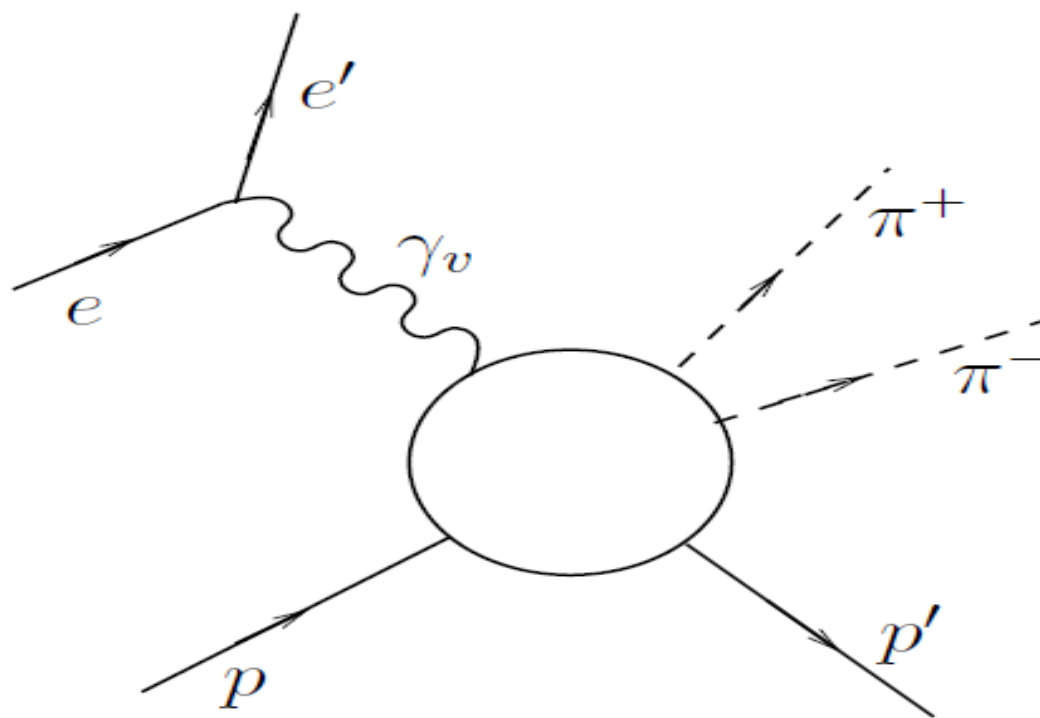


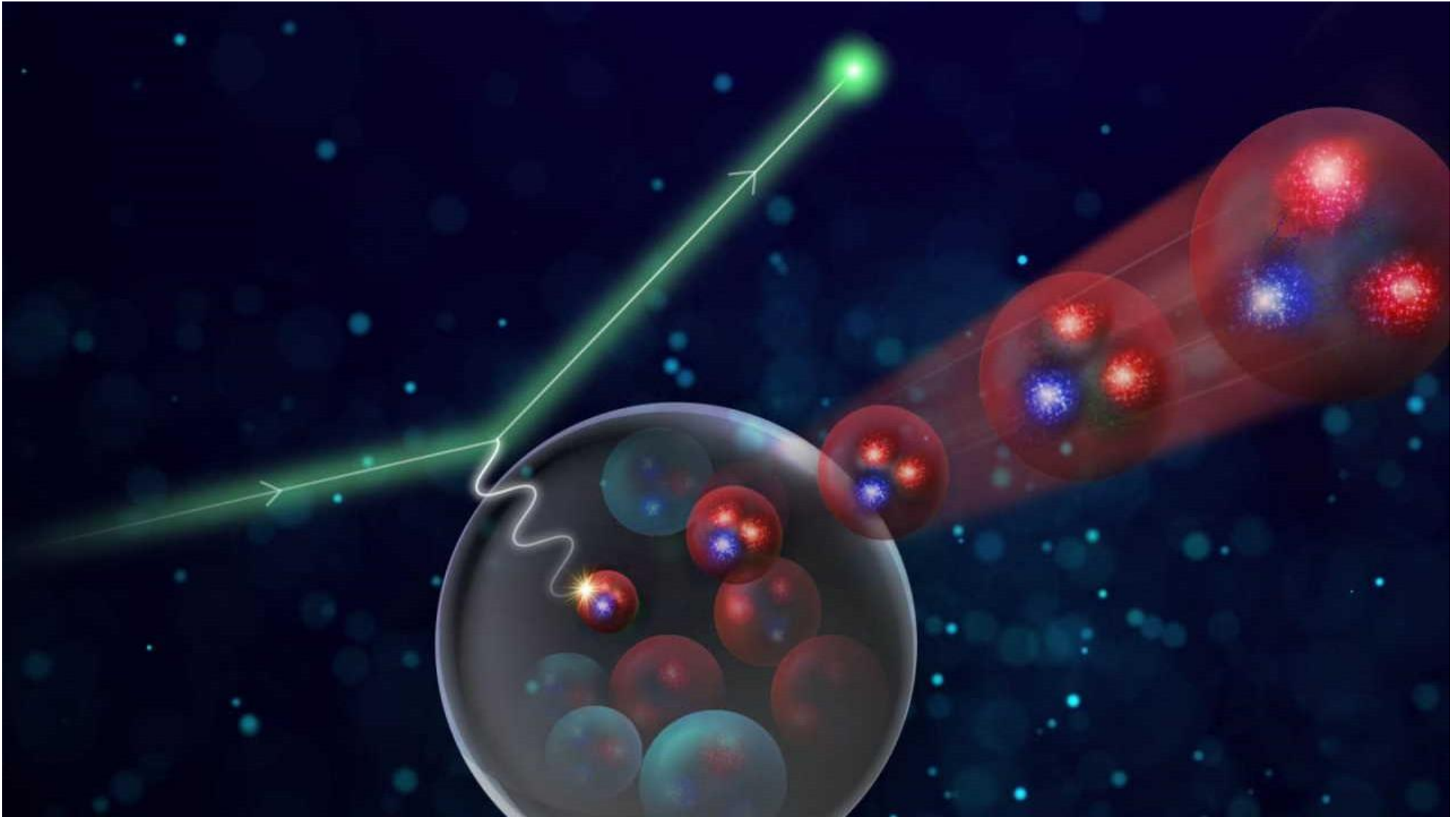


## Методы определения выходов реакций электророждения пар мезонов на протонах в резонансной области

Доклад студента 213М группы кафедры Общей ядерной физики  
Физического факультета МГУ  
Булгакова Александра Дмитриевича  
Научный руководитель: к.ф.-м.н., с.н.с Исупов Евгений Леонидович



# Мотивация работы





## Цели работы

- Разработать и применить методы отбора событий эксклюзивного электророждения двух заряженных пионов на протоне из данных CLAS12.
- Разработать методы извлечения выходов реакции двухпионного электророждения.

# Детектор CLAS12

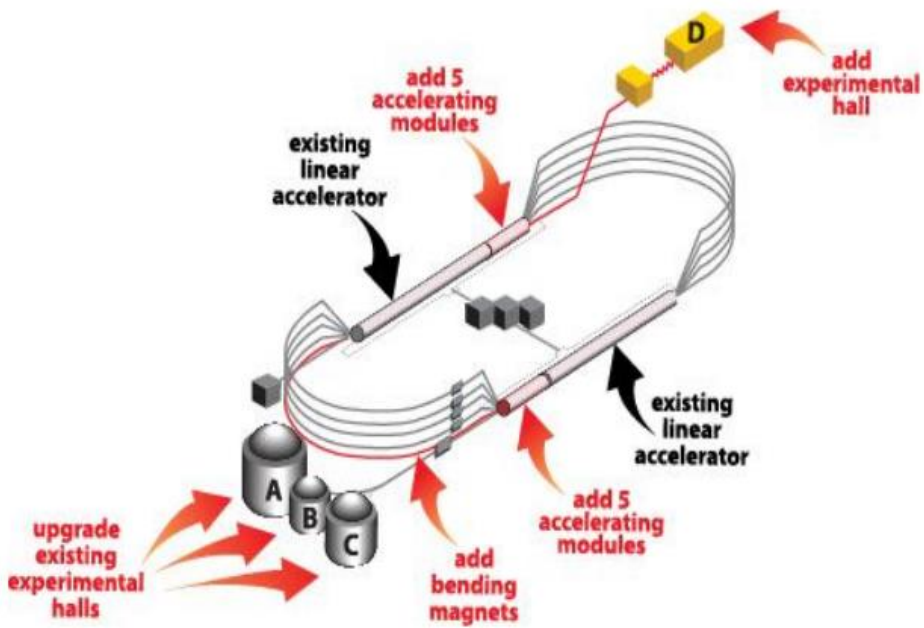
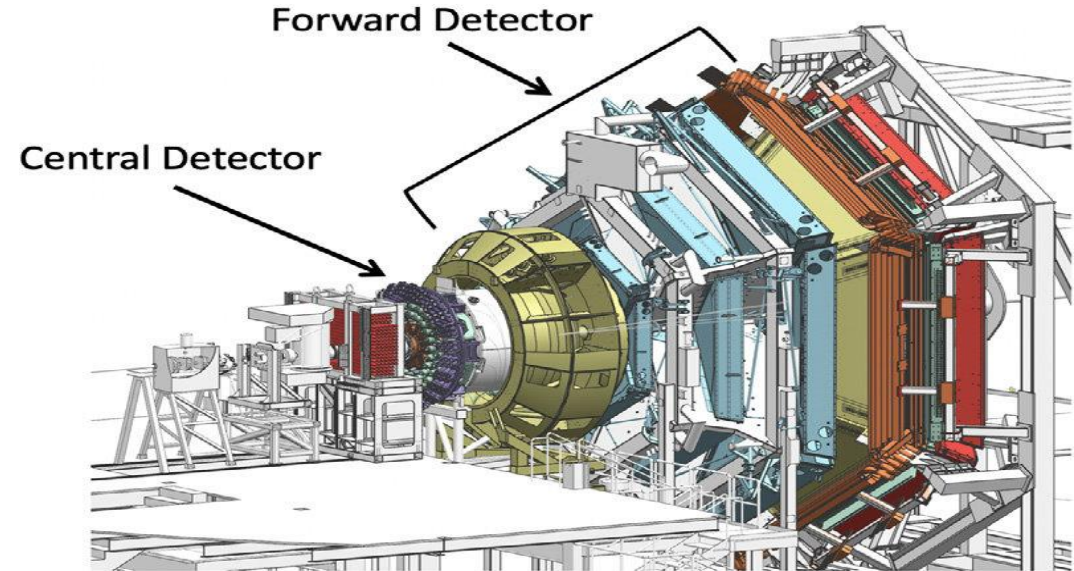
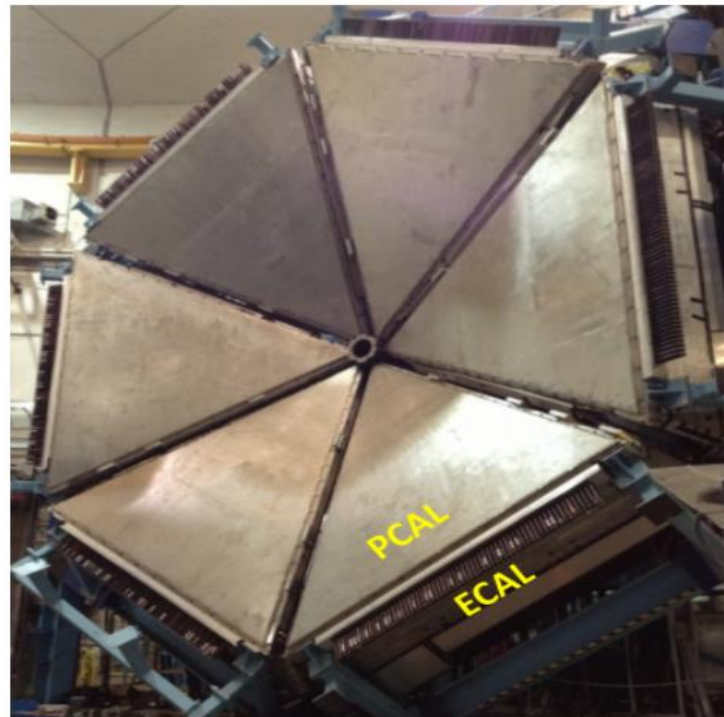


Схема ускорителя CEBAF



Основные части детектора CLAS12



Электромагнитные калориметры ECAL-PCAL

## Анализ данных

- В работе используются данные научной группы RG-K
- Энергия пучка электронов:  $E = 6.535$  ГэВ
- Negative outbending
- Инструменты: C++, clas12tool, ROOT CERN

### Data Analysis Team

**Dedicated Post-doc:** Lucilla Lanza

**RGK Scientists:** V. Burkert, D. Carman, A. D'Angelo, M. Defurne, L. Elouadrhiri, F.X. Girod, A. Golubenko, R. Gothe, K. Hicks, E. Isupov, N. Markov, V. Mokeev

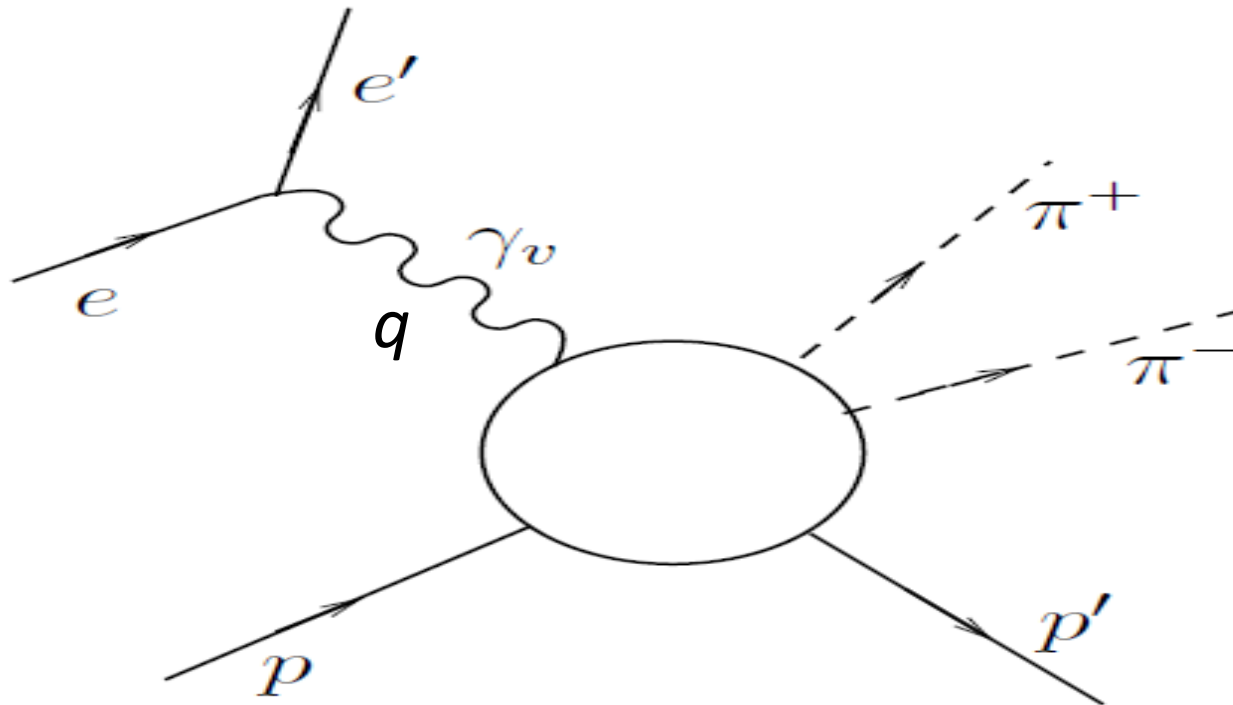
**Dedicated PhD students:** Joshua Artam Tan, Izzy Illary, Anna Frolova, Alexander Bulgacov

## Изначальный набор данных

- $W > 1.21$  ГэВ – порог двухпионного рождения
- Отбирались частицы во всём диапазоне CLAS12 – из передней и центральной части
- Регистрировался рассеянный электрон, хотя бы 2 из 3 требуемых в данной реакции адрона и что угодно ещё (гамма-кванты, дополнительные электроны, позитроны, адроны и т.д.).

# Кинематика реакции

Исследуемая реакция:  $e p \rightarrow e' p' \pi^+ \pi^-$



Квадрат недостающей массы:

$$MM_0^2 = (P_e + P_p - P_{e'} - P_{p'} - P_{\pi^+} - P_{\pi^-})^2$$

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

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

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

$Q^2$  и  $W$

$$Q^2 = -q^2$$

$$W = \sqrt{(q + P_p)^2}$$

где:  $q = P_e - P_{e'}$



## Отбор рассеянных электронов

1. Отбор Track Status
2. Отбор PID
3. Отбор на импульс рассеянного электрона:  $1 \text{ ГэВ} < p < 6.5 \text{ ГэВ}$
4. Отбор на время пролёта электрона:  $21 \text{ нс} < t < 26 \text{ нс}$
5. Отбор на z-координату вершины взаимодействия рассеянного электрона с мишенью:  $-10 \text{ см} < z < 2 \text{ см}$
6. Отбор sampling fraction
7. Геометрический отбор в электромагнитном калориметре
8. Отбор на минимизацию загрязнения отрицательными пионами:

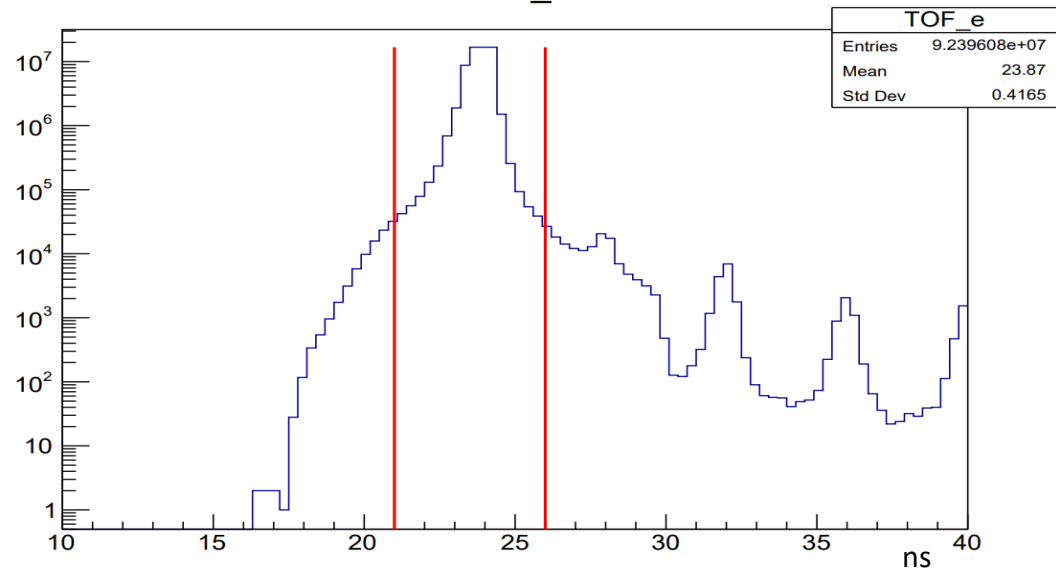
$$E_{EC_{in}}/p < -0.84 \cdot E_{PCAL}/p + -0.17$$

9. Геометрический отбор в дрейфовых камерах

# Отбор рассеянных электронов

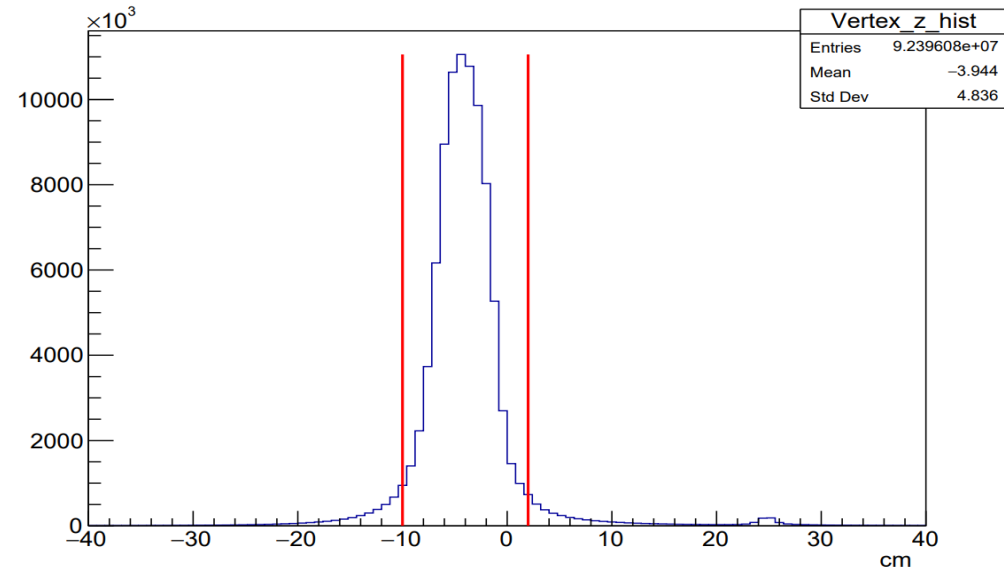
## Отбор на время пролёта электрона

TOF\_e

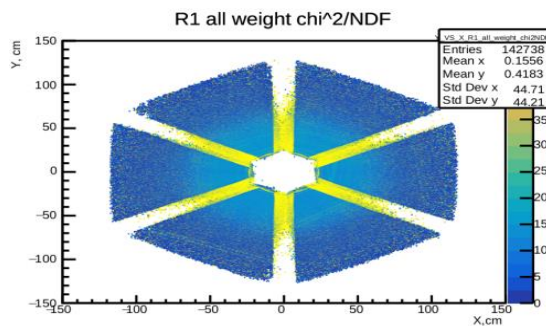


## Отбор на вершину взаимодействия

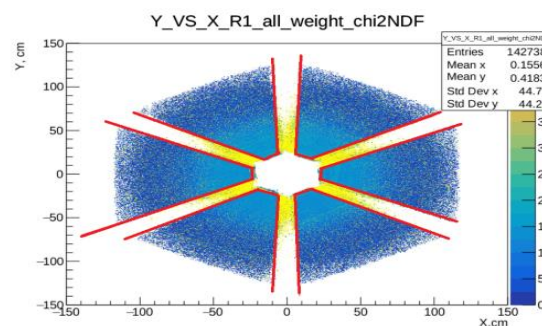
Vertex z electron



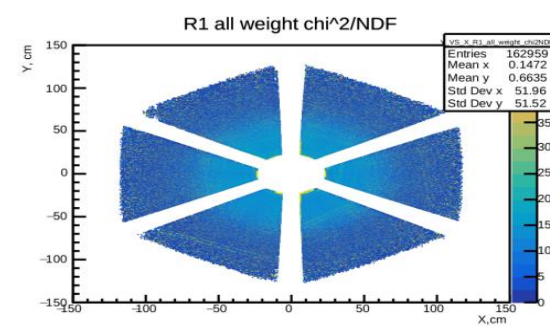
## Геометрический отбор в дрейфовых камерах



a)



b)



c)

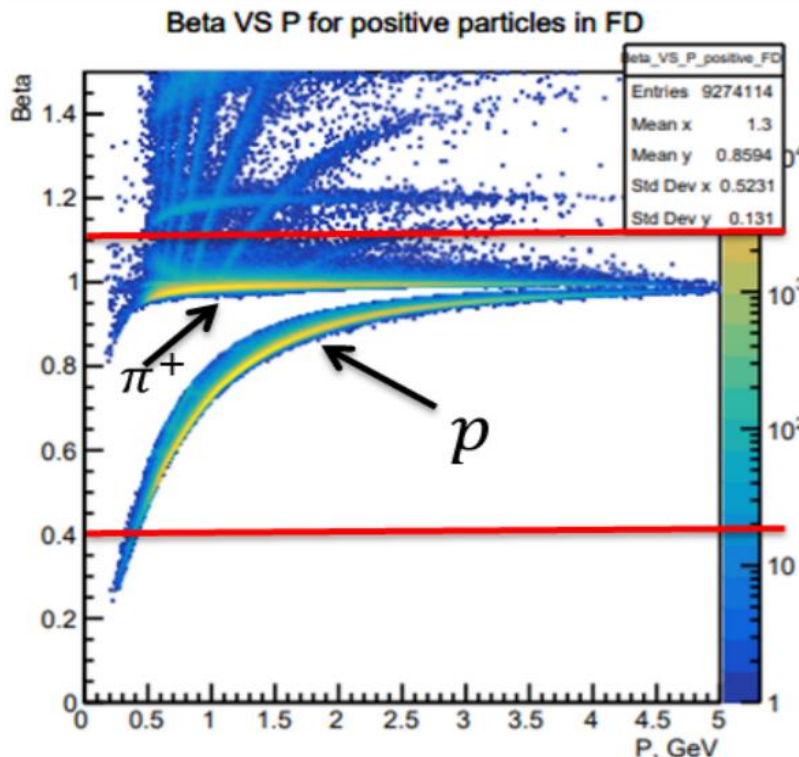
$(y, x)$  распределение в слое R1 взвешенное с  $\chi^2/\text{NDF}$ .

a) до отбора, b) красные линии показывают DC Fiducial отбор, c) после отбора



## Отбор адронов

1. Отбор на импульс конечных адронов
2. Отбор на  $z$ -координату точки рождения зарегистрированных адронов
3. Геометрический отбор в дрейфовой камере
4. Отбор на скорость  $\beta$  заряженных адронов

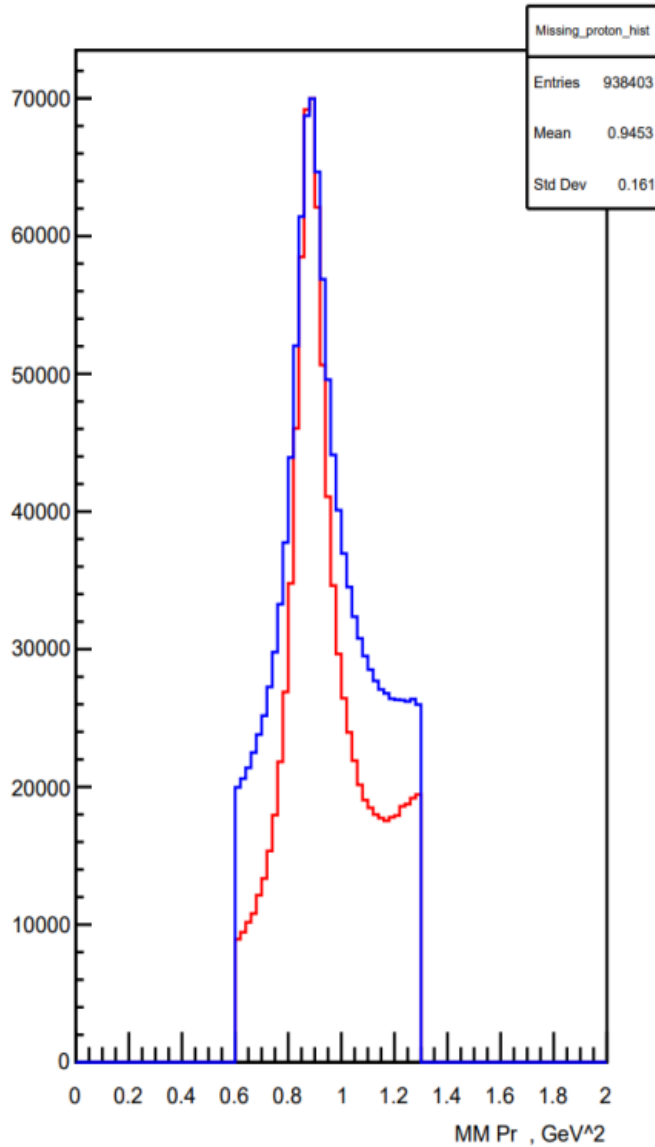


$$\beta = \frac{p}{E} = \frac{p}{\sqrt{p^2 + m^2}}$$

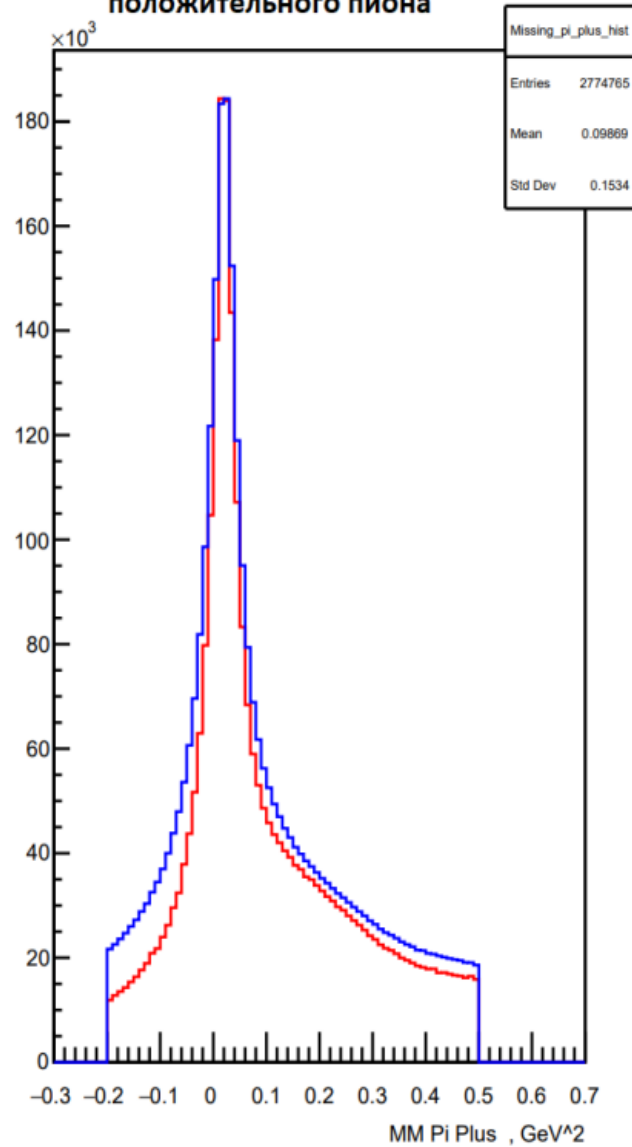
Отбор на скорость  $\beta$  заряженных адронов

# Результаты отборов

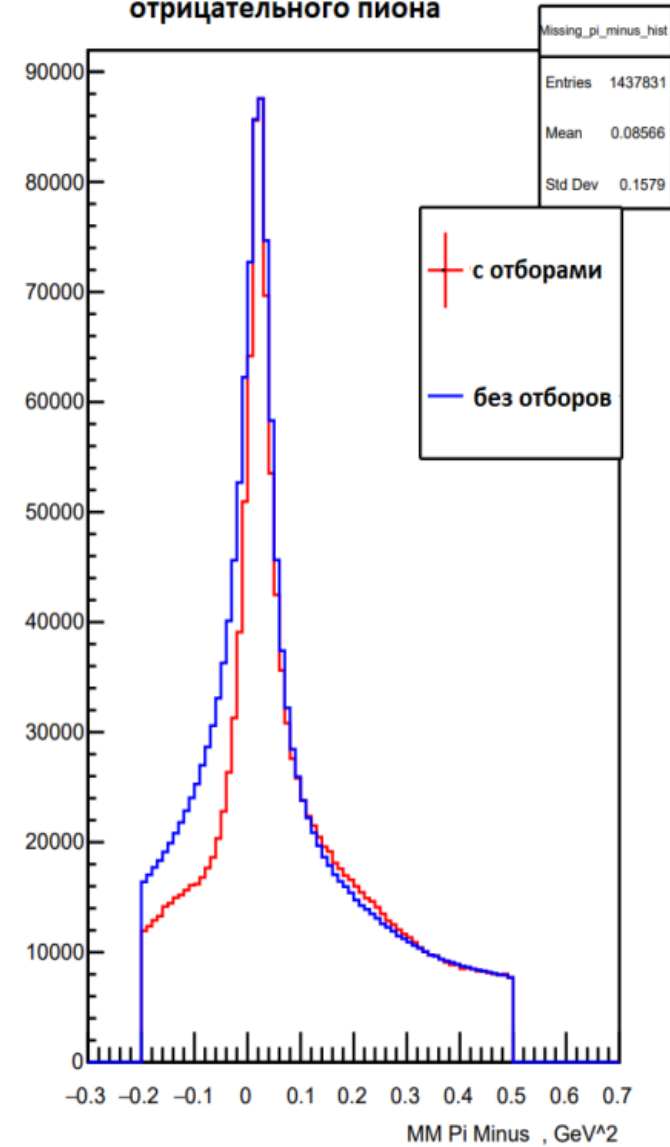
Квадрат недостающей массы протона



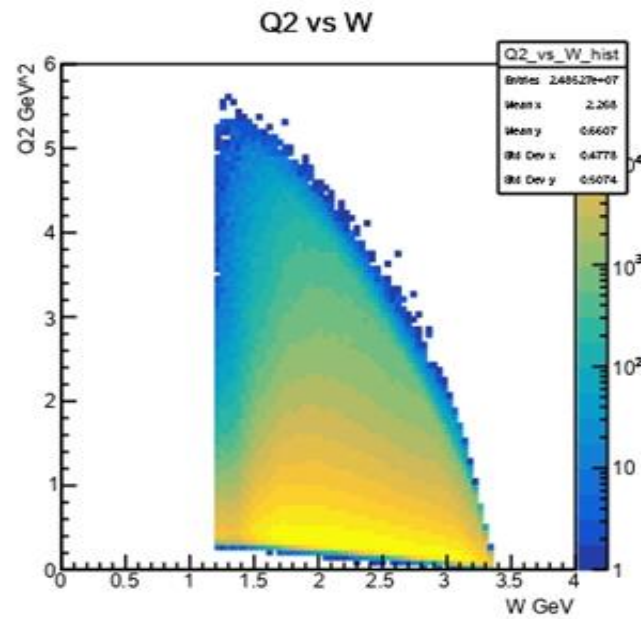
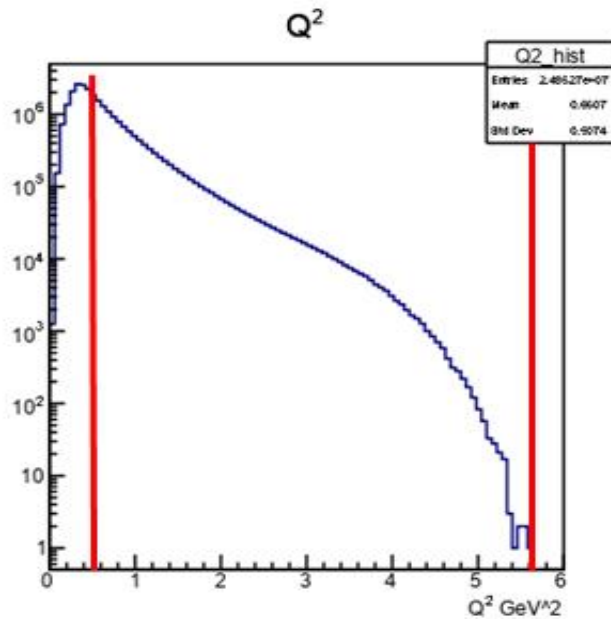
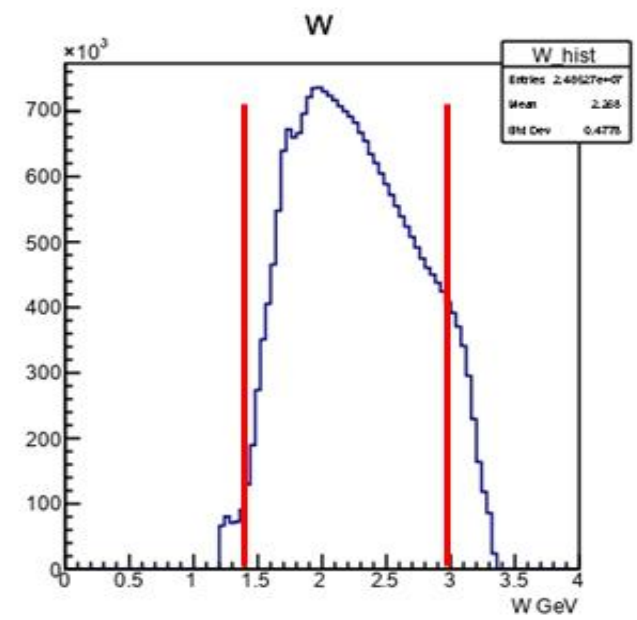
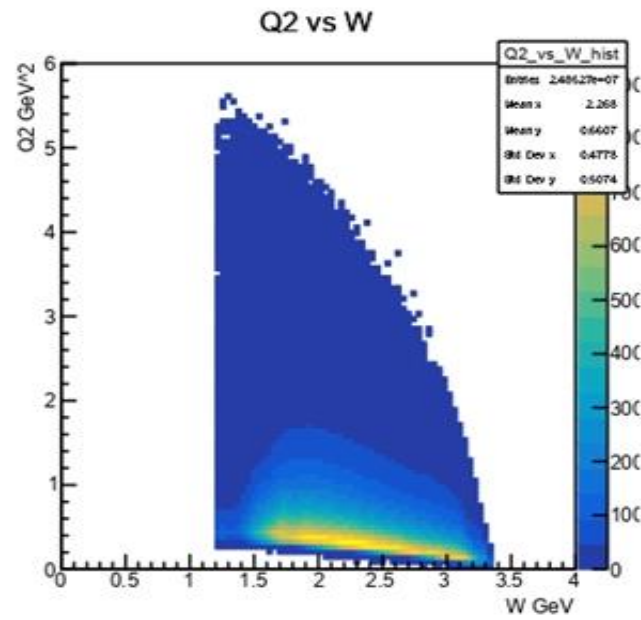
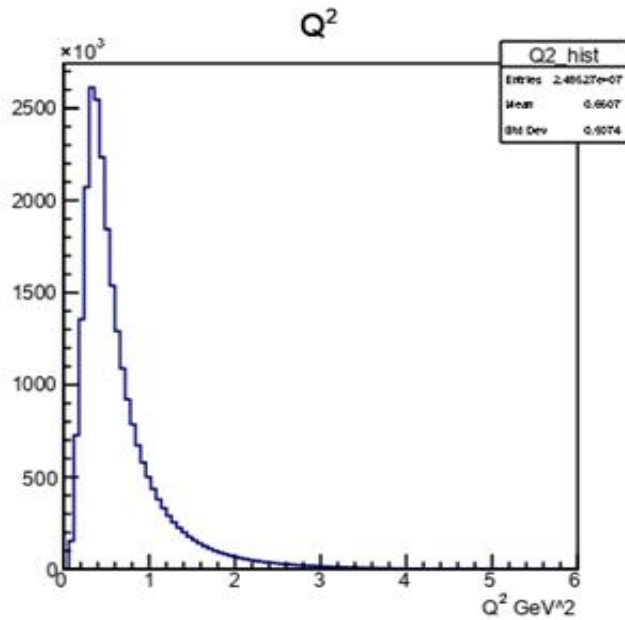
Квадрат недостающей массы  
положительного пиона



Квадрат недостающей массы  
отрицательного пиона



# Распределение событий по кинематическим ячейкам



## W ячейки:

От 1.4 ГэВ to 3 ГэВ с шагом 25 МэВ

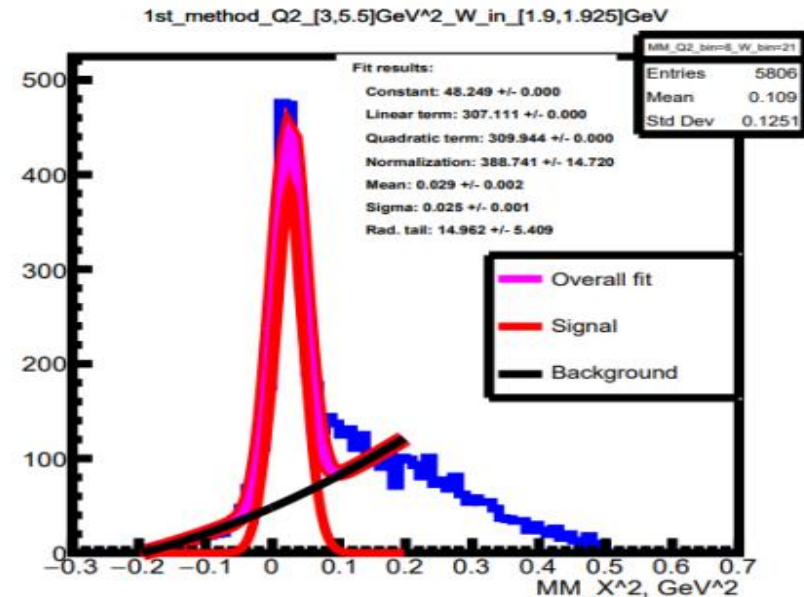
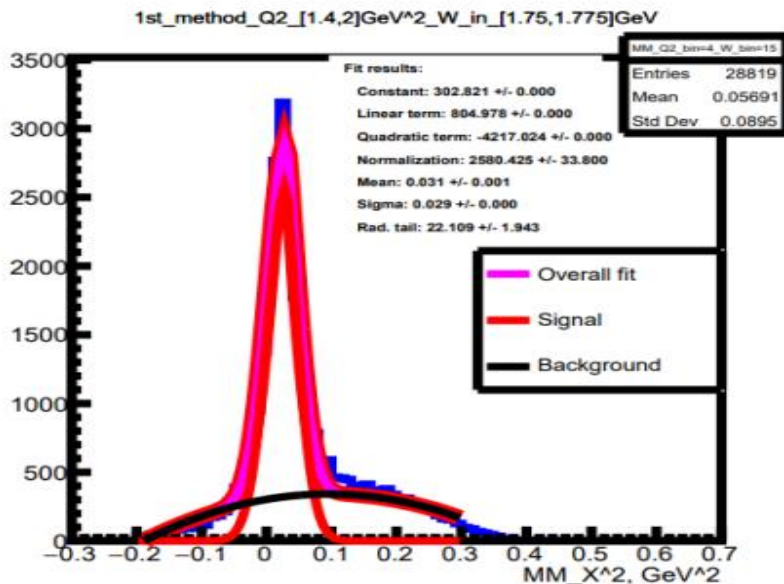
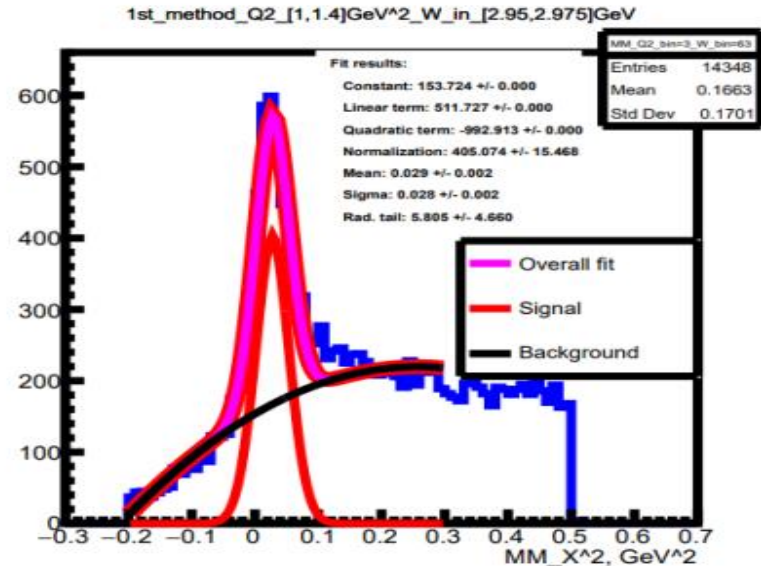
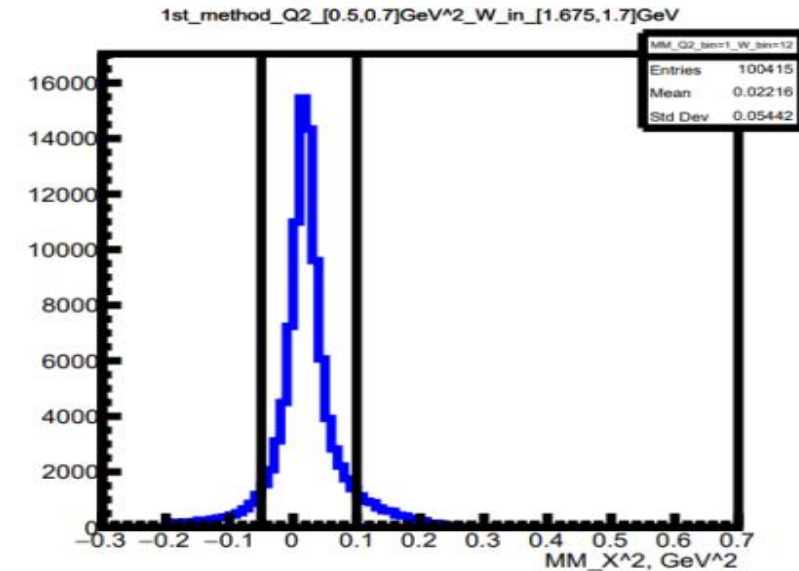
## Q<sup>2</sup> ячейки:

- Ячейка 1 = [0.5, 0.7] ГэВ<sup>2</sup>
- Ячейка 2 = [0.7, 1] ГэВ<sup>2</sup>
- Ячейка 3 = [1, 1.4] ГэВ<sup>2</sup>
- Ячейка 4 = [1.4, 2] ГэВ<sup>2</sup>
- Ячейка 5 = [2, 3] ГэВ<sup>2</sup>
- Ячейка 6 = [3, 5.5] ГэВ<sup>2</sup>

# Первый метод извлечения событий реакции двухпионного электророждения

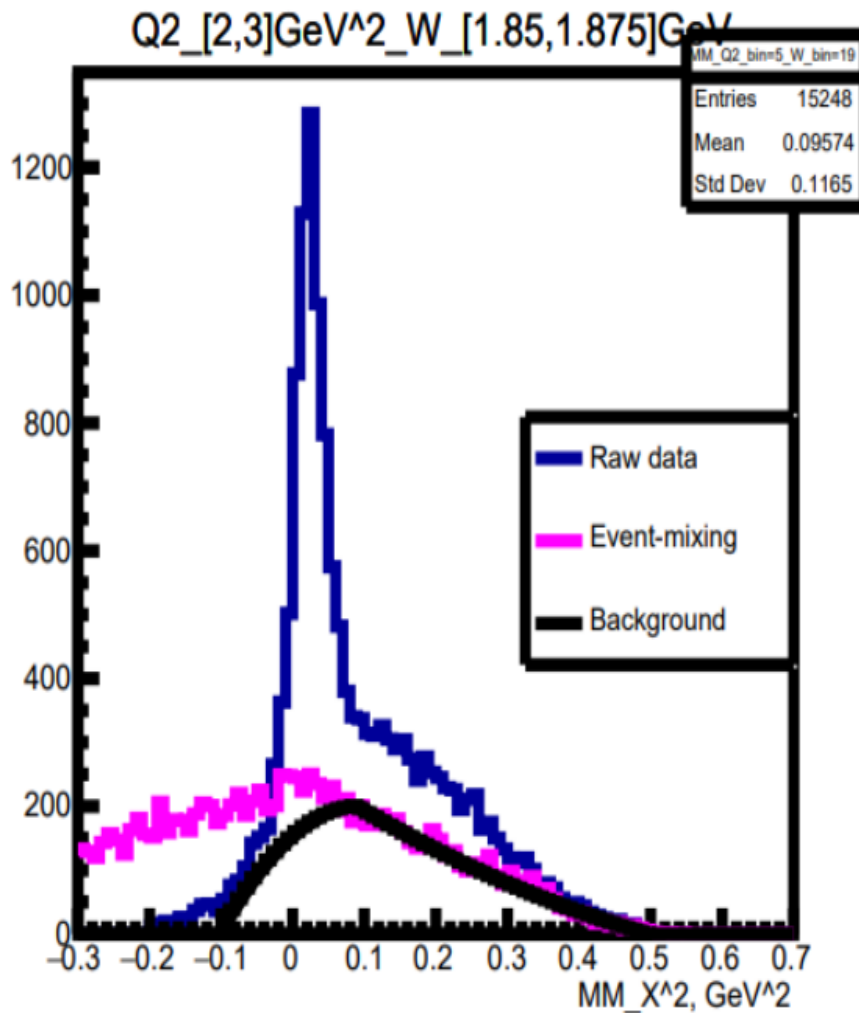
$$f_{\text{signal}}(x) = \begin{cases} A \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, & \text{если } x \leq \mu \\ A \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \cdot e^{-\alpha(x-\mu)}, & \text{если } x > \mu \end{cases}$$

$$f_{bg}(x) = a + b \cdot x + c \cdot x^2$$

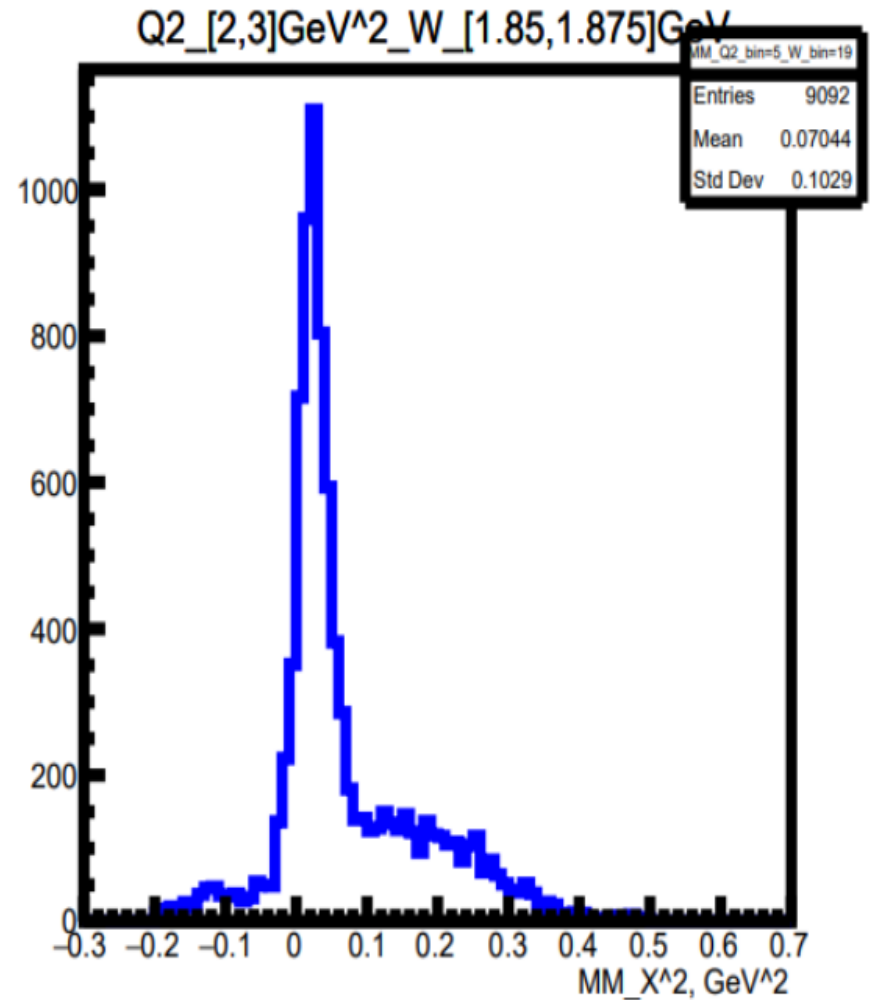


## Использование смешанных событий (event-mixing)

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



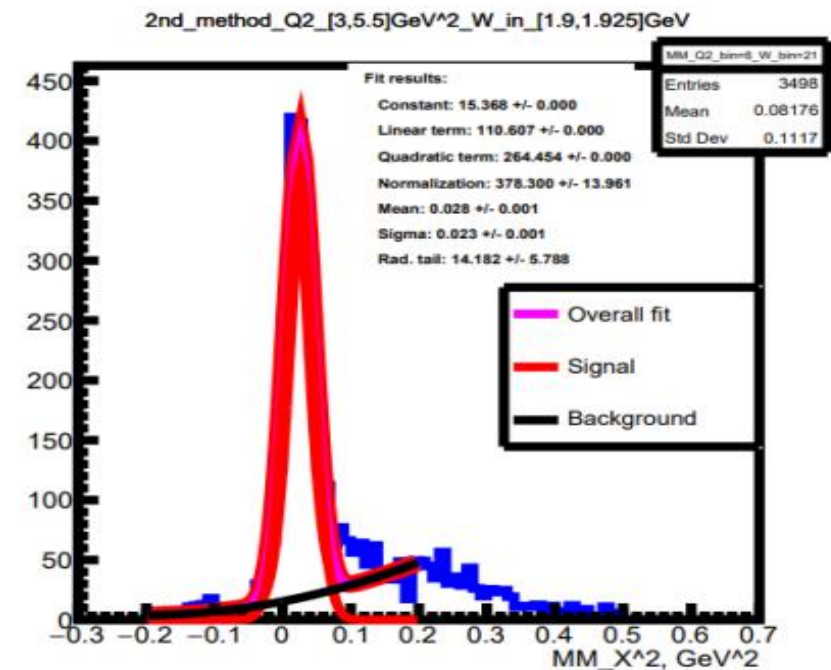
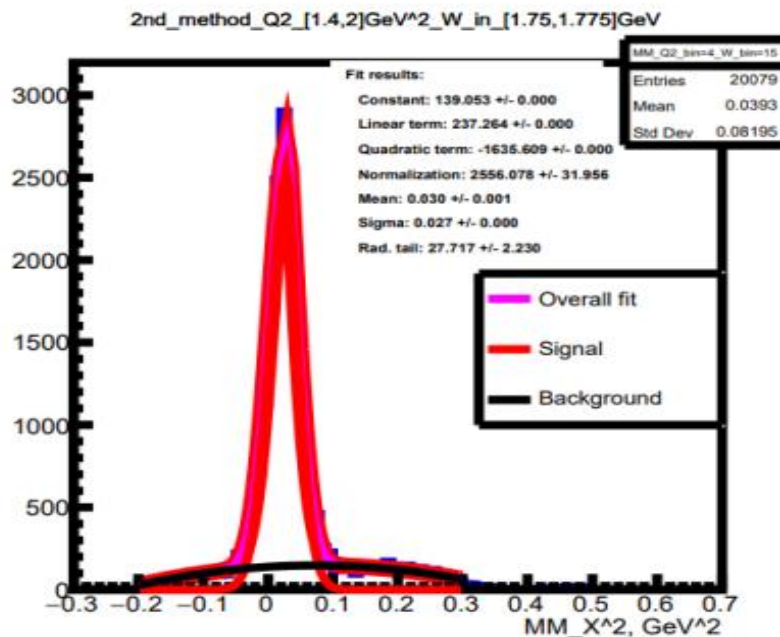
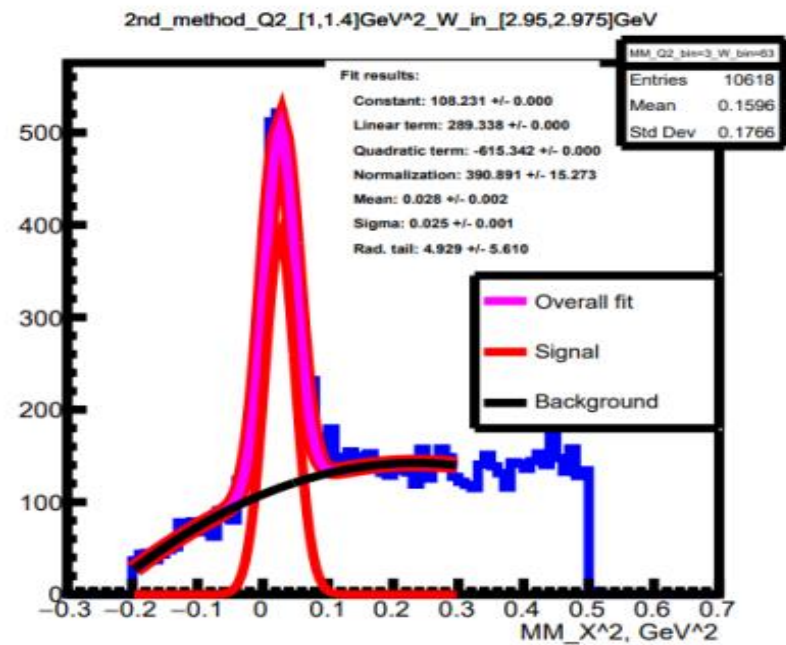
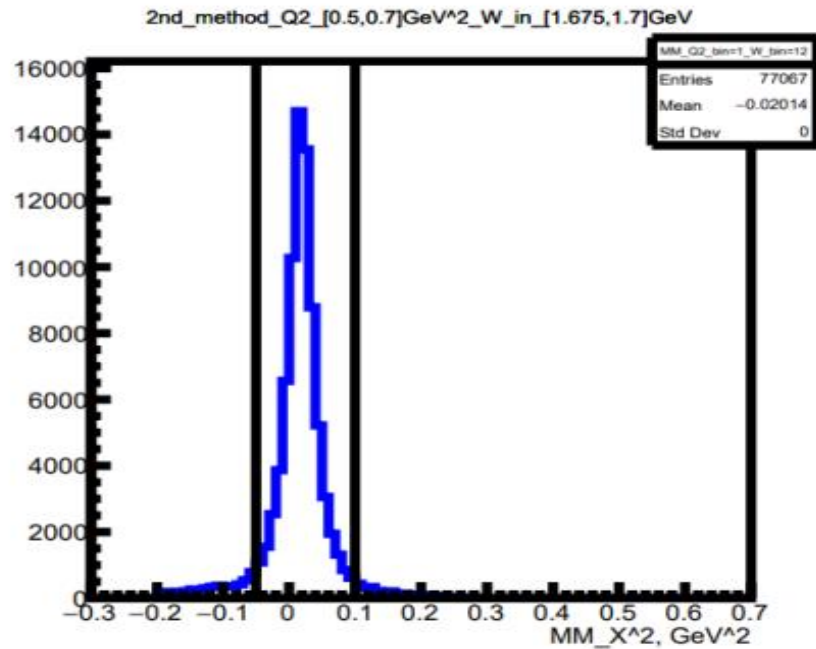
До вычета фона



После вычета фона



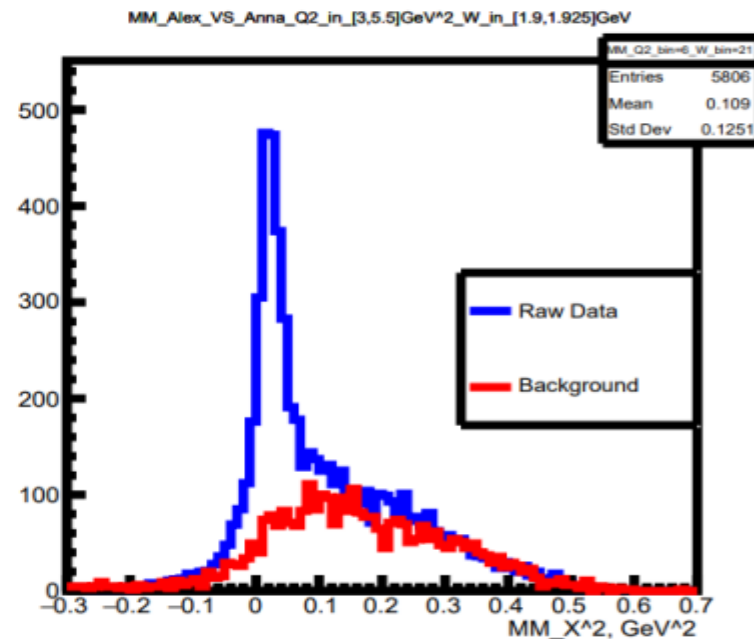
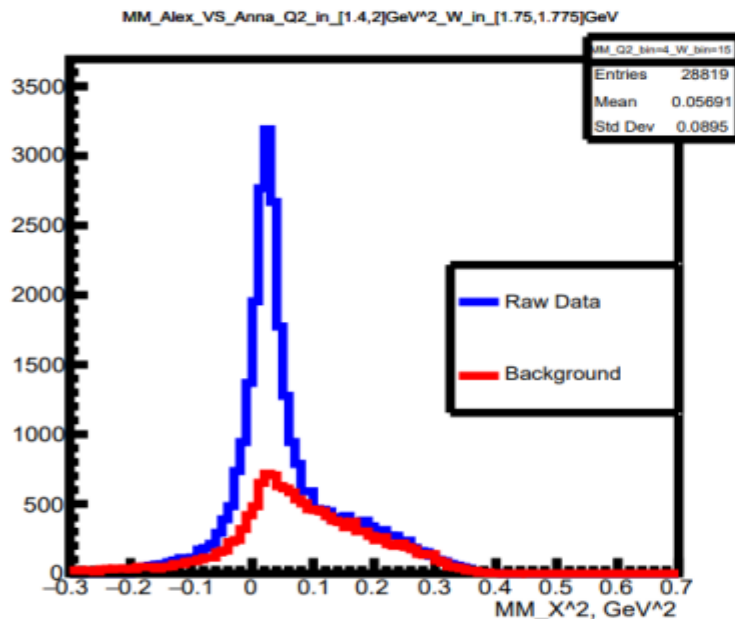
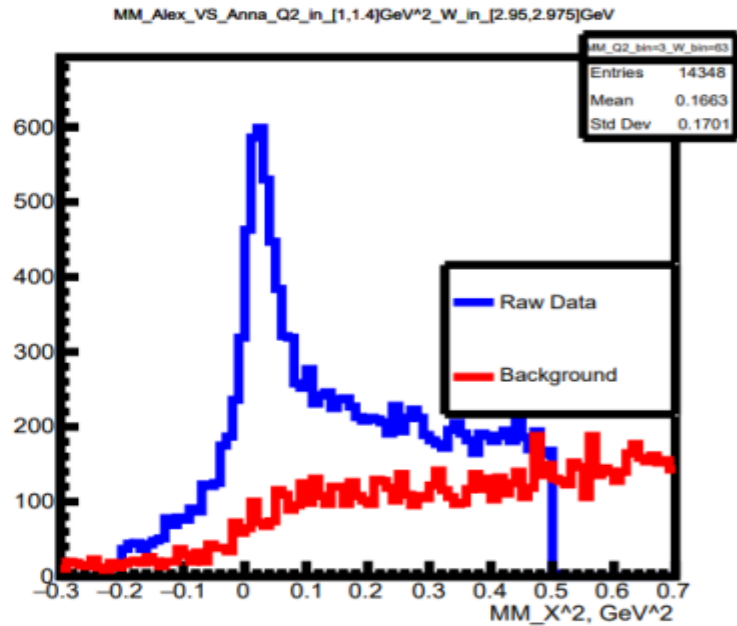
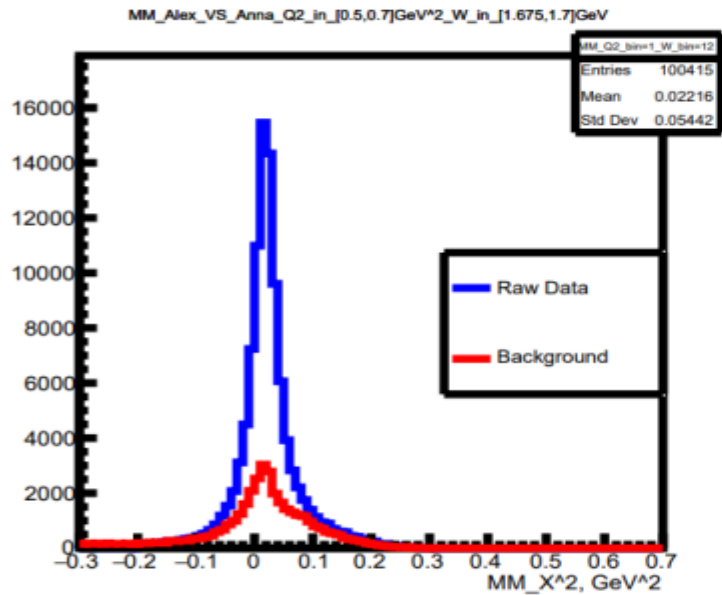
# Второй метод извлечения событий реакции двухпионного электророждения



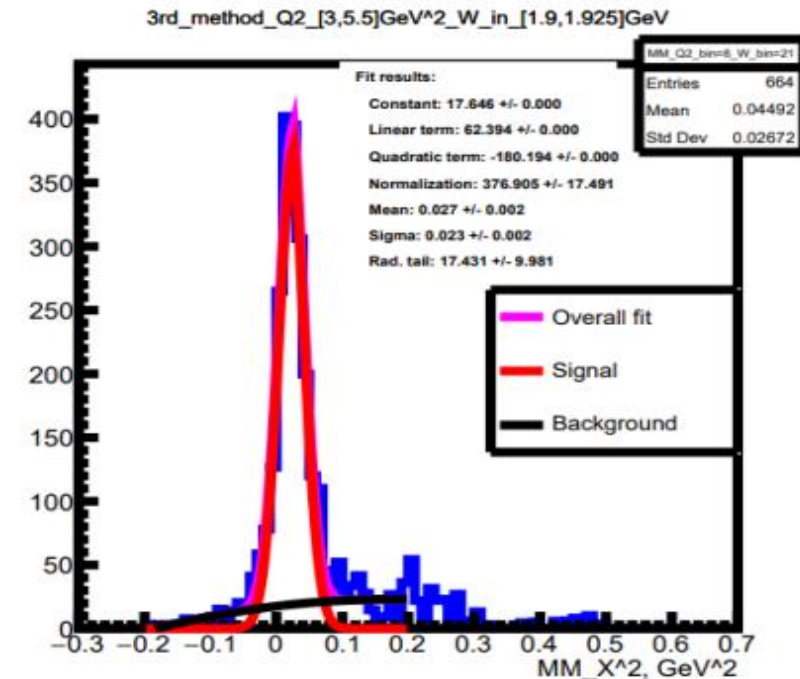
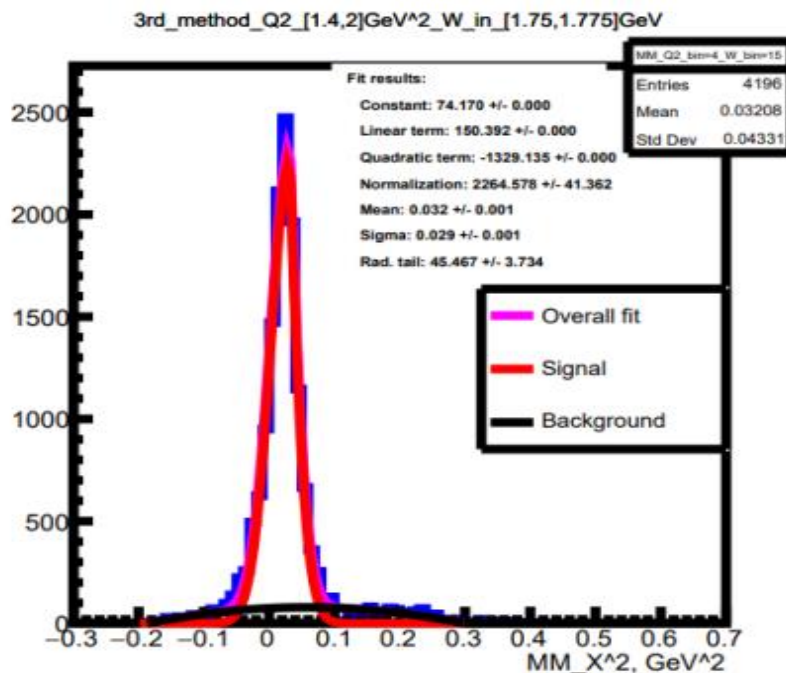
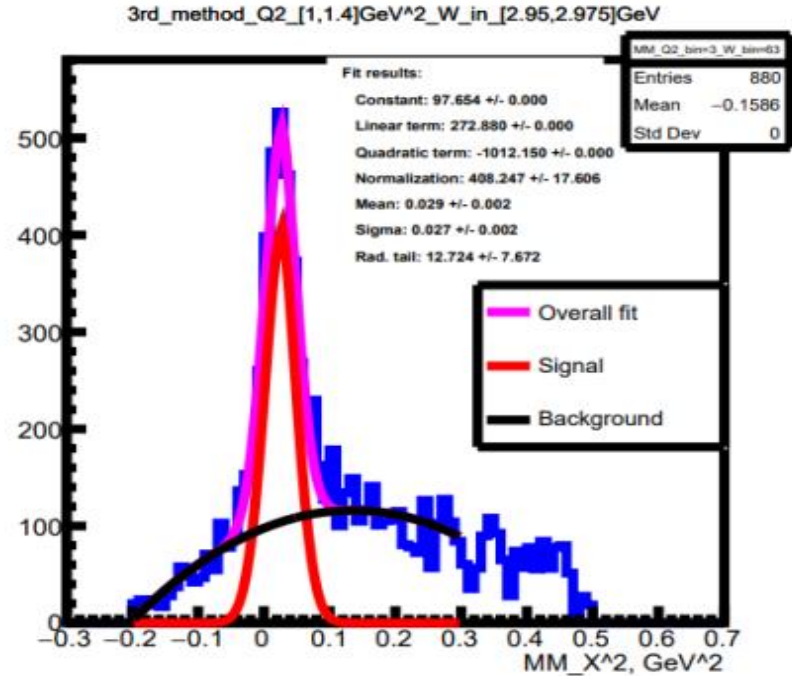
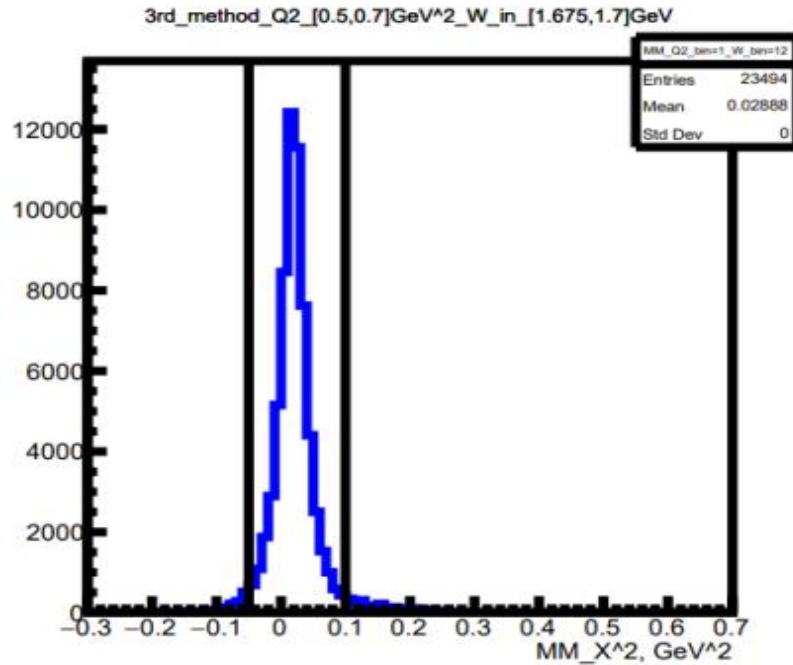


## Использование фоновых событий из топологии ноль

$$ME_0 = |(E_e + E_p - E_{e'} - E_{p'} - E_{\pi^-} - E_{\pi^+})| > 100 \text{ МэВ}$$

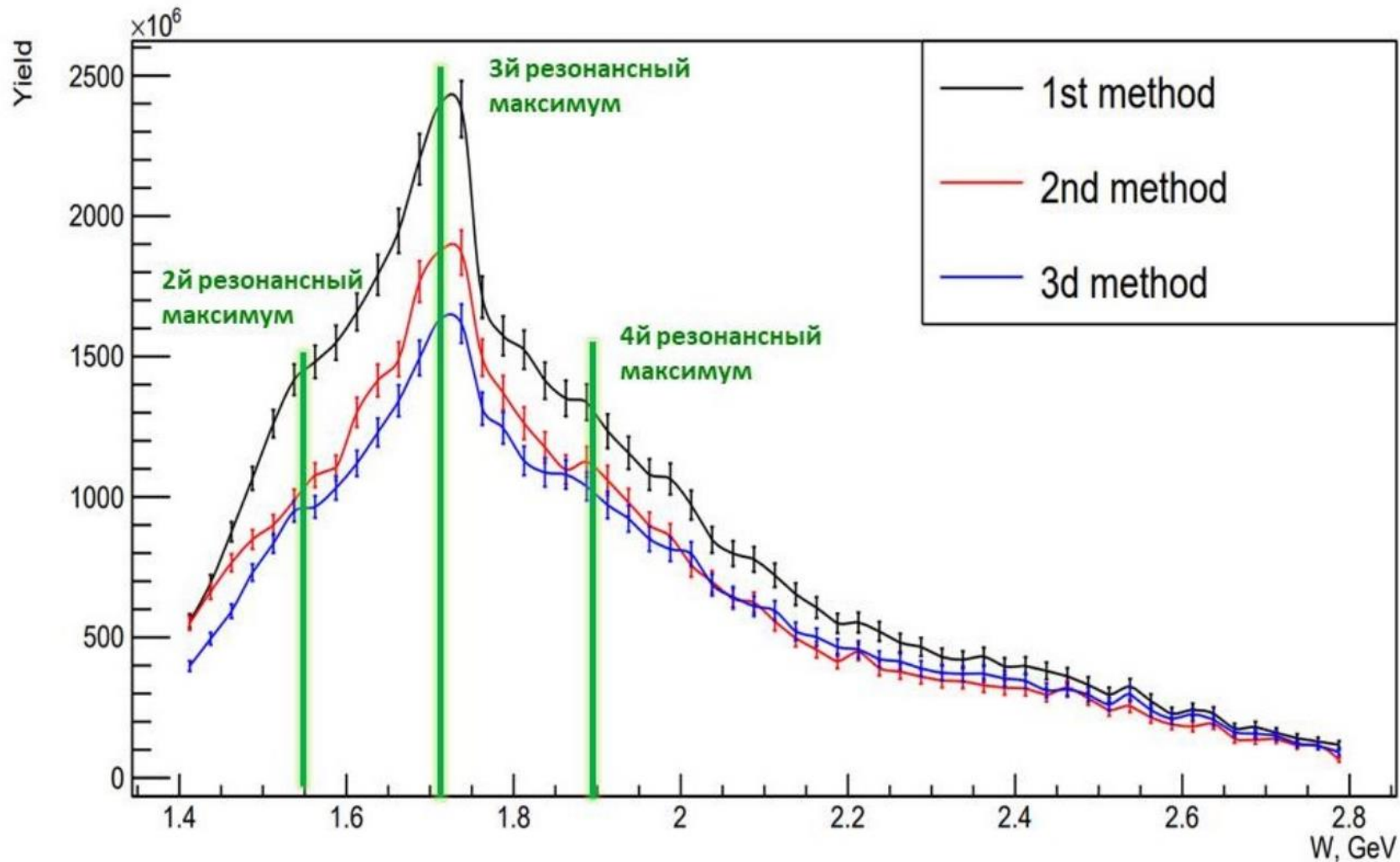


# Третий метод извлечения событий реакции двухпионного электророждения



## Выходы реакции двухпионного электророждения

$$Y = \frac{N}{\Delta W \cdot \Delta Q^2 \cdot \Gamma_\gamma}, \text{ где } \Gamma_\gamma - \text{поток виртуальных фотонов}$$



Выходы реакции двухпионного электророждения как функция  $W$  и в ячейке  $2 < Q^2 < 3 \text{ ГэВ}^2$



## Выводы

- Сделанные нами отборы событий позволили снизить количество фоновых событий по отношению к сигналу реакции, что способствовало более надежному извлечению выходов изучаемой реакции.
- Все три метода извлечения выходов позволяют описать резонансное поведение реакции.
- Различия методов друг с другом, а также варьирование диапазона, в котором извлекаются события сигнала, и диапазонов отборов событий, будут служить источником систематических погрешностей определения выходов.

## Выводы

- Сделанные нами отборы событий позволили снизить количество фоновых событий по отношению к сигналу реакции, что способствовало более надежному извлечению выходов изучаемой реакции.
- Все три метода извлечения выходов позволяют описать резонансное поведение реакции.
- Различия методов друг с другом, а также варьирование диапазона, в котором извлекаются события сигнала, и диапазонов отборов событий, будут служить источником систематических погрешностей определения выходов.

Спасибо за внимание



# Back up slides



Слайд из доклада лидера группы RG-K Аннализы Д'Анджело на собрании коллаборации CLAS

## Selection of the $\pi^+\pi^-p$ events from RG-K data

Event distributions over missing mass squared  $M^2_X$  for four topologies:

A. Bulgakov, A. Frolova,  
Moscow State U.

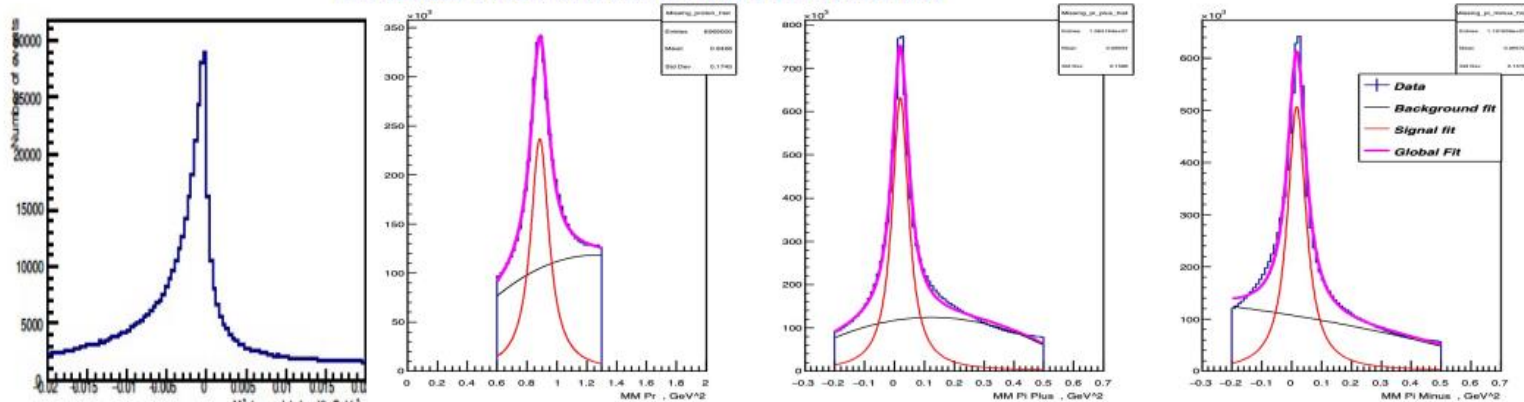
$ep \rightarrow e'\pi^+\pi^-p'X$   
X= all neutrals

$ep \rightarrow e'\pi^+\pi^-X$   
X=  $p'$  & all neutrals

$ep \rightarrow e'\pi^-p'X$   
X=  $p^+$  & all neutrals

$ep \rightarrow e'\pi^+p'X$   
X=  $p^-$  & all neutrals

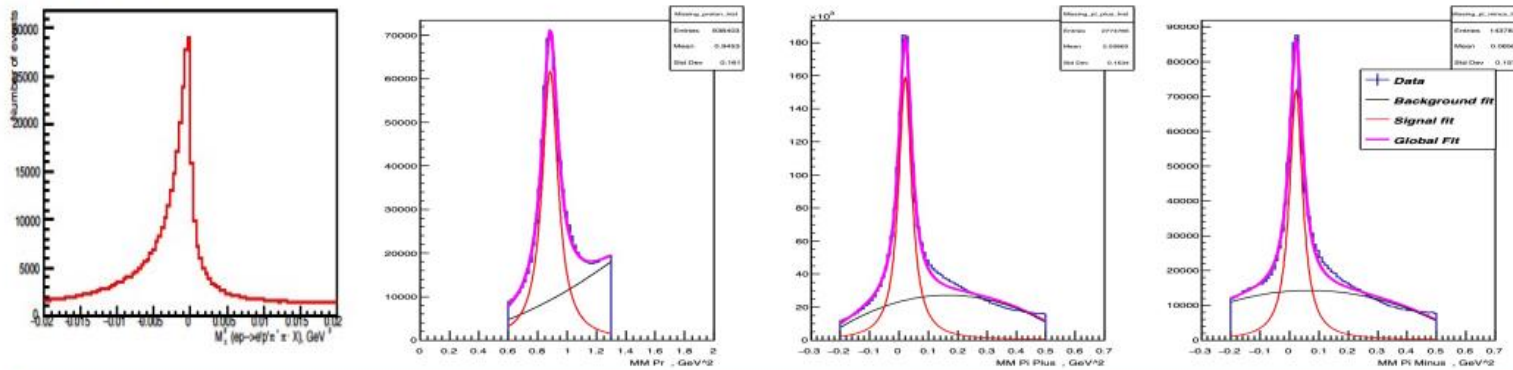
the initial event selection with PID from EB



Goal:

Differential cross section

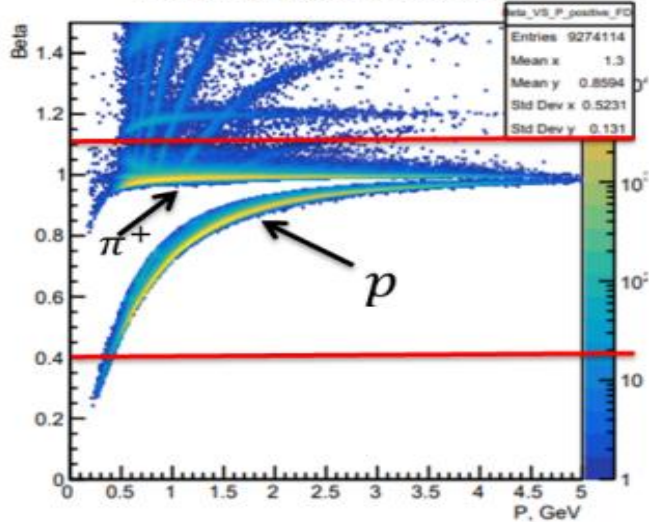
after application of common RG-K selections for the final particles



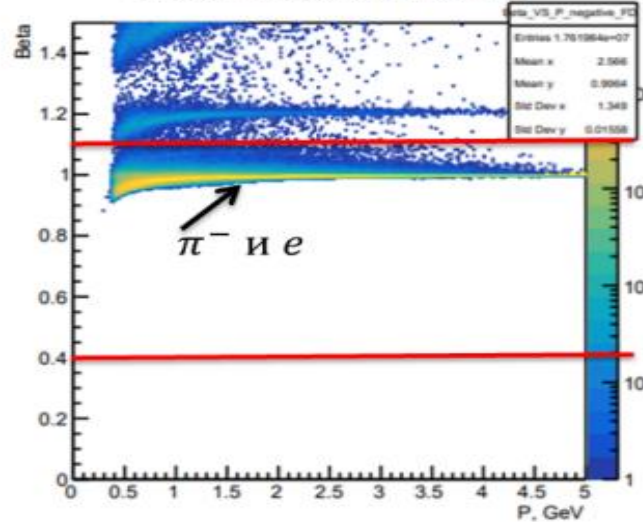
# Отбор адронов

$$\beta = \frac{p}{E} = \frac{p}{\sqrt{p^2 + m^2}}$$

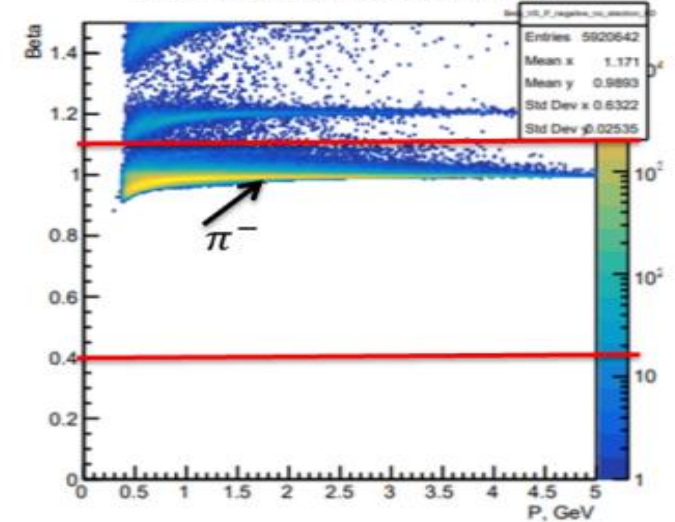
Beta VS P for positive particles in FD



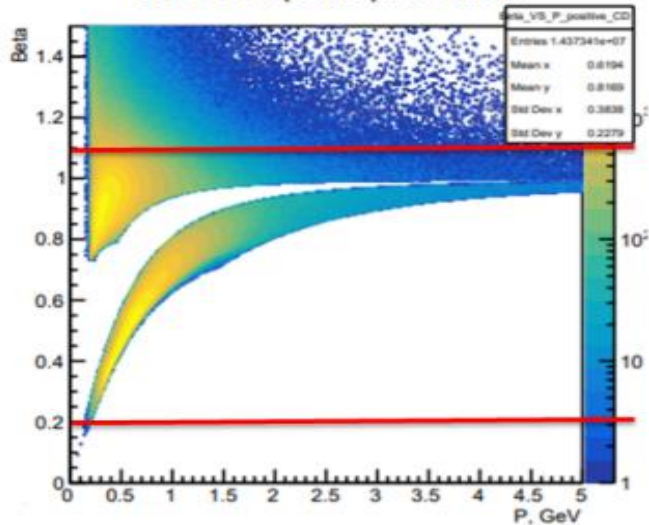
Beta VS P for negative particles in FD



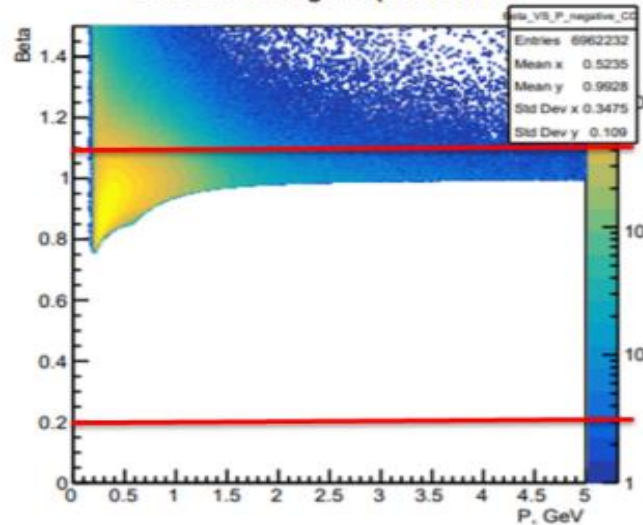
Beta VS P for negative particles except electron in FD



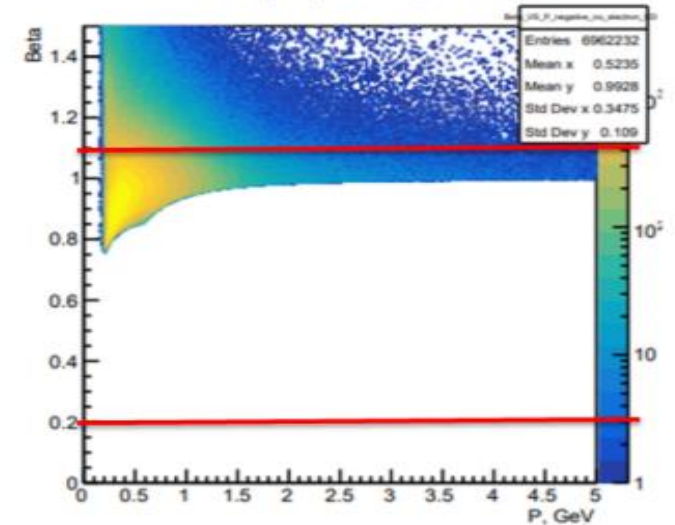
Beta VS P for positive particles in CD



Beta VS P for negative particles in CD



Beta VS P for negative particles except electron in CD

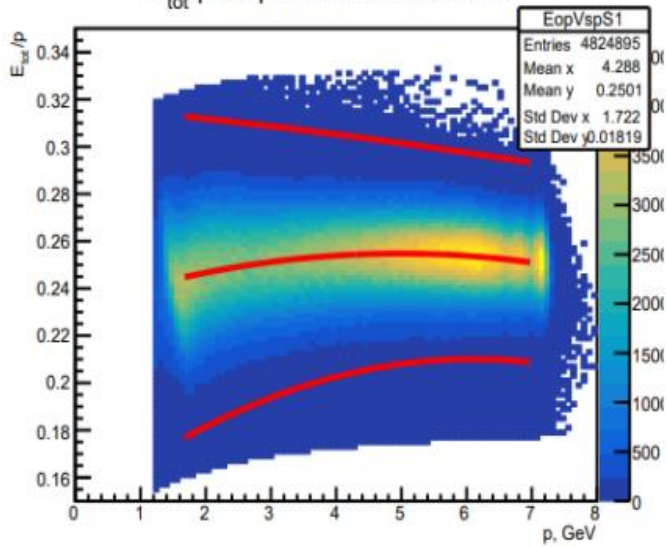


Отбор на скорость  $\beta$  заряженных адронов

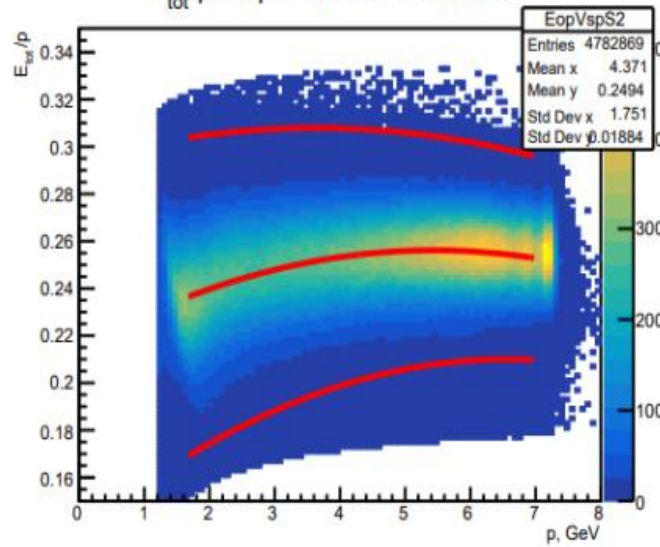


# Отбор электронов

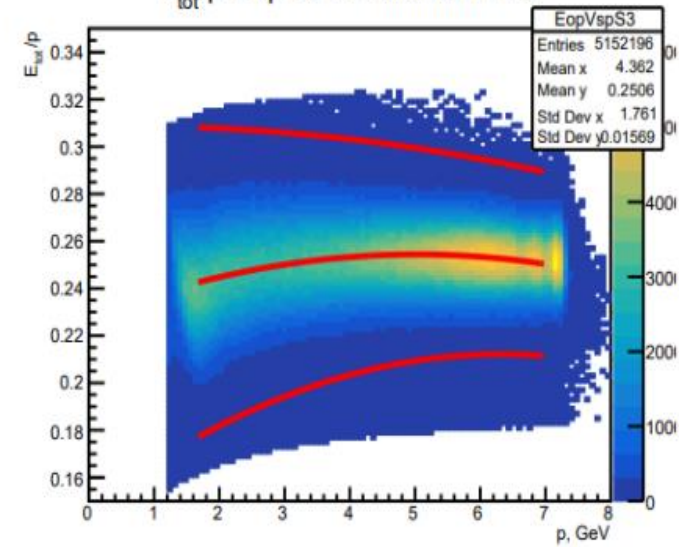
$E_{tot}/p$  Vs  $p$  for the electron in S1



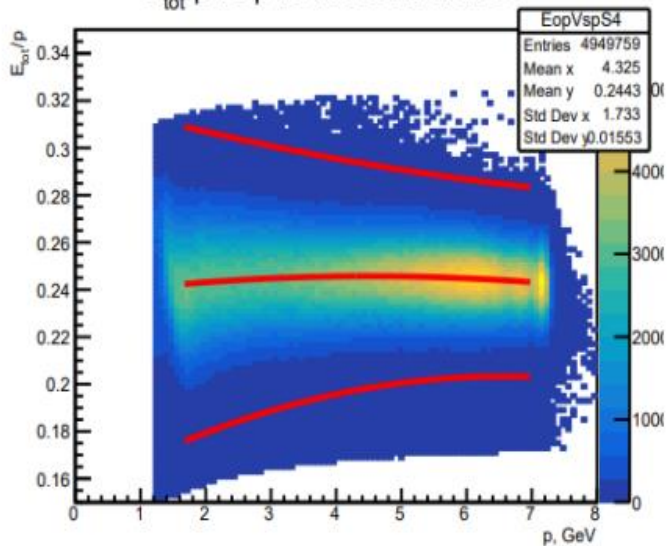
$E_{tot}/p$  Vs  $p$  for the electron in S2



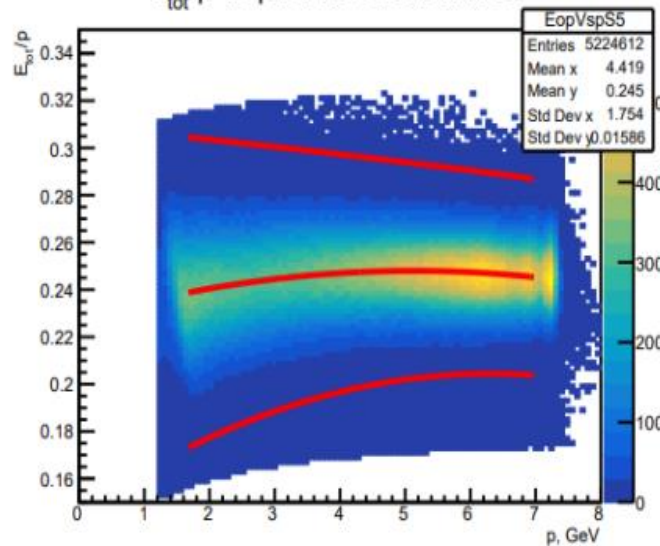
$E_{tot}/p$  Vs  $p$  for the electron in S3



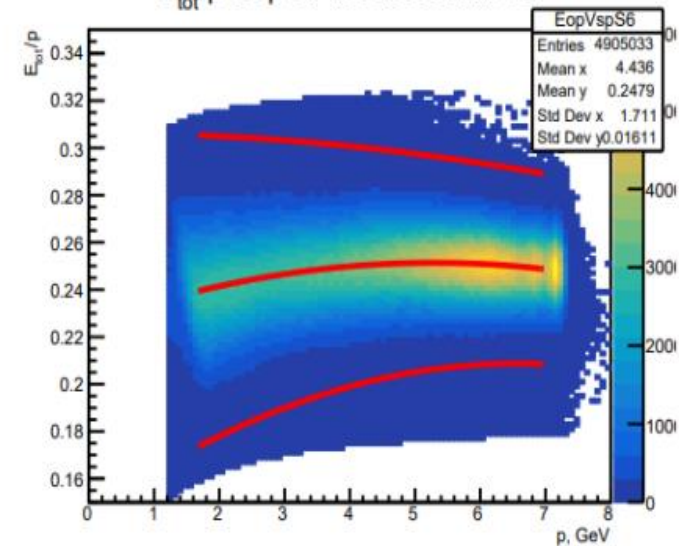
$E_{tot}/p$  Vs  $p$  for the electron in S4



$E_{tot}/p$  Vs  $p$  for the electron in S5

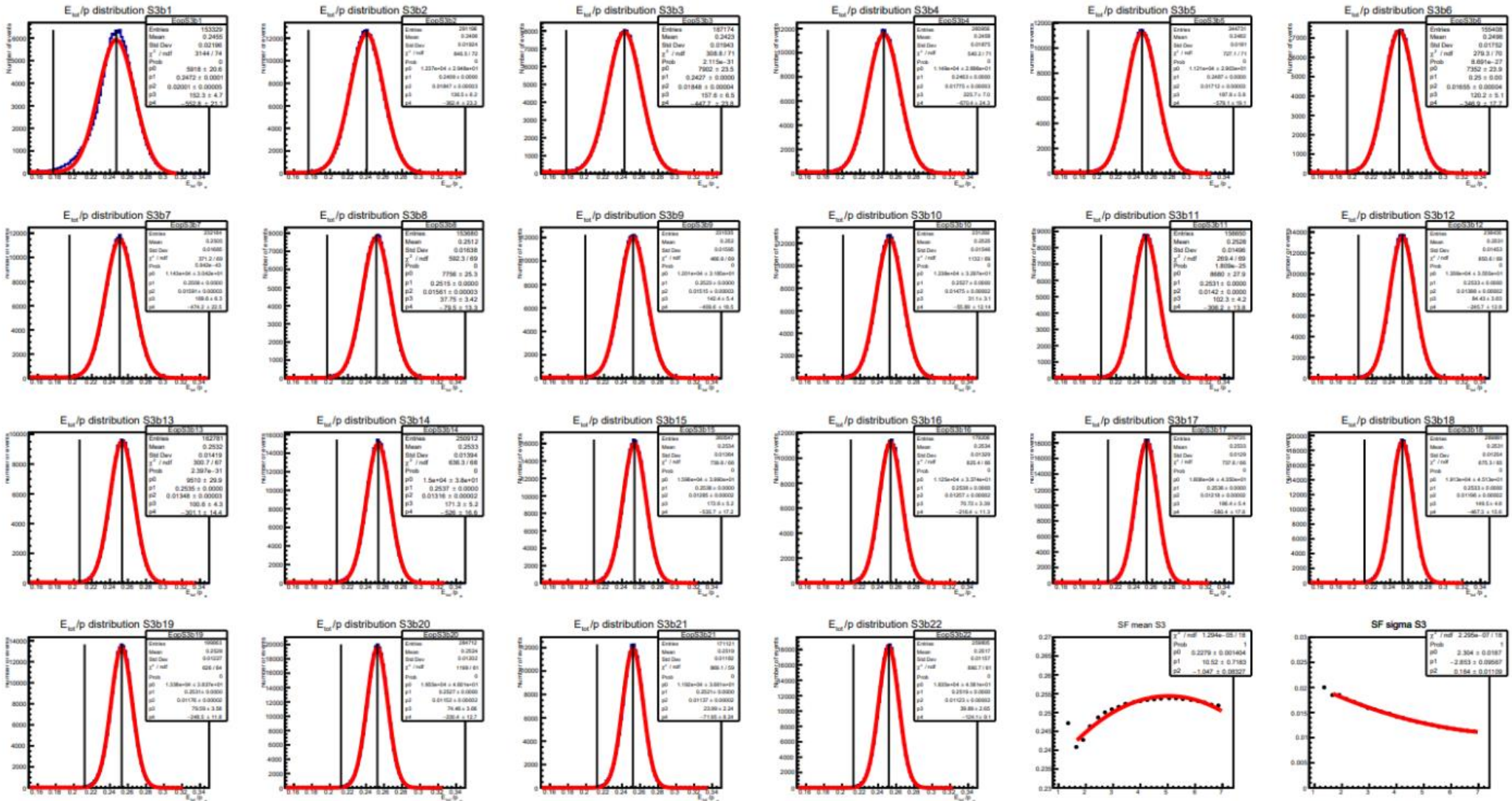


$E_{tot}/p$  Vs  $p$  for the electron in S6



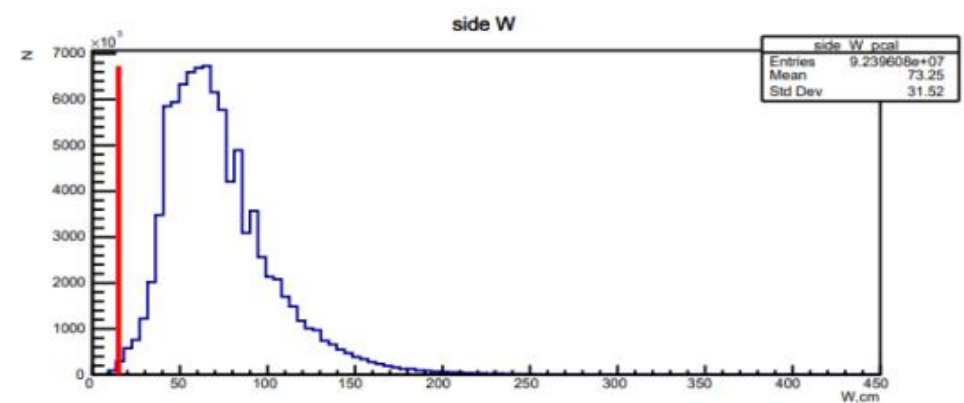
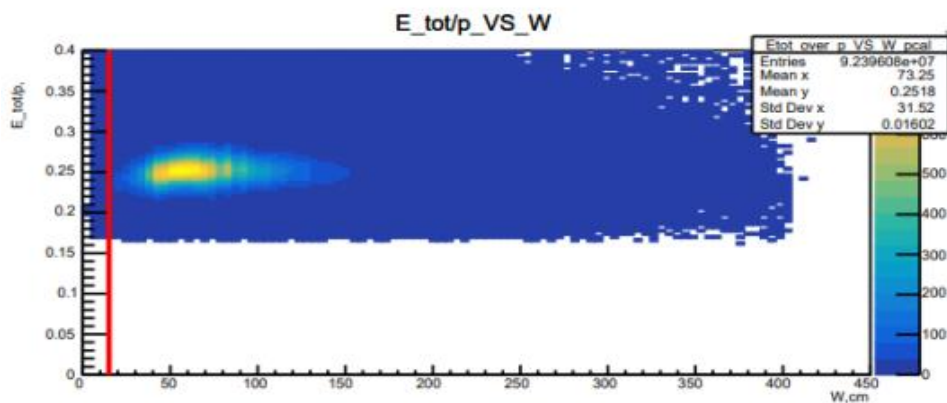
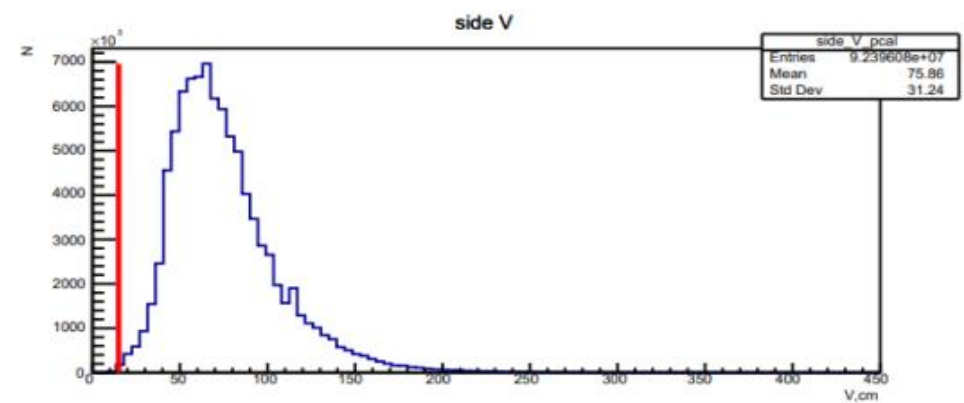
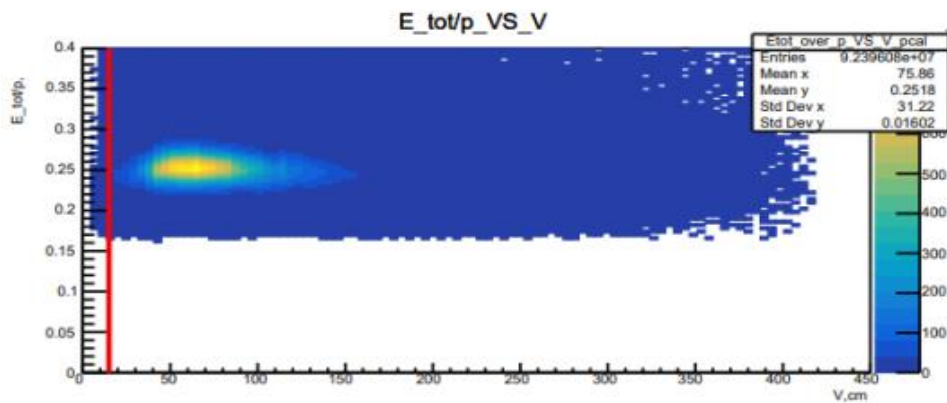
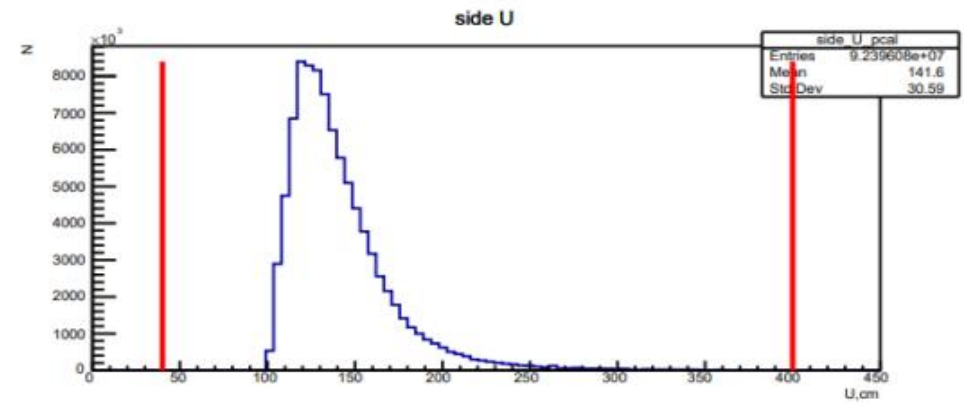
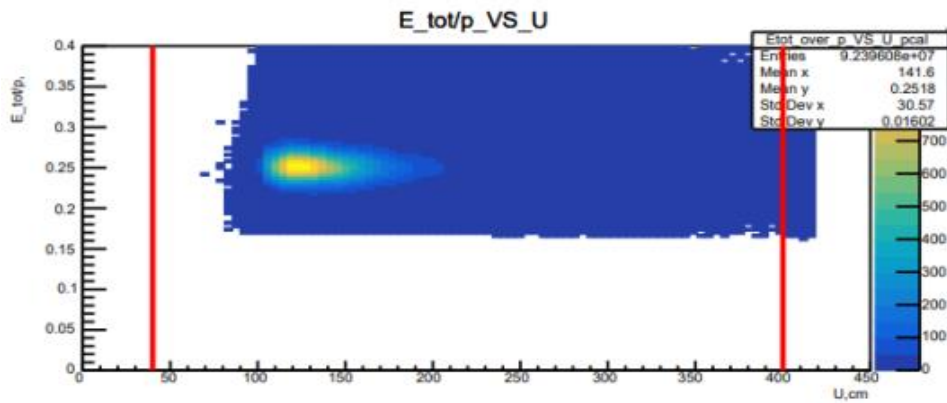
Sampling fraction

# Отбор электронов





# Отбор электронов



Геометрический отбор в ECAL

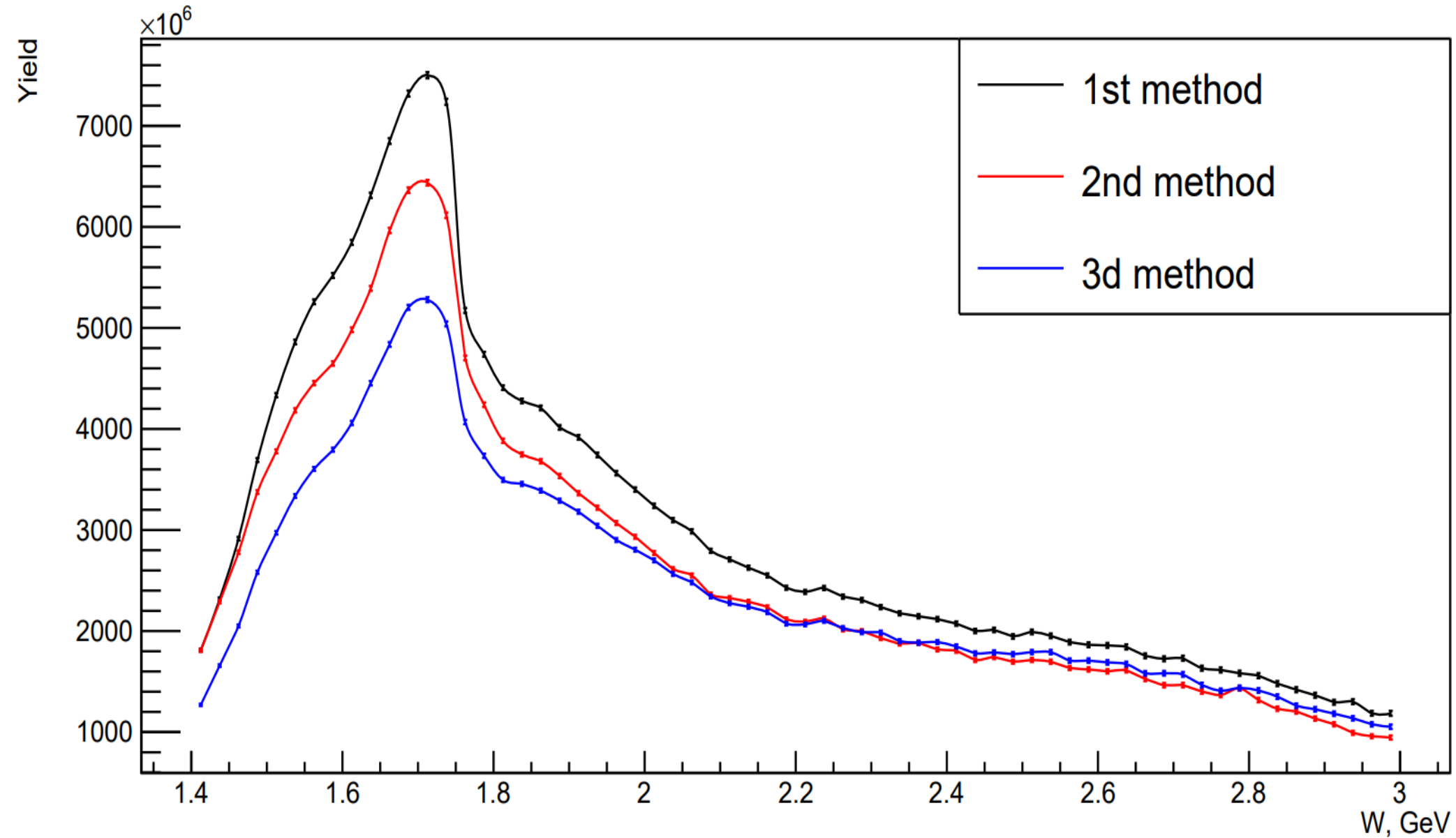
## Поток виртуальных фотонов

$$\Gamma_{\gamma}(W, Q^2) = \frac{\alpha}{4\pi} \cdot \frac{1}{m_p^2 E_{beam}^2} \cdot \frac{W(W^2 - m_p^2)}{(1 - \varepsilon_T) \cdot Q^2}$$

$$\varepsilon_T = \left( 1 + 2 \left( 1 + \frac{\nu^2}{Q^2} \right) \cdot \left( \operatorname{tg}^2 \frac{\theta}{2} \right) \right)^{-1}$$

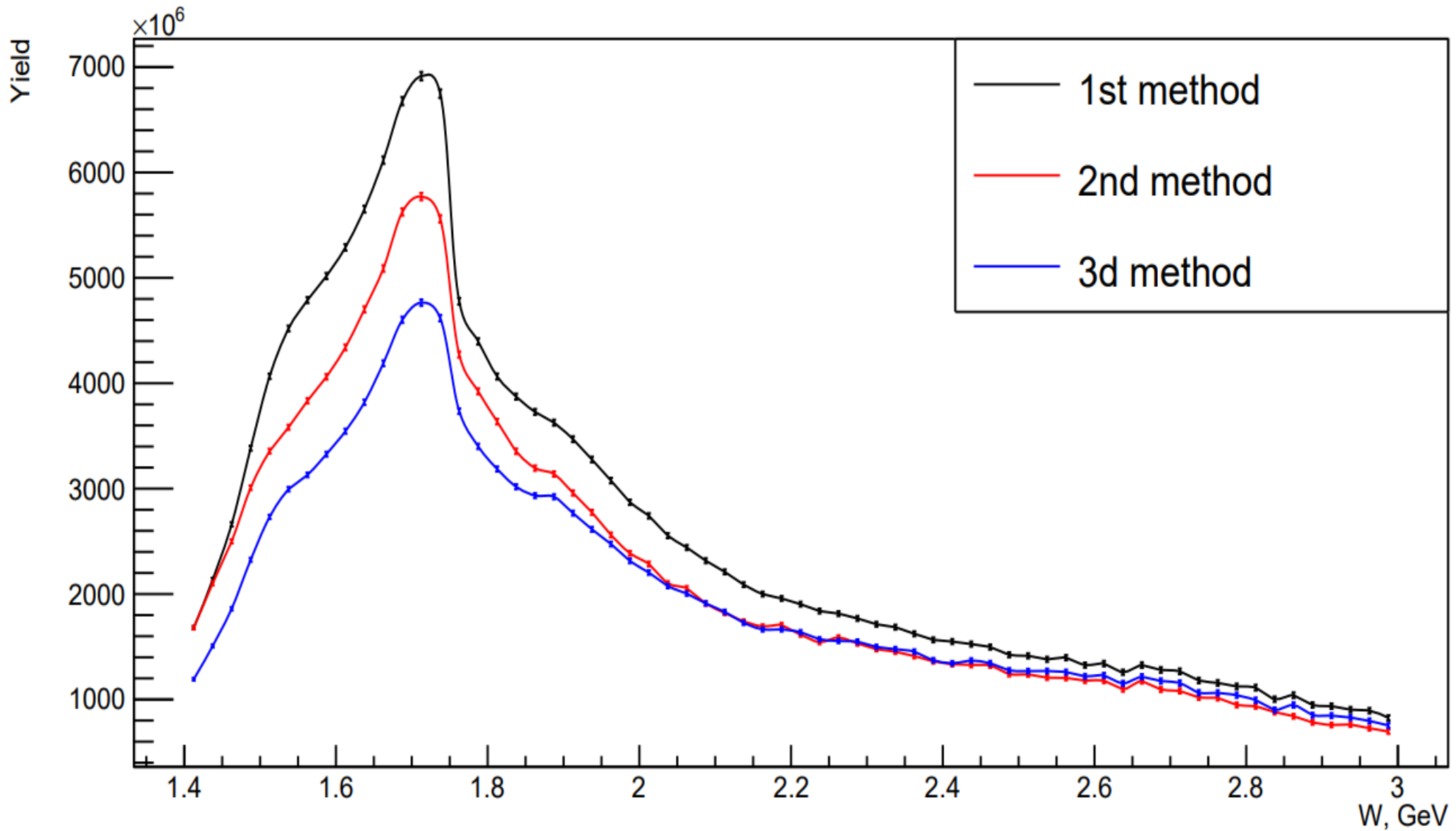


## Выходы реакции



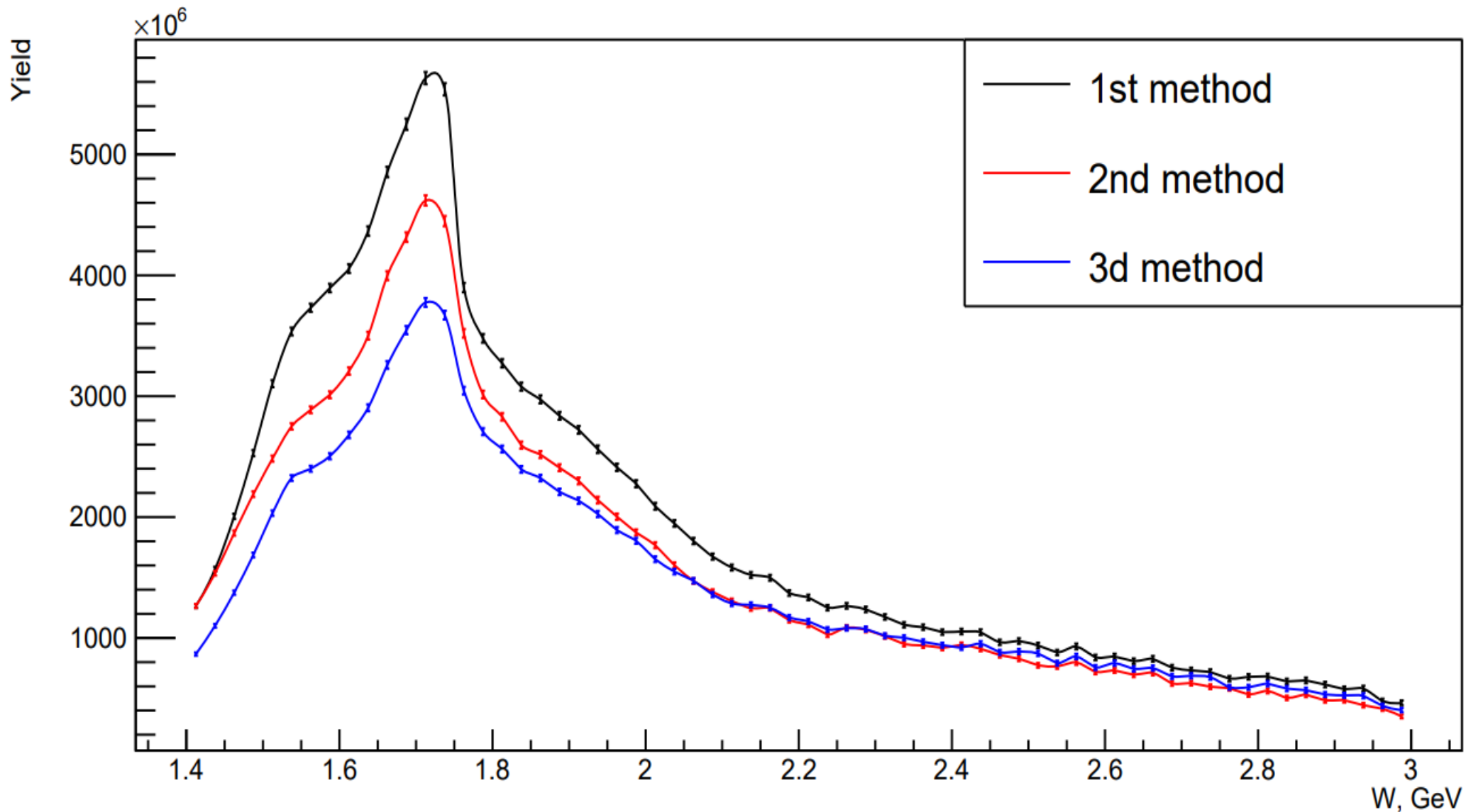
Выходы реакции двухпионного электророждения как функция  $W$  и в ячейке  $0.5 < Q^2 < 0.7$  ГэВ<sup>2</sup>

## Выходы реакции



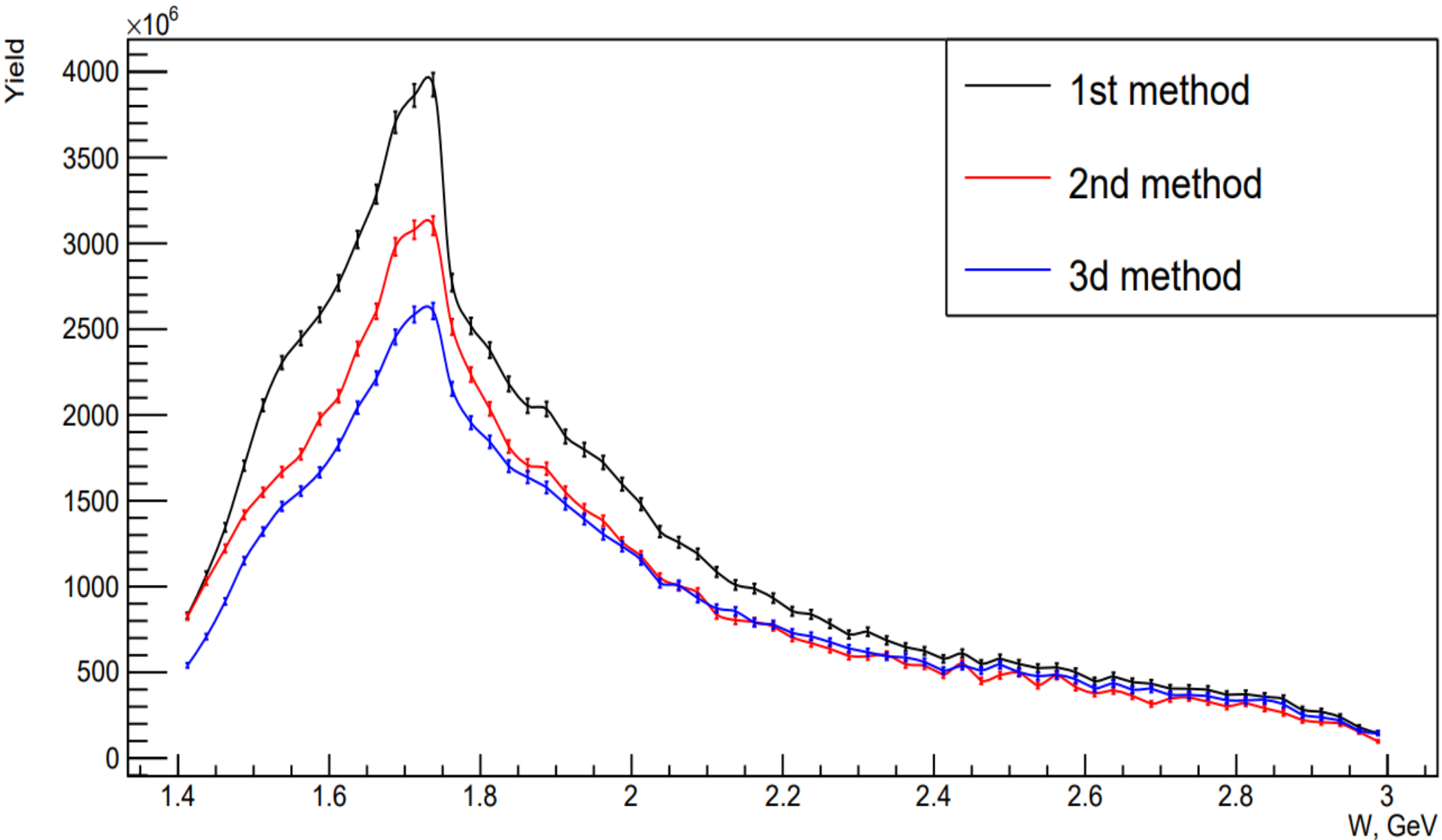
Выходы реакции двухпионного электророждения как функция  $W$  и в ячейке  $0.7 < Q^2 < 1$  ГэВ<sup>2</sup>

## Выходы реакции



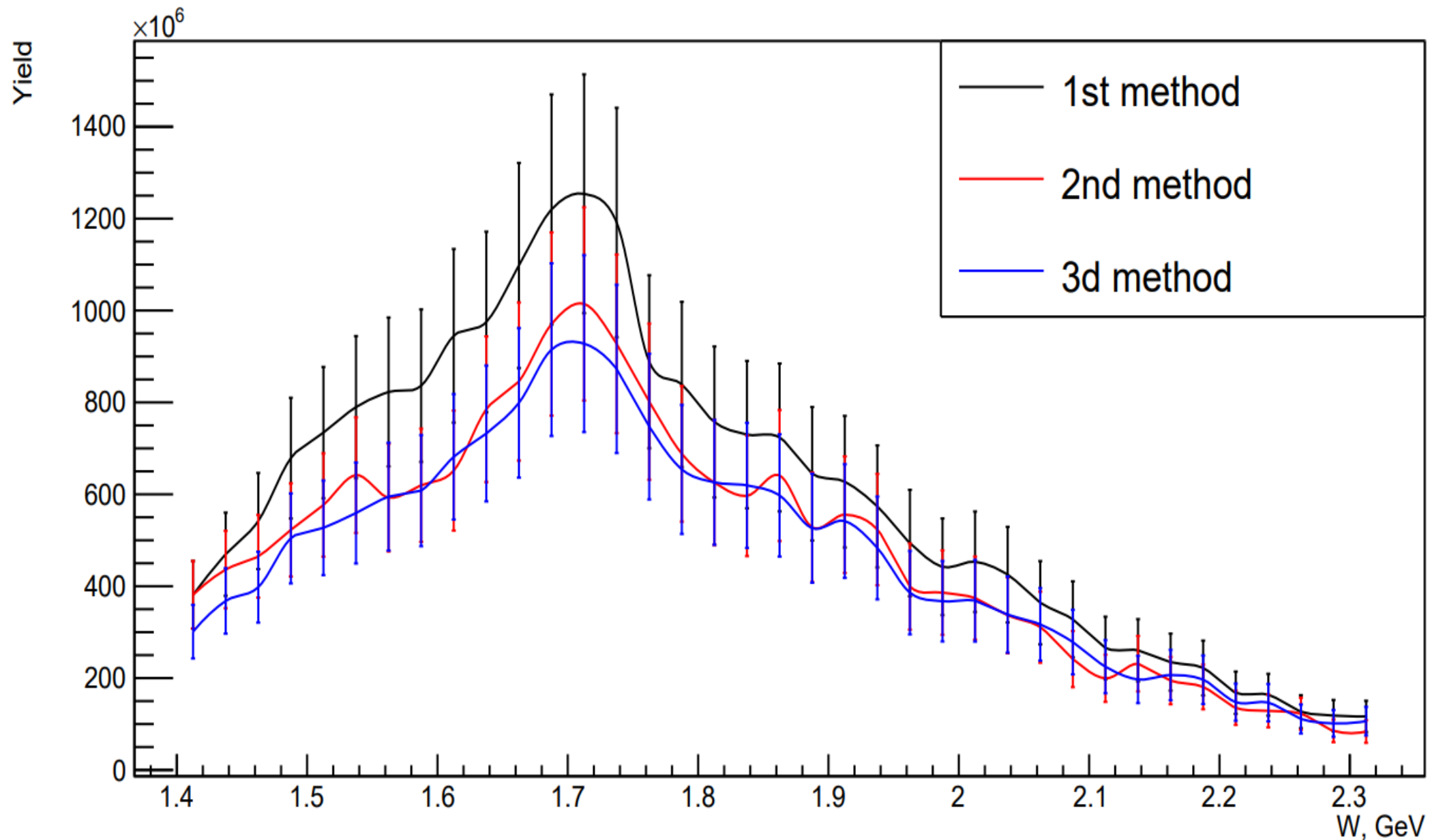
Выходы реакции двухпионного электророждения как функция  $W$  и в ячейке  $1 < Q^2 < 1.4$  ГэВ<sup>2</sup>

## Выходы реакции



Выходы реакции двухпионного электророждения как функция  $W$  и в ячейке  $1.4 < Q^2 < 2$  ГэВ<sup>2</sup>

## Выходы реакции



Выходы реакции двухпионного электророждения как функция  $W$  и в ячейке 3  $< Q^2 < 5.5$  ГэВ<sup>2</sup>