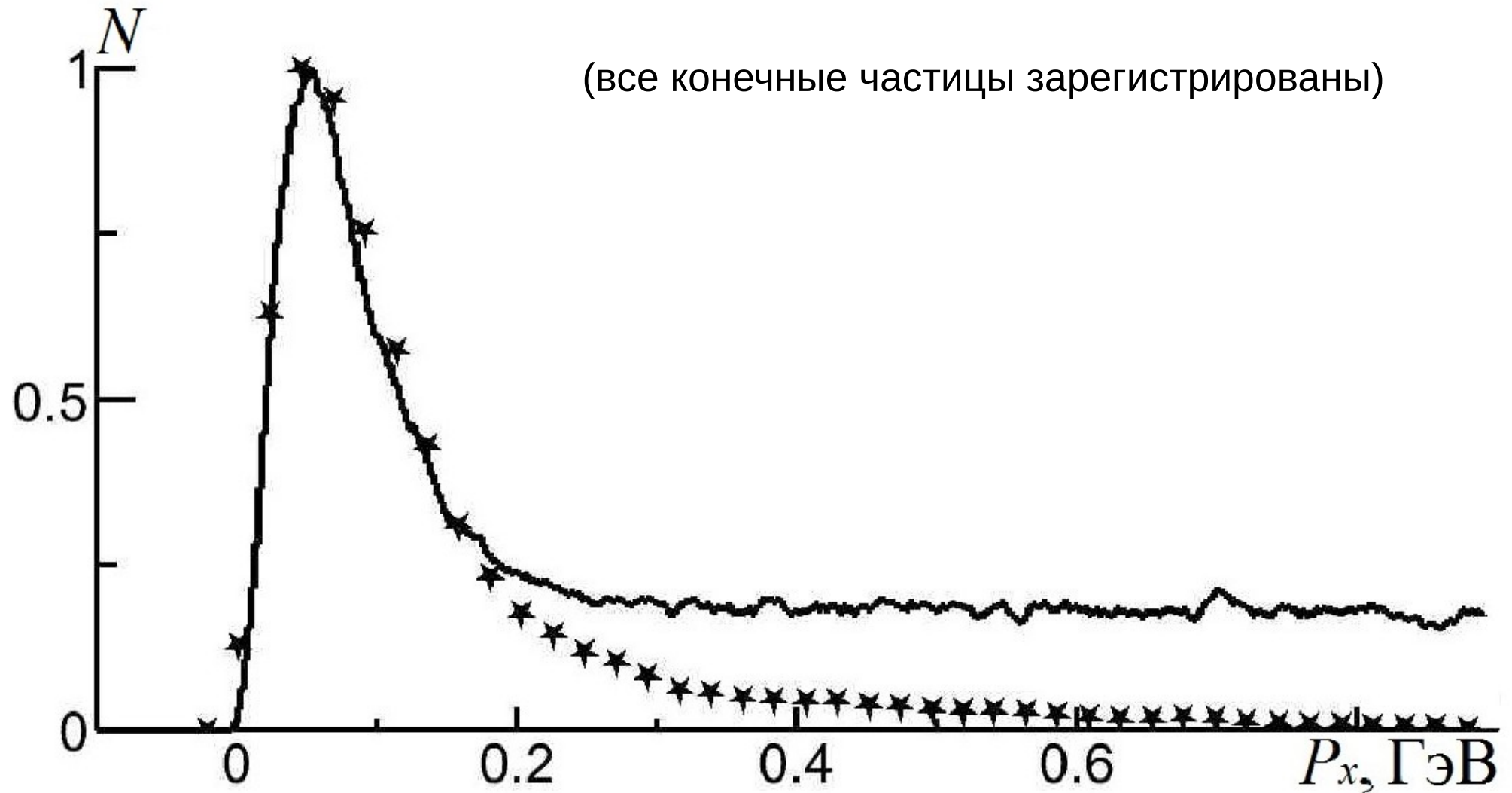
для реакции  $\gamma\nu p(n) \rightarrow p'(n')\pi^+ X$

$$P_X = \left| \vec{P}_e + \vec{P}_p - \vec{P}_{e'} - \vec{P}_{p'} - \vec{P}_{\pi^+} - \vec{P}_{\pi^-} \right|$$

для реакции  $\gamma\nu p(n) \rightarrow p'(n')\pi^+\pi^- X$

где  $P_i^\mu$  — 4-вектор частицы  $i$ ,  $\vec{P}_i$  — 3-вектор частицы  $i$ .

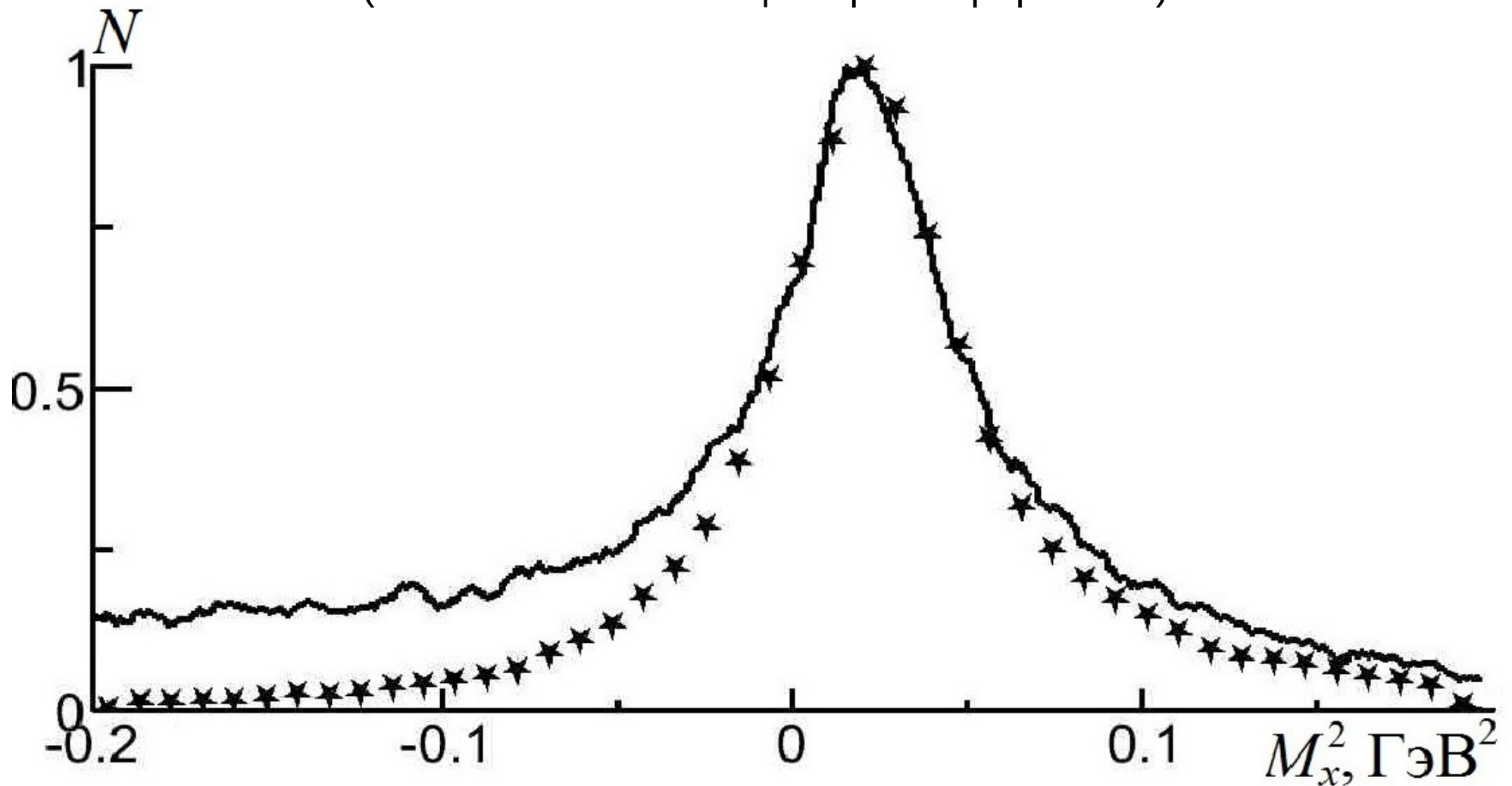
# Взаимодействия в конечном состоянии в распределении недостающего импульса



Сплошная кривая – экспериментальные данные, Звездочки – Монте-Карло моделирование

# Взаимодействия в конечном состоянии в распределении квадрата недостающей массы

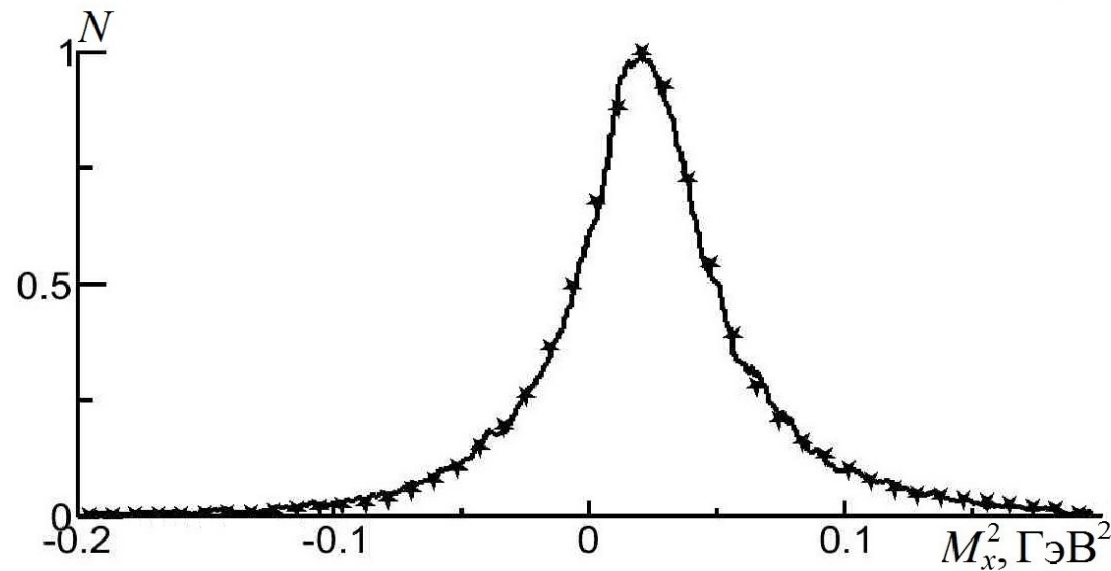
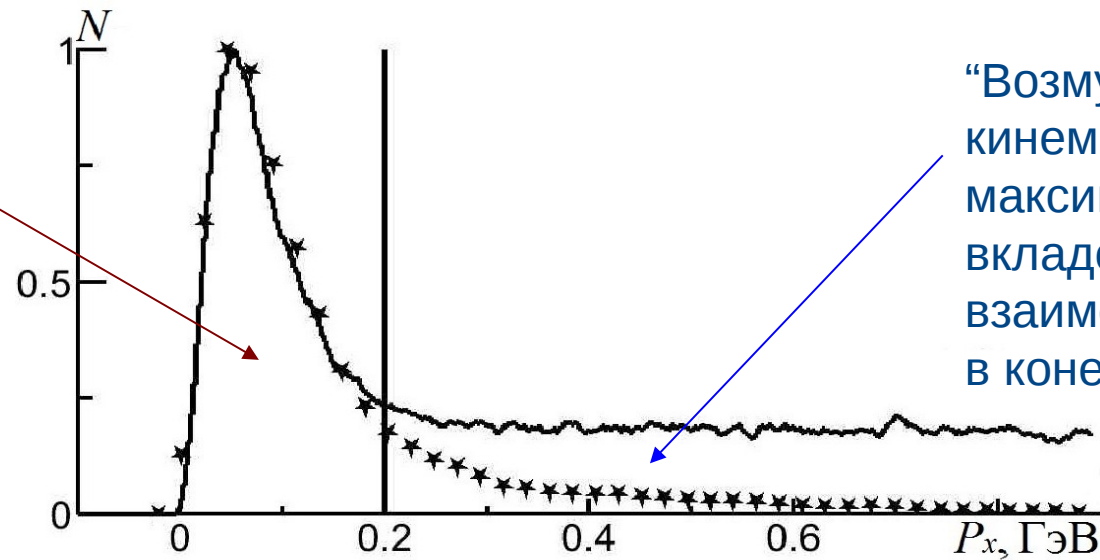
(все конечные частицы зарегистрированы)



Сплошная кривая – экспериментальные данные, Звездочки – Монте-Карло моделирование

# Метод отбора событий в квазисвободной кинематике

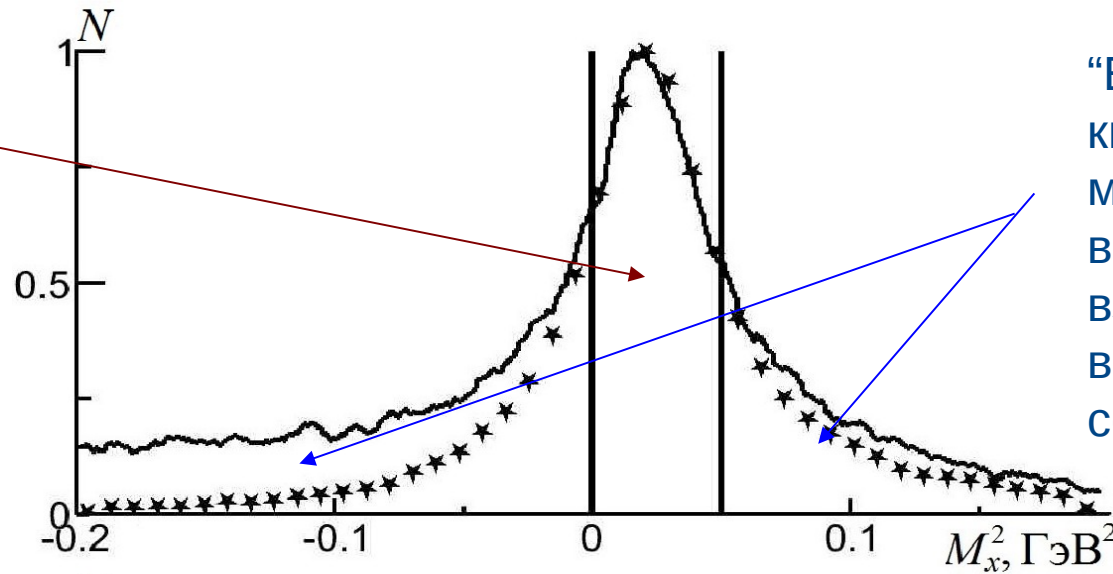
Квазисвободная кинематика с минимальным вкладом взаимодействий в конечном состоянии



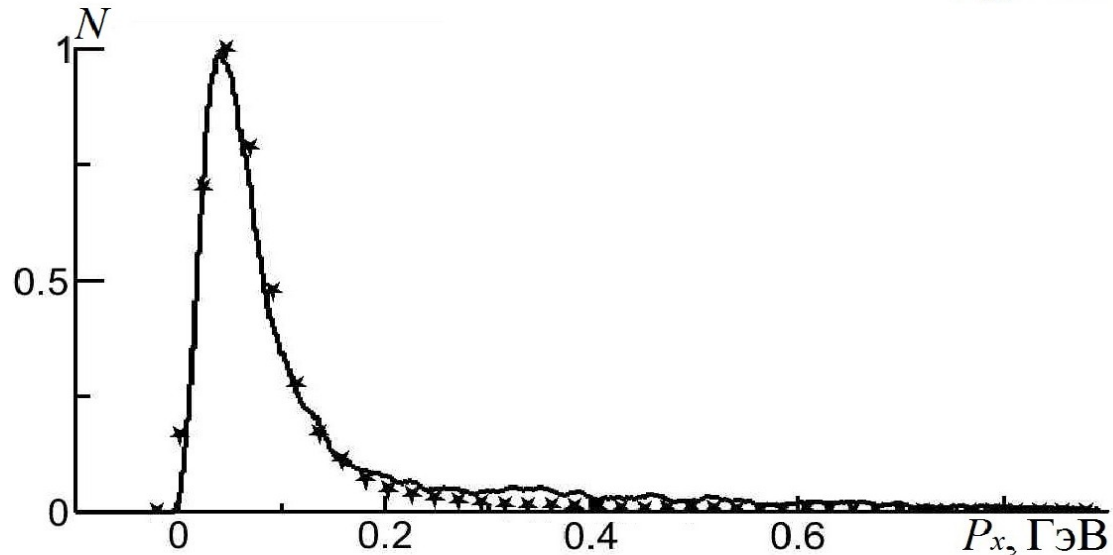
Сплошная кривая – экспериментальные данные, Звездочки – Монте-Карло моделирование

# Метод отбора событий в квазисвободной кинематике

Квазисвободная кинематика с минимальным вкладом взаимодействий в конечном состоянии

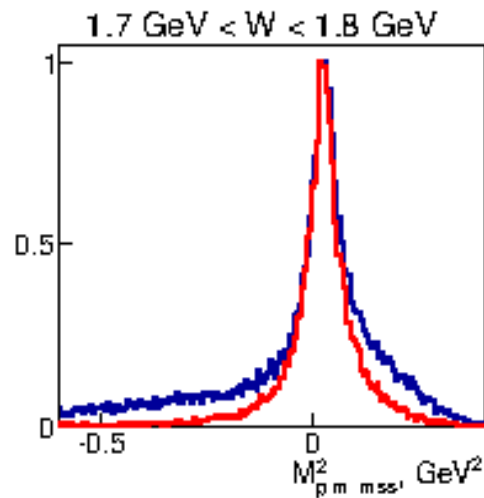
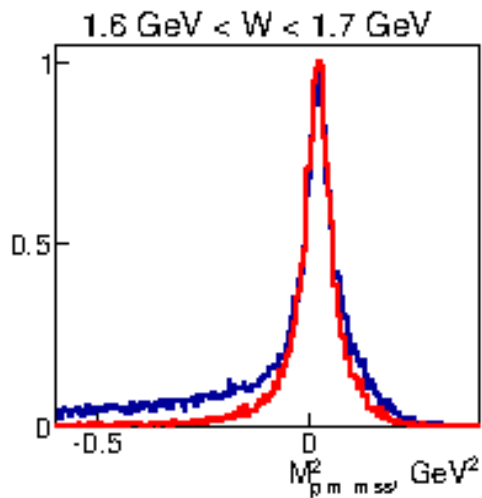
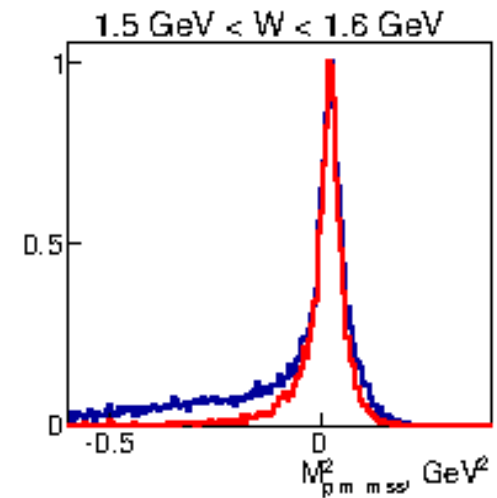
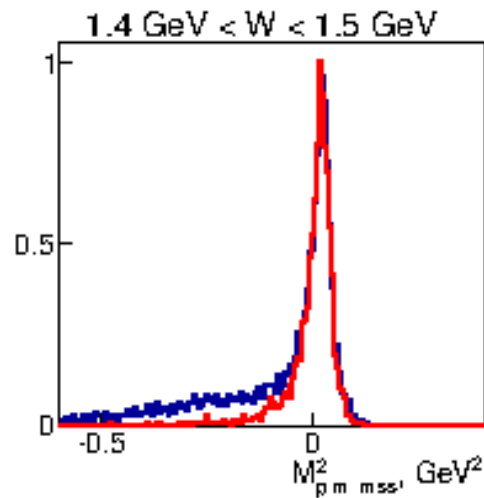
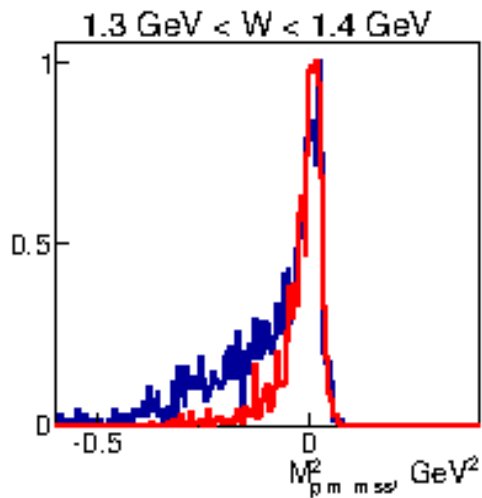


“Возмущенная” кинематика с максимальным вкладом взаимодействий в конечном состоянии



Сплошная кривая – экспериментальные данные, Звездочки – Монте-Карло моделирование

# Оценка вкладов событий со взаимодействиями в конечном состоянии в сечение ( $F_{QF}$ )

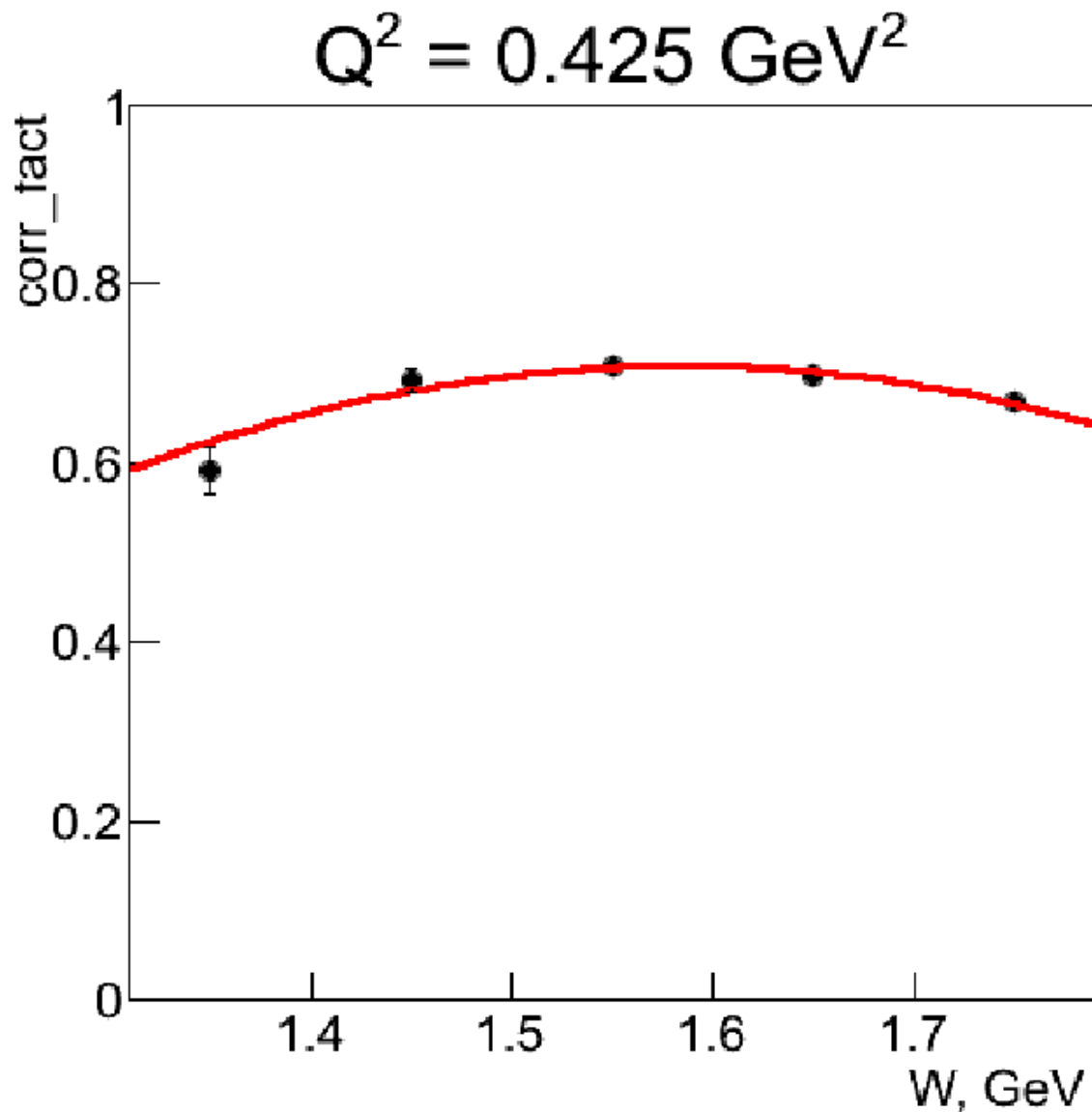


$$F_{QF} = \frac{I_{sim}}{I_{data}}$$

$I_{sim}$  — интеграл под красной кривой,  $I_{data}$  — интеграл под синей кривой.

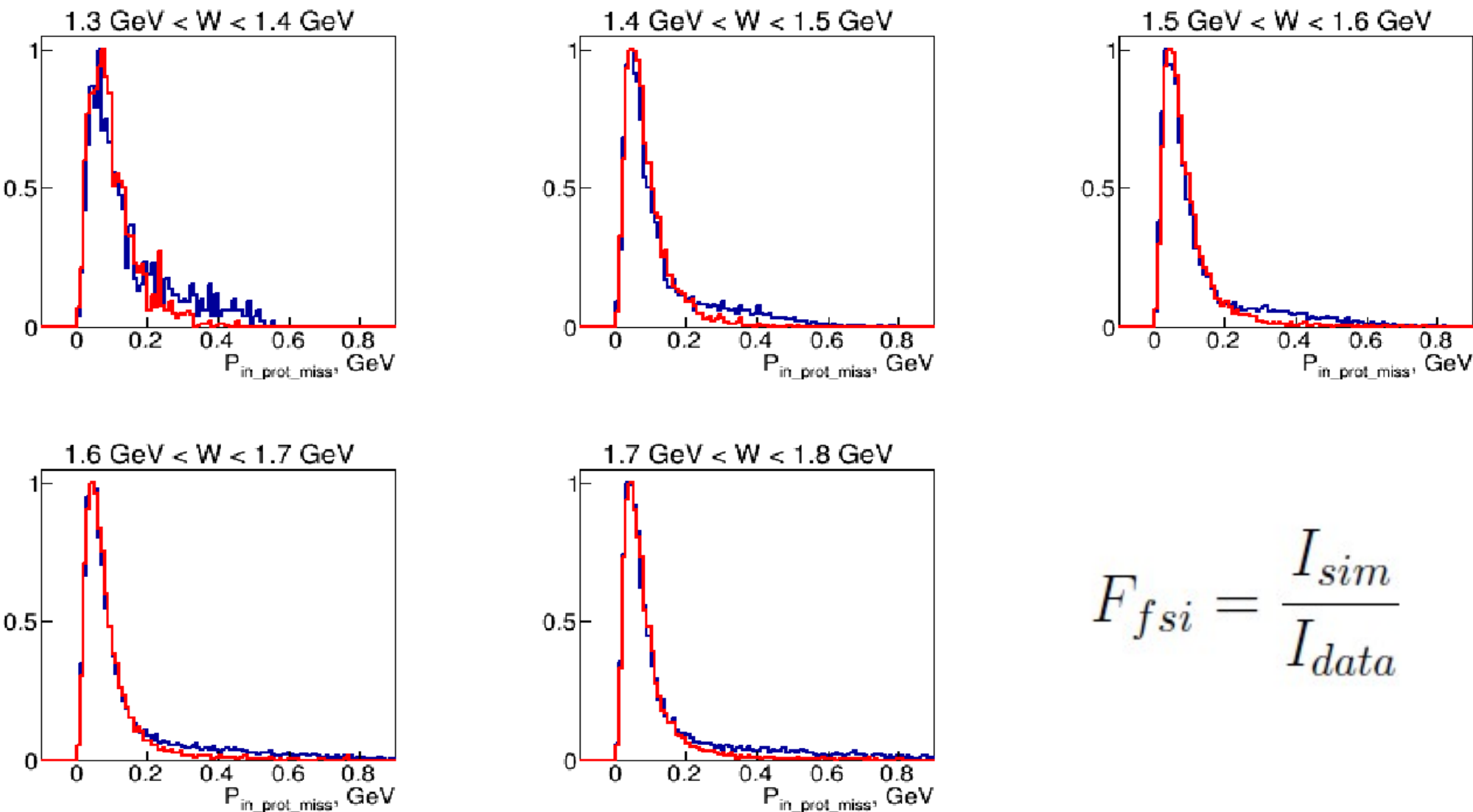
Синяя кривая — данные, красная кривая — Монте-Карло моделирование.

# Оценка вкладов взаимодействий в конечном состоянии в сечение ( $F_{QF}$ )





# Оценка вкладов взаимодействий в конечном состоянии в сечение ( $F_{fsi}$ )

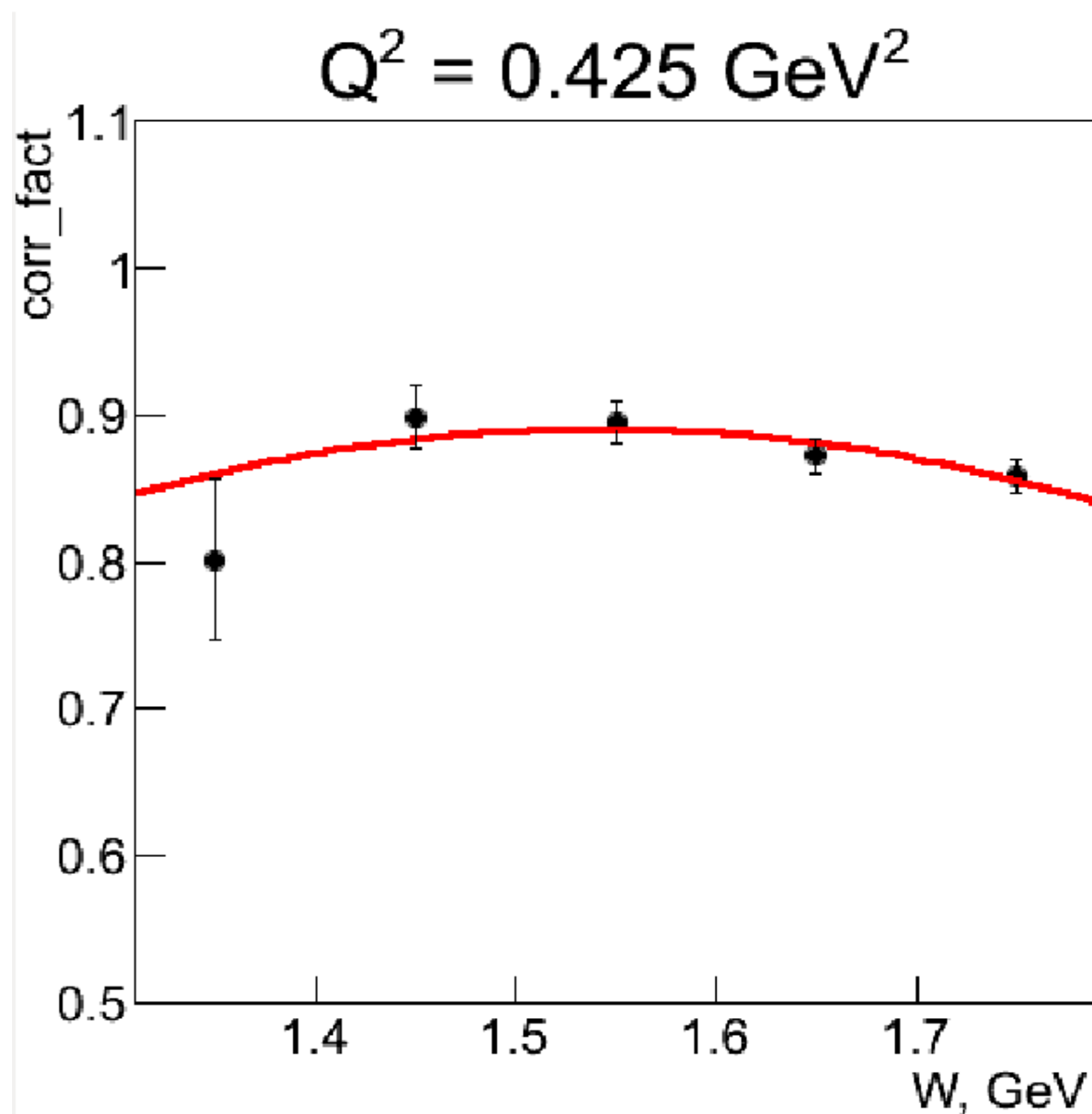


$$F_{fsi} = \frac{I_{sim}}{I_{data}}$$

$I_{sim}$  — интеграл под красной кривой,  $I_{data}$  — интеграл под синей кривой.

Синяя кривая — данные, красная кривая — Монте-Карло моделирование.

# Оценка вкладов взаимодействий в конечном состоянии в сечение ( $F_{\text{fsi}}$ )



# Инвариантная масса конечной адронной системы ( $W$ )

$$W_f = \sqrt{(P_{p'}^\mu + P_{\pi^-}^\mu + P_{\pi^+}^\mu)^2}$$

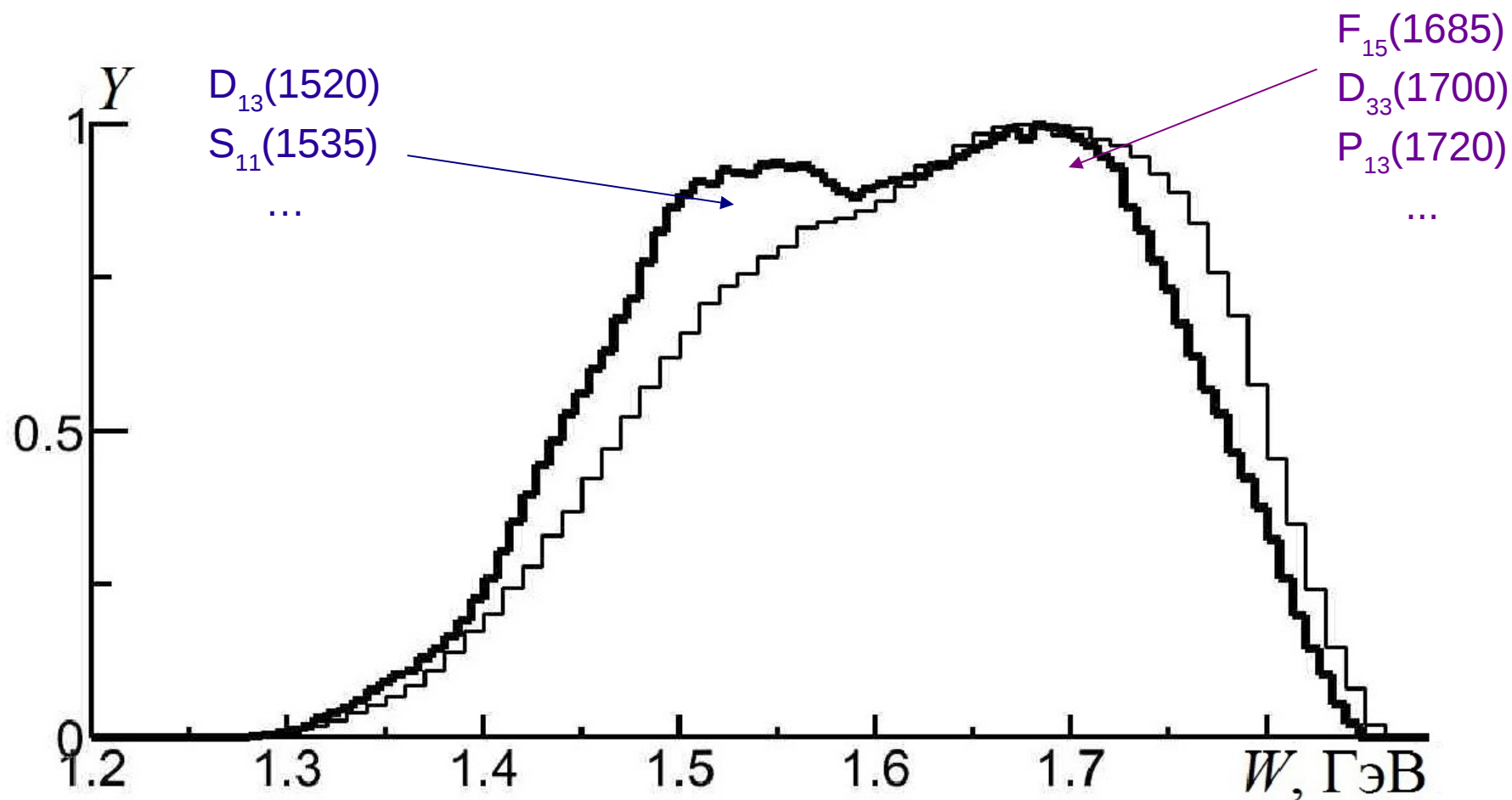
где  $P_{p'}^\mu$ ,  $P_{\pi^-}^\mu$  и  $P_{\pi^+}^\mu$  — 4-импульсы конечных адронов.

$$W_i = \sqrt{(P_p^\mu + P_{\gamma v}^\mu)^2}$$

где  $P_p^\mu$  — 4-импульс начального протона,  $P_{\gamma v}^\mu = P_e^\mu - P_{e'}^\mu$  — 4-импульс виртуального фотона,  $P_e^\mu$  и  $P_{e'}^\mu$  — 4-импульсы начального и конечного электронов соответственно.

# Метод учета эффектов движения Ферми

(если все частицы в конечном состоянии зарегистрированы)



**Жирная кривая:**  $W$  рассчитано из 4-импульсов конечных частиц

**Тонкая кривая:**  $W$  рассчитано из 4-импульсов начальных частиц в предположении покоящейся мишени

# Заключение

- Оценен вклад событий со взаимодействиями в конечном состоянии в сечение реакции  $e p(n) \rightarrow e' p'(n') \pi^+ \pi^-$
- Разработаны методы отбора событий в квазисвободной кинематике для двух топологий (все конечные частицы зарегистрированы,  $\pi^-$  не зарегистрирован).
- Разработаны методы учета эффектов движения Ферми для двух топологий (все конечные частицы зарегистрированы,  $\pi^-$  не зарегистрирован).
- Разработан метод введения движения Ферми в Монте-Карло моделирование в случае реакции с тремя адронами в конечном состоянии.

## Публикации:

• Ю. А. Скородумина, В. Д. Буркерт, Е. Н. Головач, Р. В. Готе, Е. Л. Исупов, Б. С. Ишханов, В. И. Мокеев, Г. В. Федотов, **“Нуклонные резонансы в эксклюзивных реакциях фото-и электророждения мезонов”**

*ВМУ. Серия 3. Физика. Астрономия. 2015. № 6 (Moscow University Phys. Bull., 2015, Vol. 70, No 6, pp. 429-447)*

• Ю. А. Скородумина, Е. Н. Головач, Р. В. Готэ, Е. Л. Исупов, Б. С. Ишханов, В. И. Мокеев, Г. В. Федотов, **“Исследование эксклюзивной реакции электророждения  $\pi^+\pi^-$ -пар на протоне, связанном в дейтроне”,**

*Изв. РАН. Сер. Физ., 2015, т. 79, № 4, с. 575–580 (Bull. Rus. Acad. Sci. Phys., 2015, Vol. 79, No 4, pp. 532-536.)*

• В. Буркерт, Е. Н. Головач, Е. Л. Исупов, Б. С. Ишханов, В. И. Мокеев, Г. В. Петрунькин, Ю. А. Скородумина, Г. В. Федотов, **“Оценка интегральных сечений реакции  $\gamma p \rightarrow \pi^+\pi^-p$  в резонансной области при виртуальностях фотонов от 5 до 12 ГэВ<sup>2</sup>”**

*ВМУ. Серия 3. Физика. Астрономия. 2014. № 2 (Moscow University Phys. Bull., 2015, Vol. 69, No 2, pp. 152-156)*

• V.I. Mokeev, V.D. Burkert, D.S. Carman, L. Elouadrhiri, G.V. Fedotov, E.N. Golovatch, R.W. Gothe, K. Hicks, B.S. Ishkhanov, E.L. Isupov, Iu. Skorodumina, **“New Results from the Studies of the  $N(1440)1/2^+$ ,  $N(1520)3/2^-$ , and  $\Delta(1620)1/2^-$  Resonances in Exclusive  $ep \rightarrow e'p'\pi^+\pi^-$  Electroproduction with the CLAS Detector”**

*Phys.Rev.C (в печати), arXiv:1509.05460 [nucl-ex]*

• +11 статей CLAS Collaboration

• +Доклад на конференции “Ядро-2014”

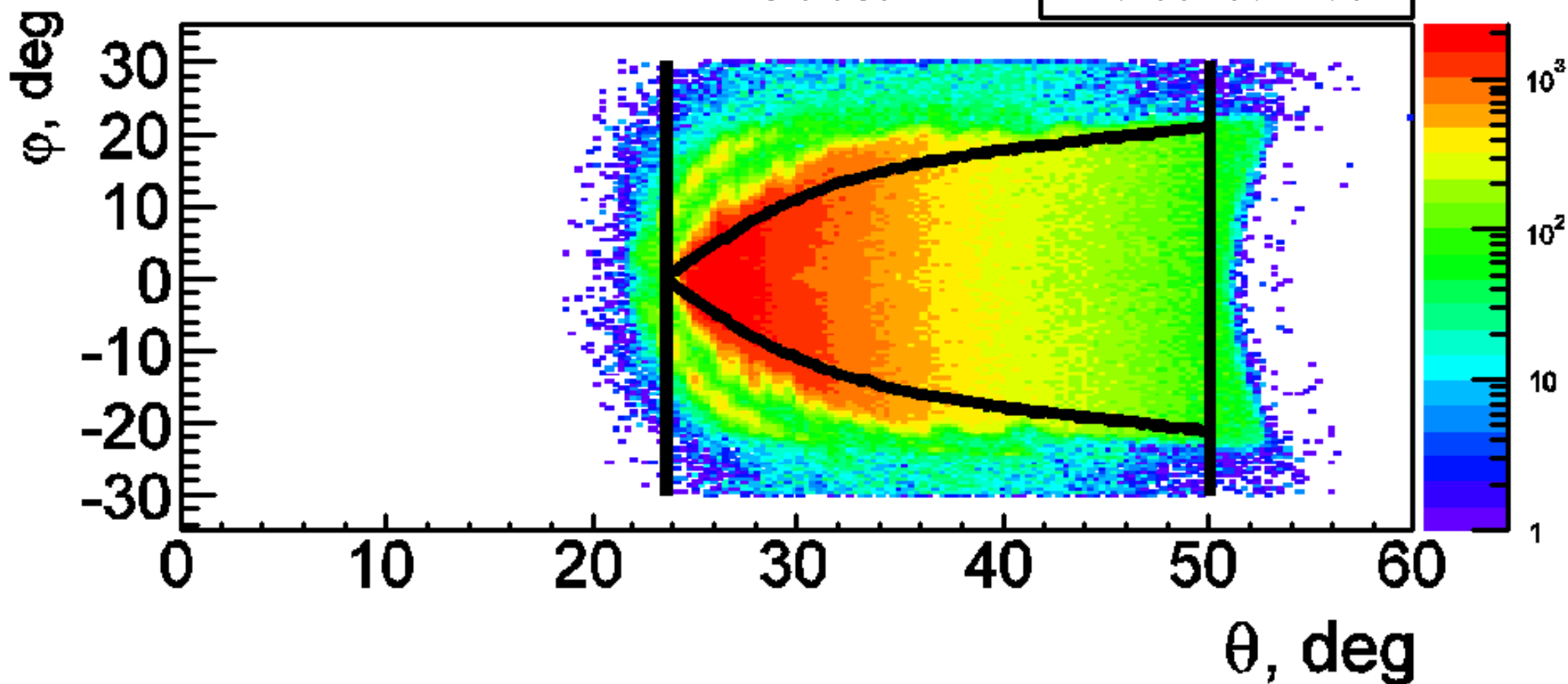
Спасибо за внимание!

# Выделение геометрических зон с относительно постоянной эффективностью

**$960 < P_{el} < 1040 \text{ MeV}$**

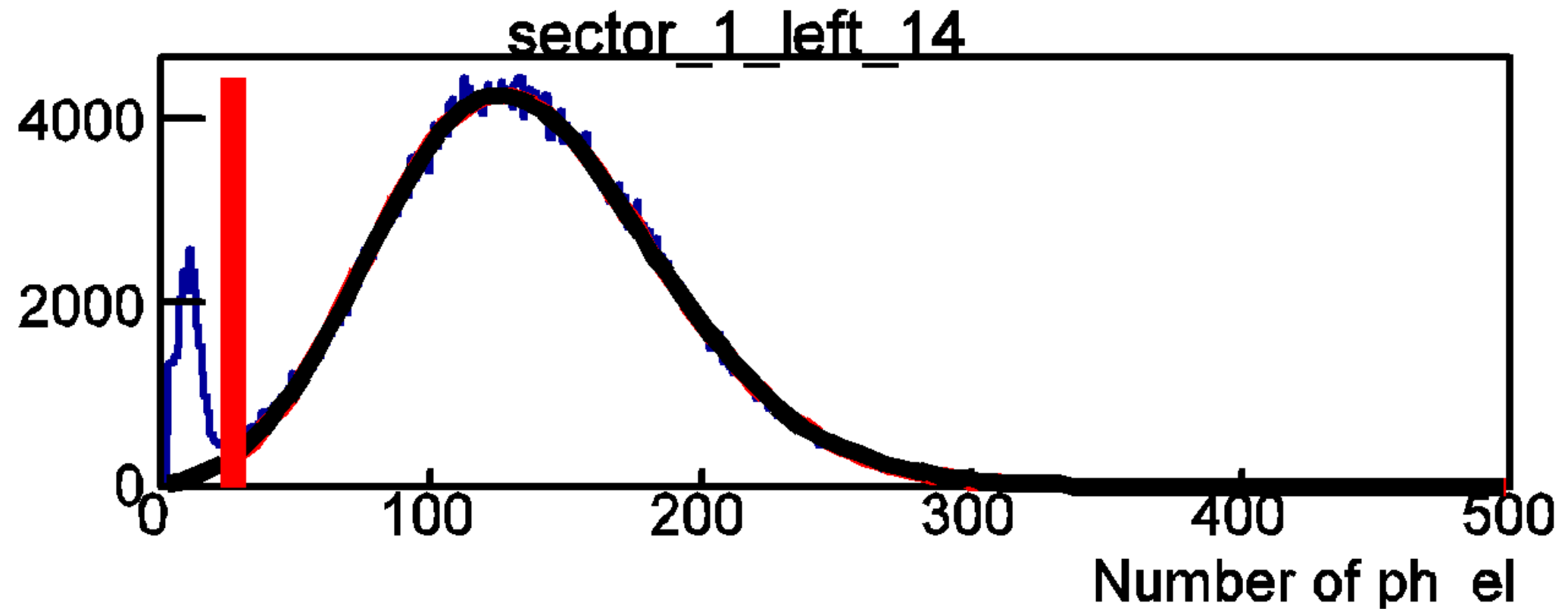
sector1

Entries 3914937





# Отбор электронных событий в Черенковских счетчиках



# Идентификация $\pi^+$ на основании информации, полученной в TOF

