

*Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Физический
Факультет, кафедра Общей Ядерной Физики
НИИ Ядерной физики им. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова*

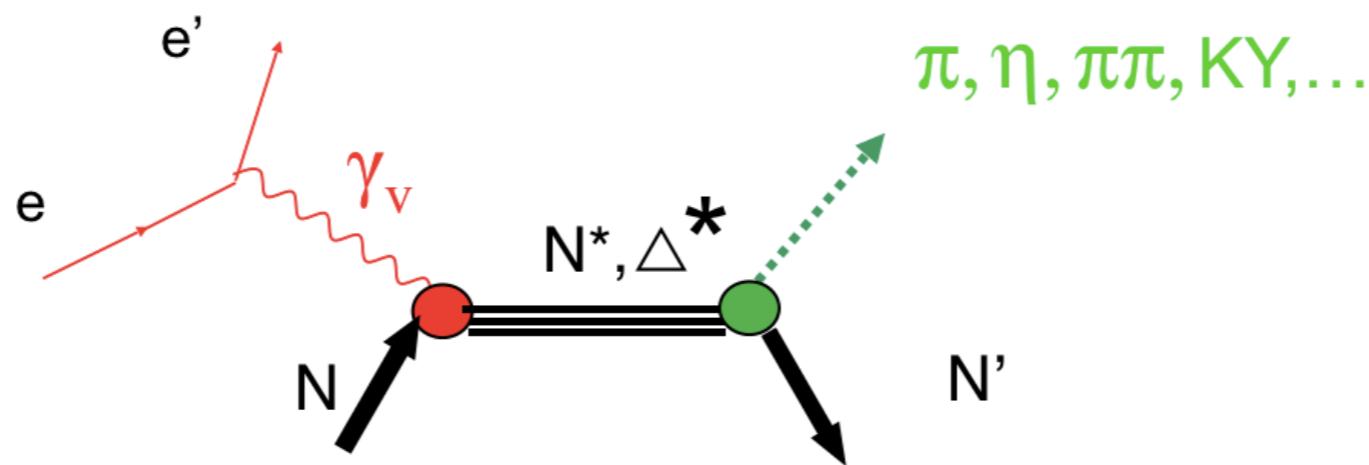


Первые результаты экспериментов на детекторе CLAS12 по исследованию реакции эксклюзивного электророждения двух пионов на протоне

Фролова Анна Сергеевна

Научный руководитель: к.ф.-м.н., с.н.с. Исупов Евгений Леонидович

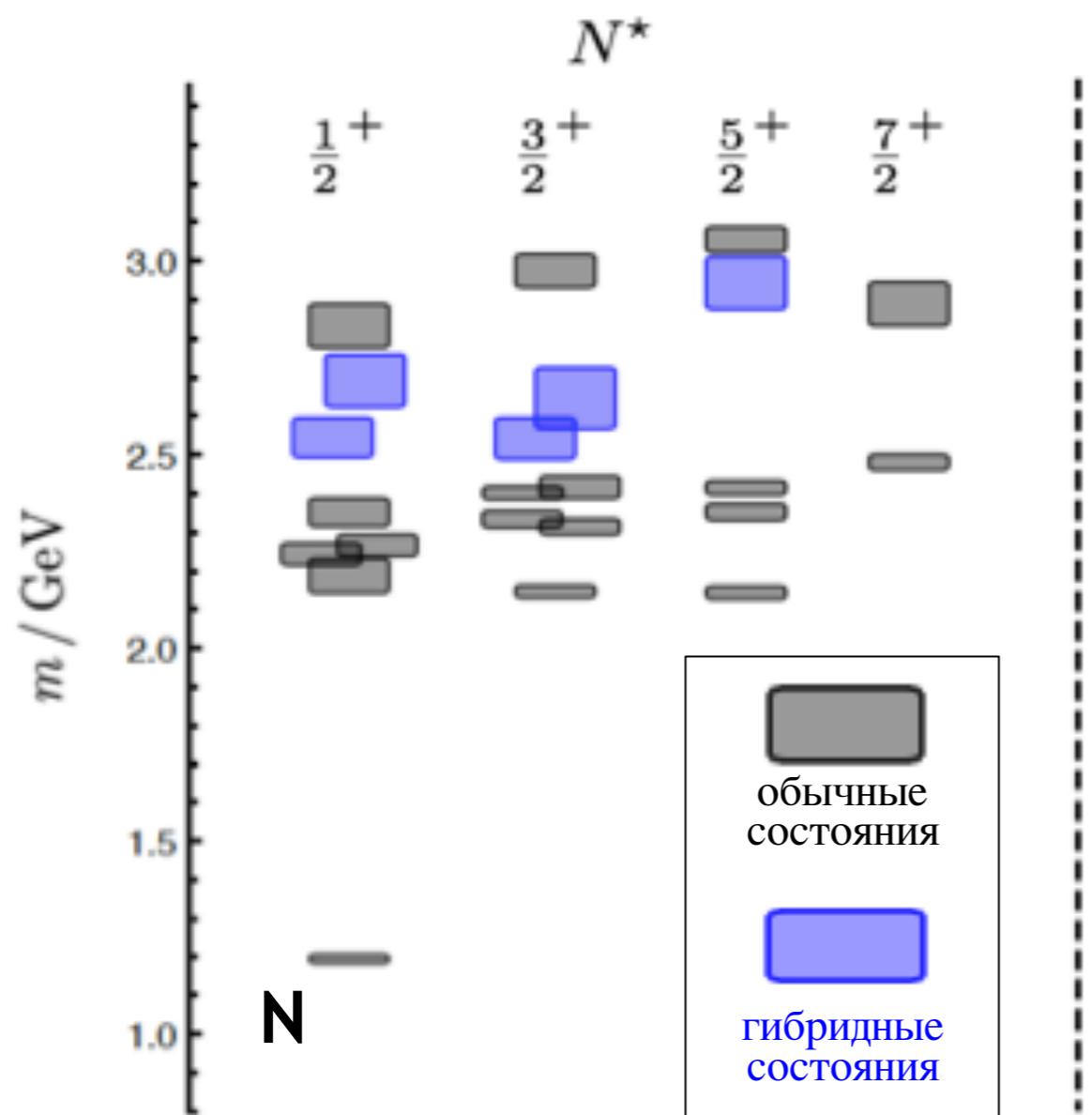
Введение



Эксклюзивные каналы реакции	Возбужденные состояния протона	Диапазон квадратов переданных импульсов Q^2 в реакции электророждения $\gamma_v p N^*$, ГэВ 2
$\pi^+ n, \pi^0 p$	$\Delta(1232)3/2^+, N(1440)1/2^+, N(1520)3/2^-, N(1535)1/2^-$	0.16–6.00 0.30–4.16
$\pi^+ n$	$N(1675)5/2^-, N(1680)5/2^+, N(1710)1/2^+$	1.60–4.50
ηp	$N(1535)1/2^-$	0.20–2.90
$\pi^+ \pi^- p$	$N(1440)1/2^+, N(1520)3/2^-, \Delta(1620)1/2^-, N(1650)1/2^-, N(1680)5/2^+, \Delta(1700)3/2^-, N(1720)3/2^+, N'(1720)3/2^+$	0.25–1.50 0.50–1.50

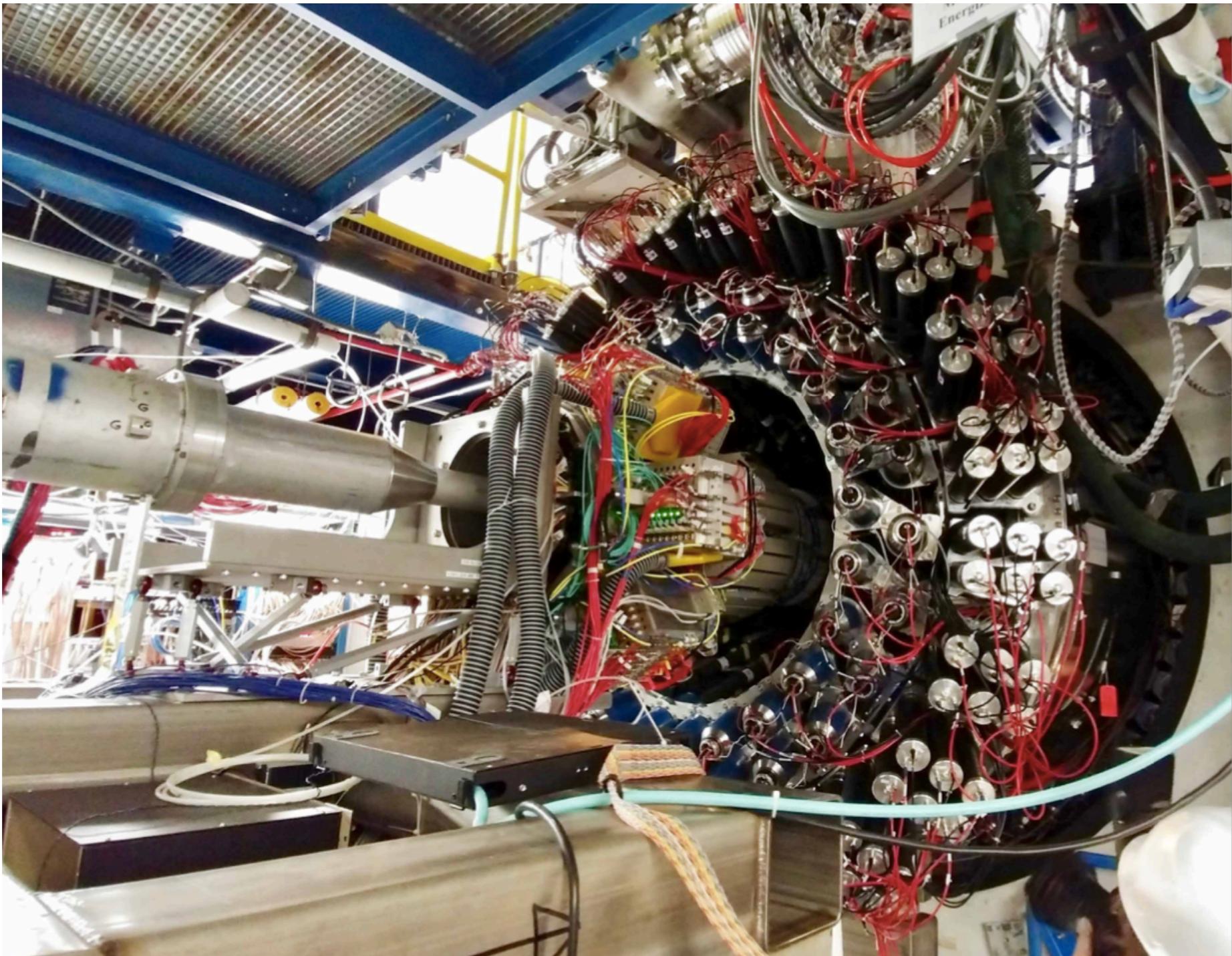
В таблице представлены нуклонные резонансы, для которых получены амплитуды электровозбуждения из анализа данных CLAS по эксклюзивным каналам электророждения мезонов на протонах в резонансной области.

Введение



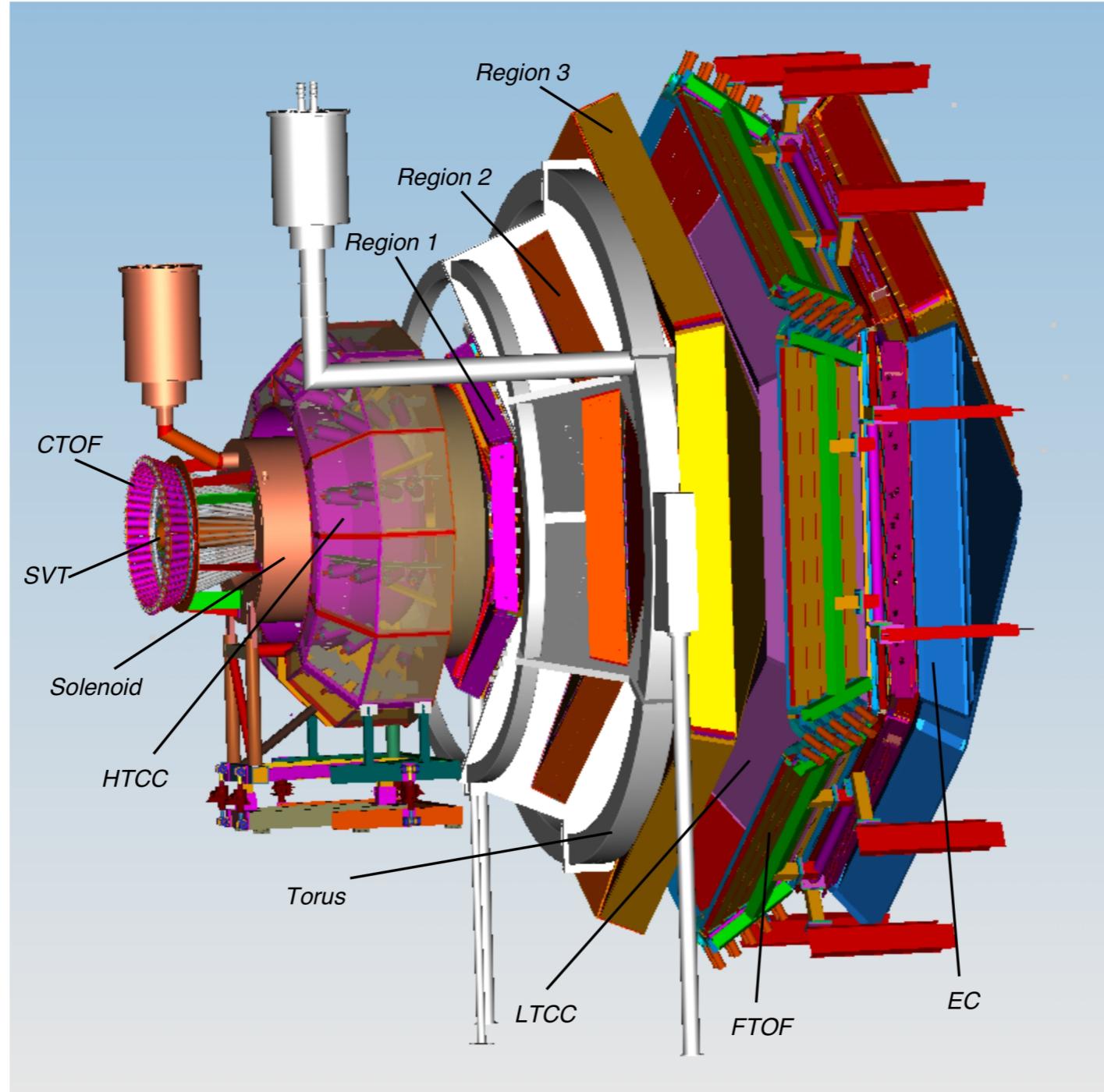
На двухпионный канал
возложены перспективы по
поиску недостающих
барионных состояний и
гибридных барионов

Предсказанный спектр N^* из расчета на
решетках включает как обычные q^3
состояния, так и гибридные q^3g



Ускоритель СЕВАФ

Энергия непрерывного пучка электронов до 11 ГэВ,
светимость – $10^{35} \text{ см}^{-2}\text{s}^{-1}$



Детектор CLAS12

Практически полное угловое покрытие. Две большие подсистемы:
Центральный (CD) и Передний (FD) детекторы

данные RG-K

Условия эксперимента – осень 2018	
Ток Тороида	100% (3375 A) - negative outbending
Соленоид	-100 %
Энергия пучка	6.535 ГэВ
FT	OFF
Пучок/Мишень	Поляризованные электроны/ неполяризованная мишень из жидкого H ₂
Светимость	$10^{35} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ @ 6.5 ГэВ Полная светимость
Ток пучка	60 нА

Отбор событий реакции $ep \rightarrow e\pi^+\pi^-p$

- Фиксируем все адроны в конечном состоянии: ρ, π^+, π^-
- Отбрасываем события, содержащие другие заряженные частицы
- Инвариантная масса конечных адронов $W > 1.2$ ГэВ
- Стандартные отборы для идентификации электронов:
 - электрон в переднем детекторе,
 - импульс электрона (1.0 ГэВ $\leq p_{el} \leq 6.535$ ГэВ),
 - координата вершины (-10 см $\leq vZ_{el} \leq 2$ см),
 - время пролета (21 нс $< TOF_{el} \leq 26$ нс),
 - отбор на загрязнение пионами
 - отбор по энергии, оставленной в калориметре
 - геометрические отборы в калориметре и дрейфовой камере

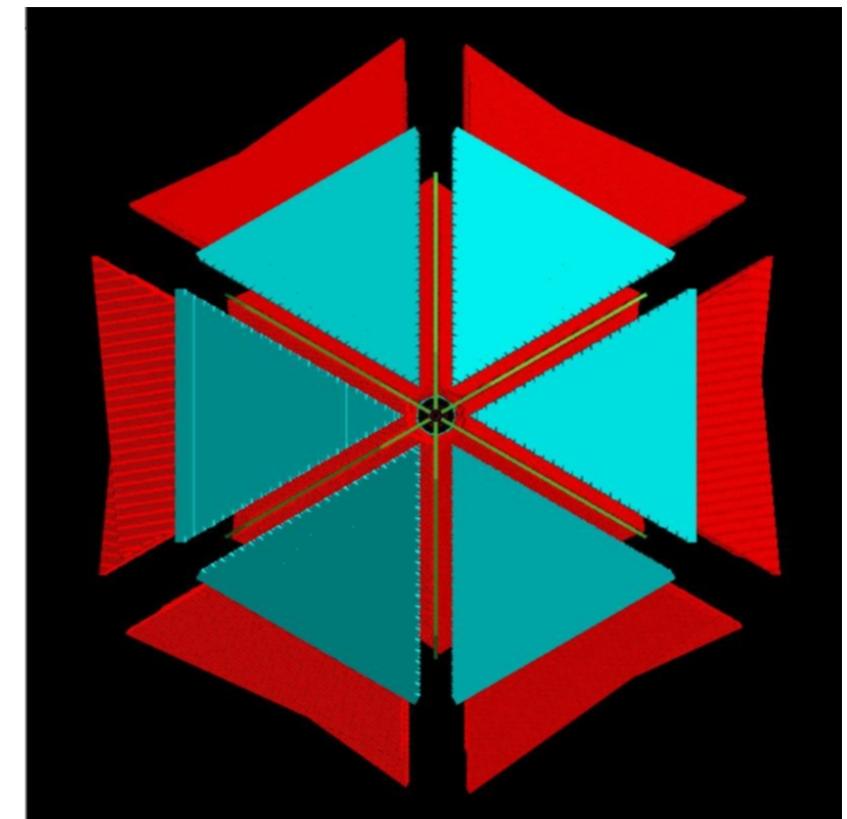
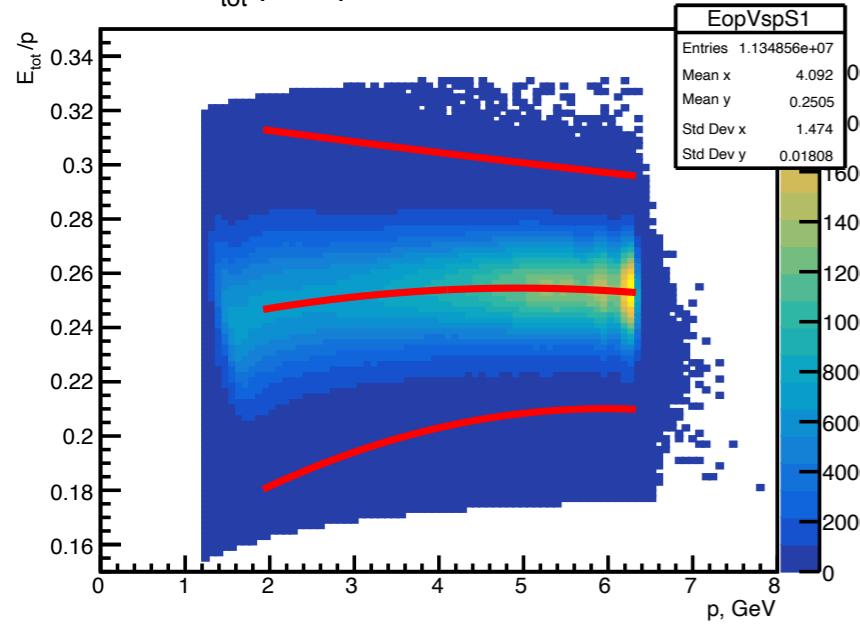


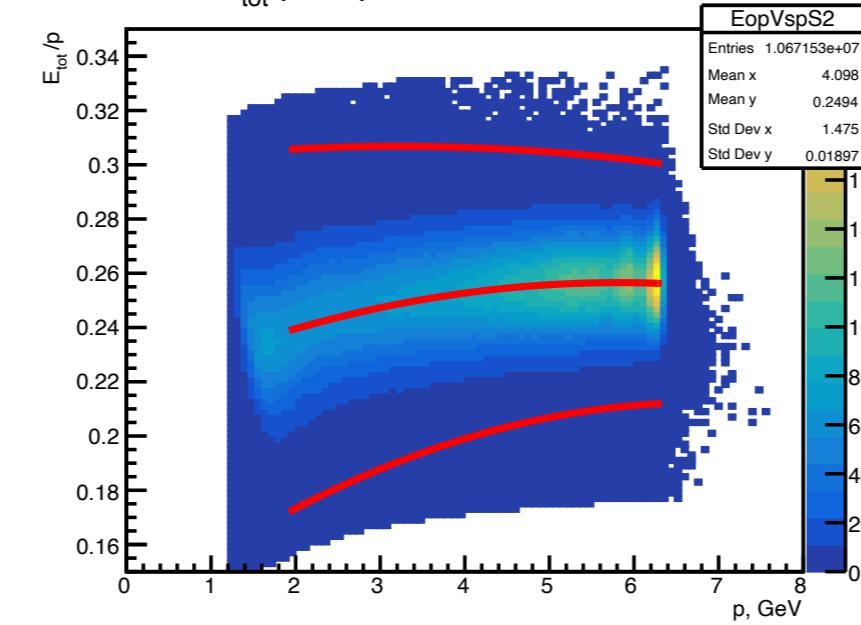
Схема переднего
электромагнитного калориметра

Отбор по энергии, оставленной в калориметре (E_{tot})

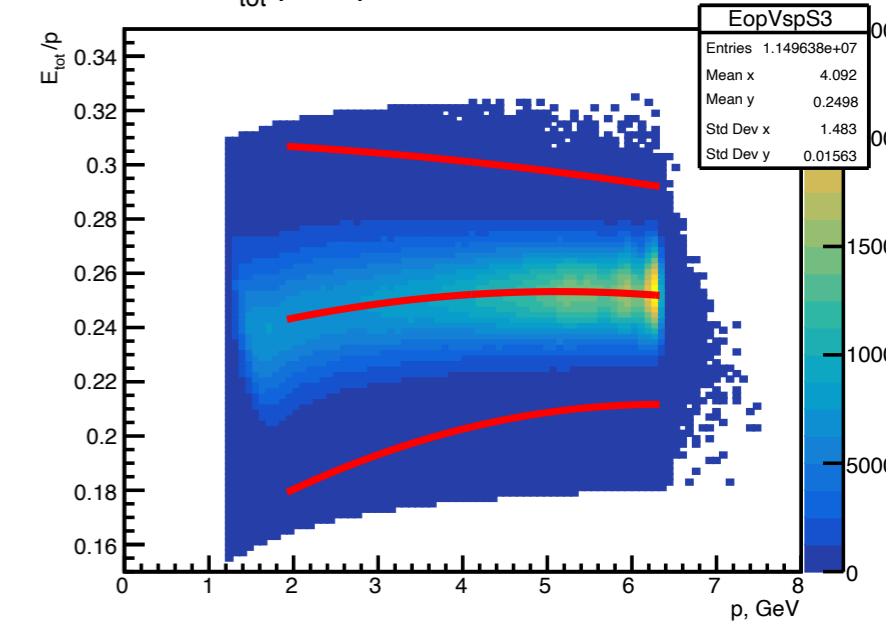
E_{tot}/p Vs p for the electron in S1



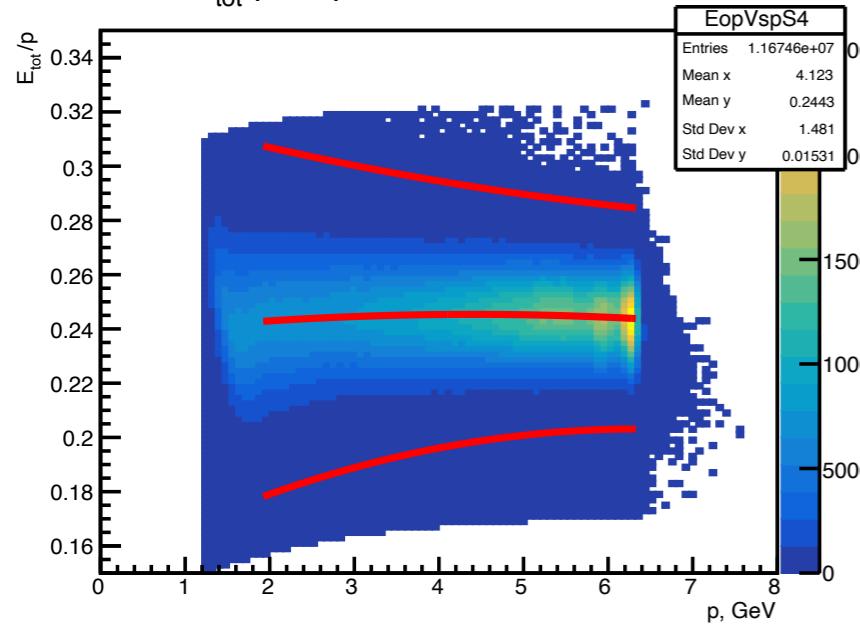
E_{tot}/p Vs p for the electron in S2



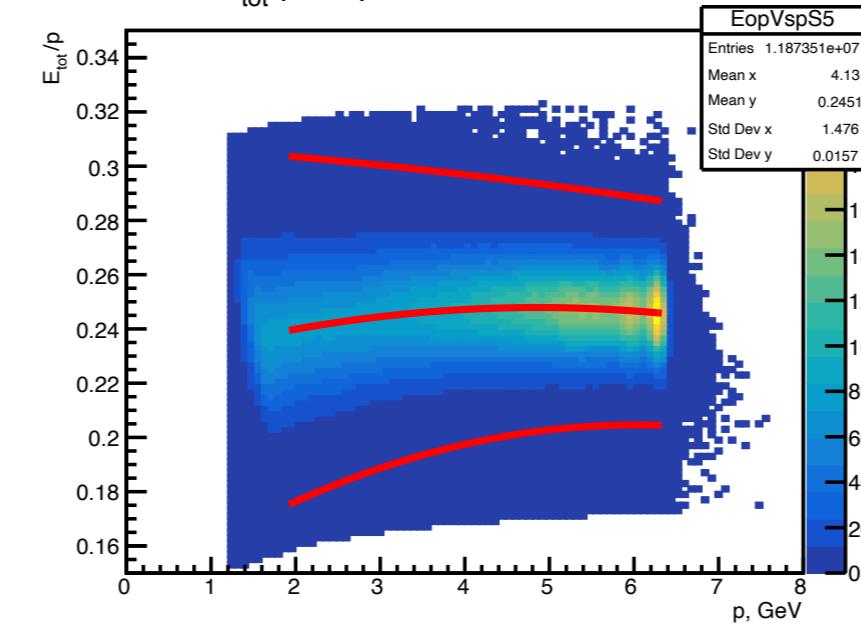
E_{tot}/p Vs p for the electron in S3



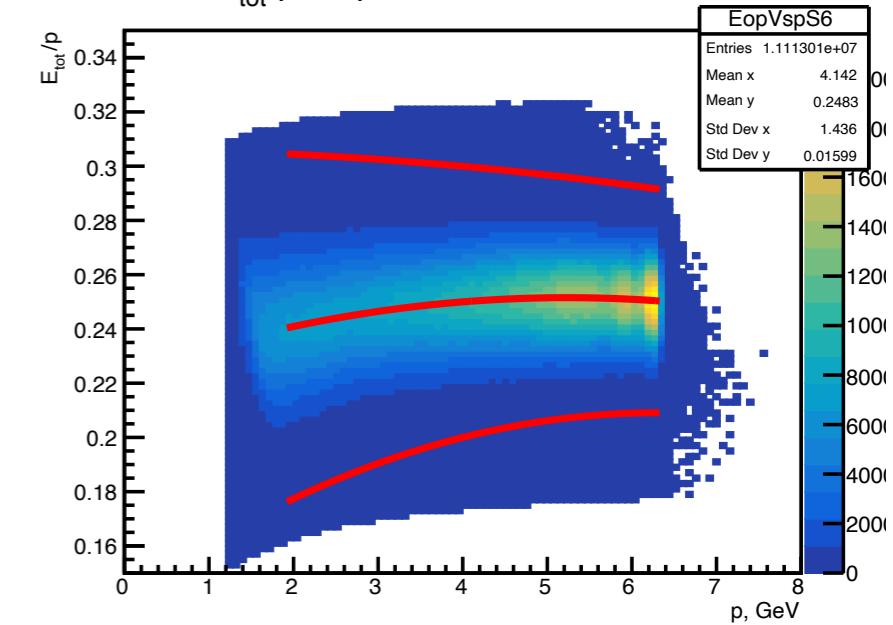
E_{tot}/p Vs p for the electron in S4



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



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



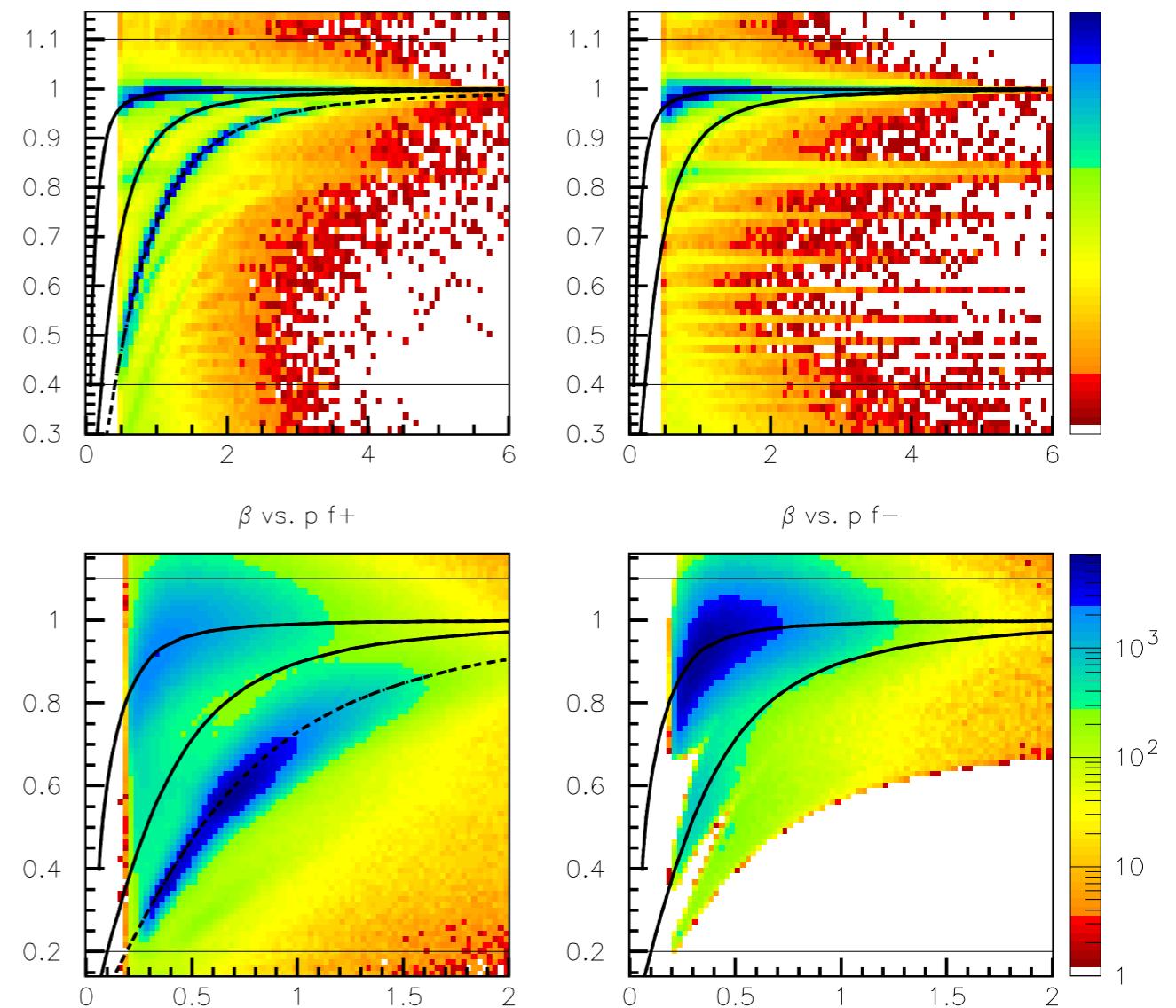
Параметризация стандартного отбора по (E_{tot}) в 3.5 сигма

- -3,5 σ : $p_0 + \frac{p_1 \cdot x}{1000} + \frac{p_2 \cdot x^2}{1000}$
- +3,5 σ : $p'_0 + \frac{p'_1 \cdot x}{1000} + \frac{p'_2 \cdot x^2}{1000}$

параметры секторы	p0	p1	p2	p0'	p1'	p2'
S1	0,145	21,6	-1,81	0,321	-4,58	-0,086
S2	0,134	23,0	-1,07	0,300	4,18	-0,650
S3	0,145	21,1	-1,66	0,309	-0,712	-0,322
S4	0,152	16,1	-1,27	0,322	-8,78	0,434
S5	0,141	21,0	-1,74	0,308	-2,01	-0,211
S6	0,141	21,52	-1,70	0,306	-0,253	-0,328

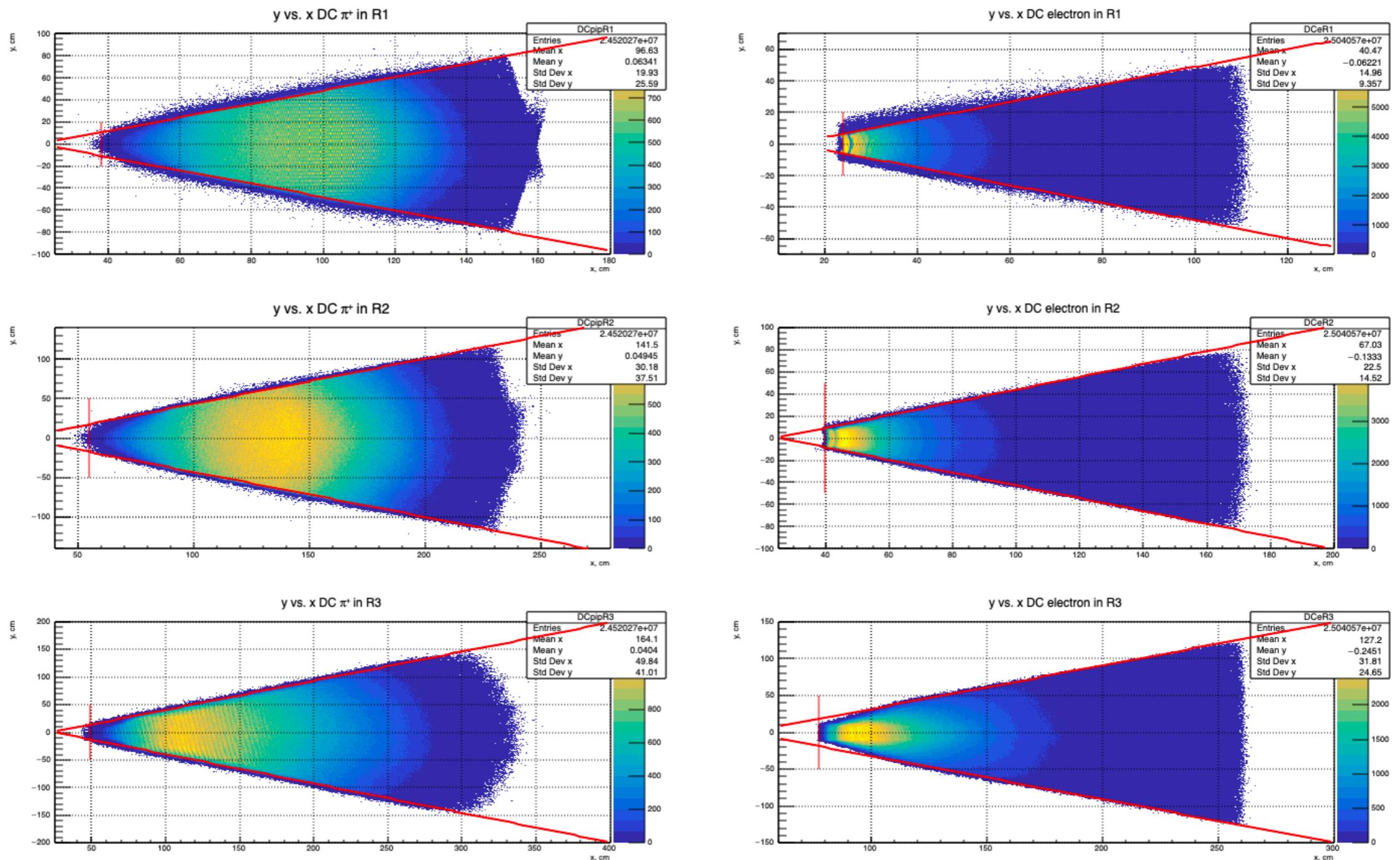
Отборы для адронов

- импульсы адронов ($p_h \geq 0.4$ ГэВ в FD и $p_h \geq 0.2$ ГэВ в CD),
- координата вершины (-10 см $\leq vZ_h \leq 2$ см),
- β vs. p отбор,
- геометрические отборы в дрейфовой камере



Распределения β vs. p для положительных (слева) и отрицательных (справа) адронов в FD (сверху) и CD (снизу).

Геометрические отборы в дрейфовой камере



Геометрические отборы в дрейфовой камере

электрон/π-

R1

R2

R3

$$y < 0,556*x - 6,878 \quad 0,578*x - 13,898 \quad 0,591*x - 27,459$$

$$y > -0,56*x + 7,482 \quad -0,577*x + 14,851 \quad -0,588*x + 26,912$$

$$x > 24,052 \quad 39,705 \quad 77,755$$

протон/π+

R1

R2

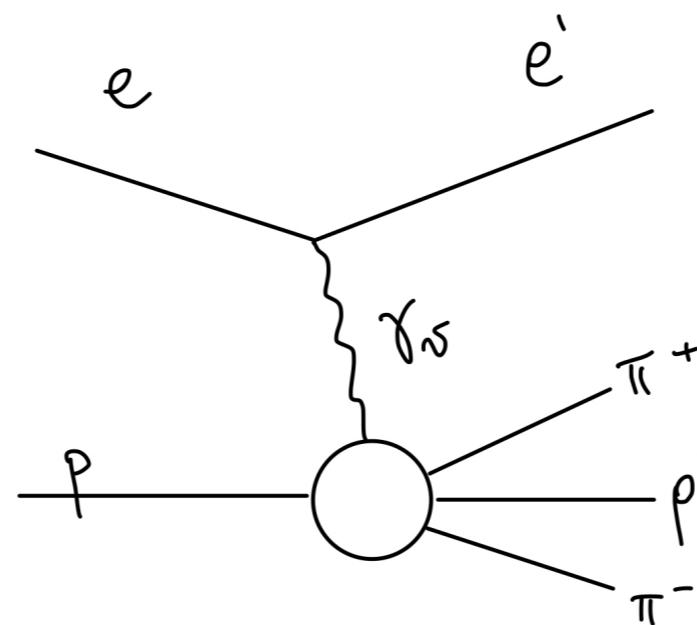
R3

$$y < 0,610*x - 12,720 \quad 0,573*x - 13,949 \quad 0,527*x - 11,998$$

$$y > -0,604*x + 12,159 \quad -0,569*x + 13,891 \quad -0,530*x + 13,372$$

$$x > 38,02 \quad 54,88 \quad 49,0$$

Расчет недостающих массы и энергии для реакции



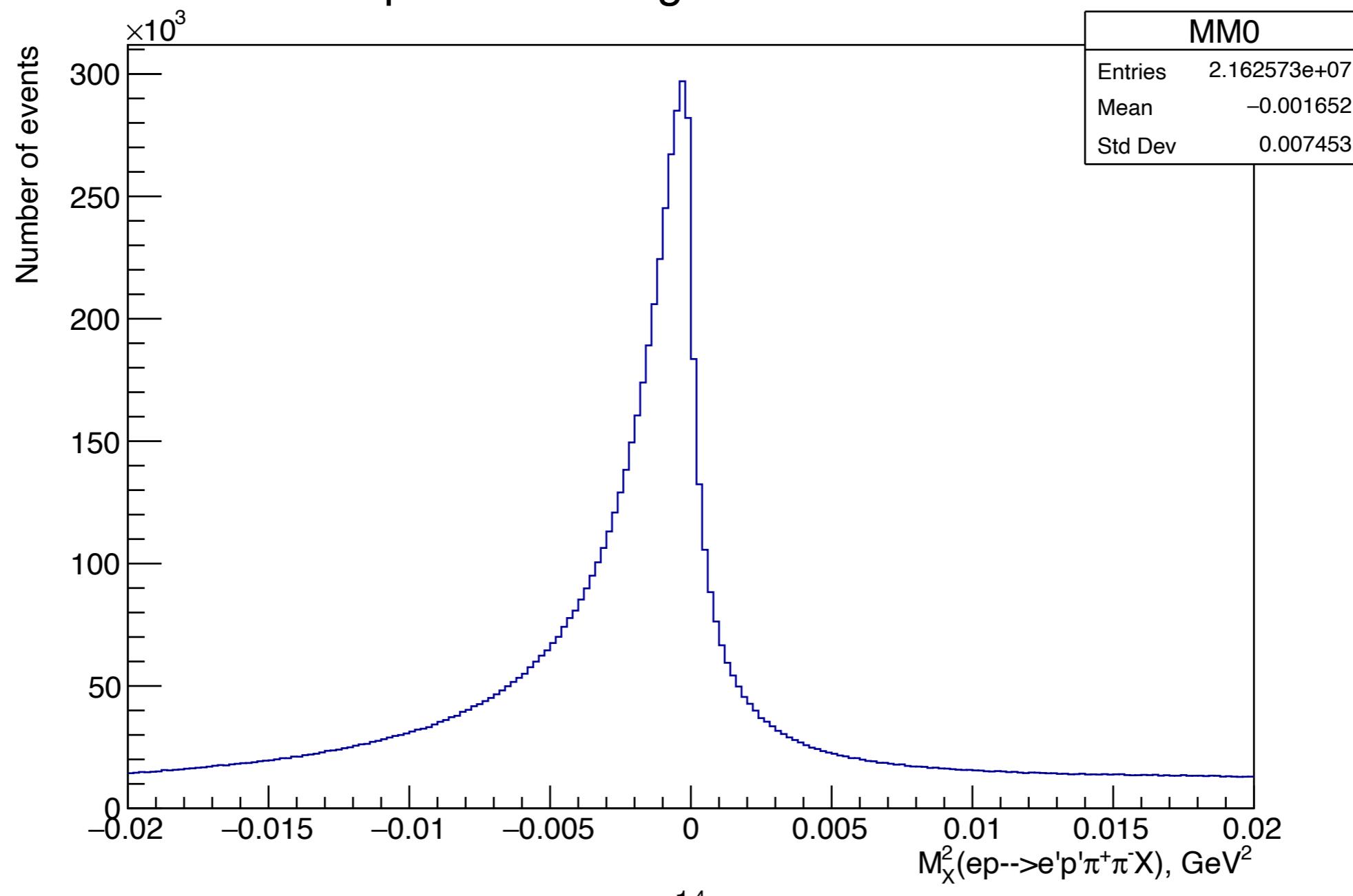
$$MM_X^2 = (p_{\gamma_v} + p_p - (p_{p'} + p_{\pi^+} + p_{\pi^-}))^2$$

$$ME_X = E_{\gamma_v} + E_p - (E_{p'} + E_{\pi^+} + E_{\pi^-})$$

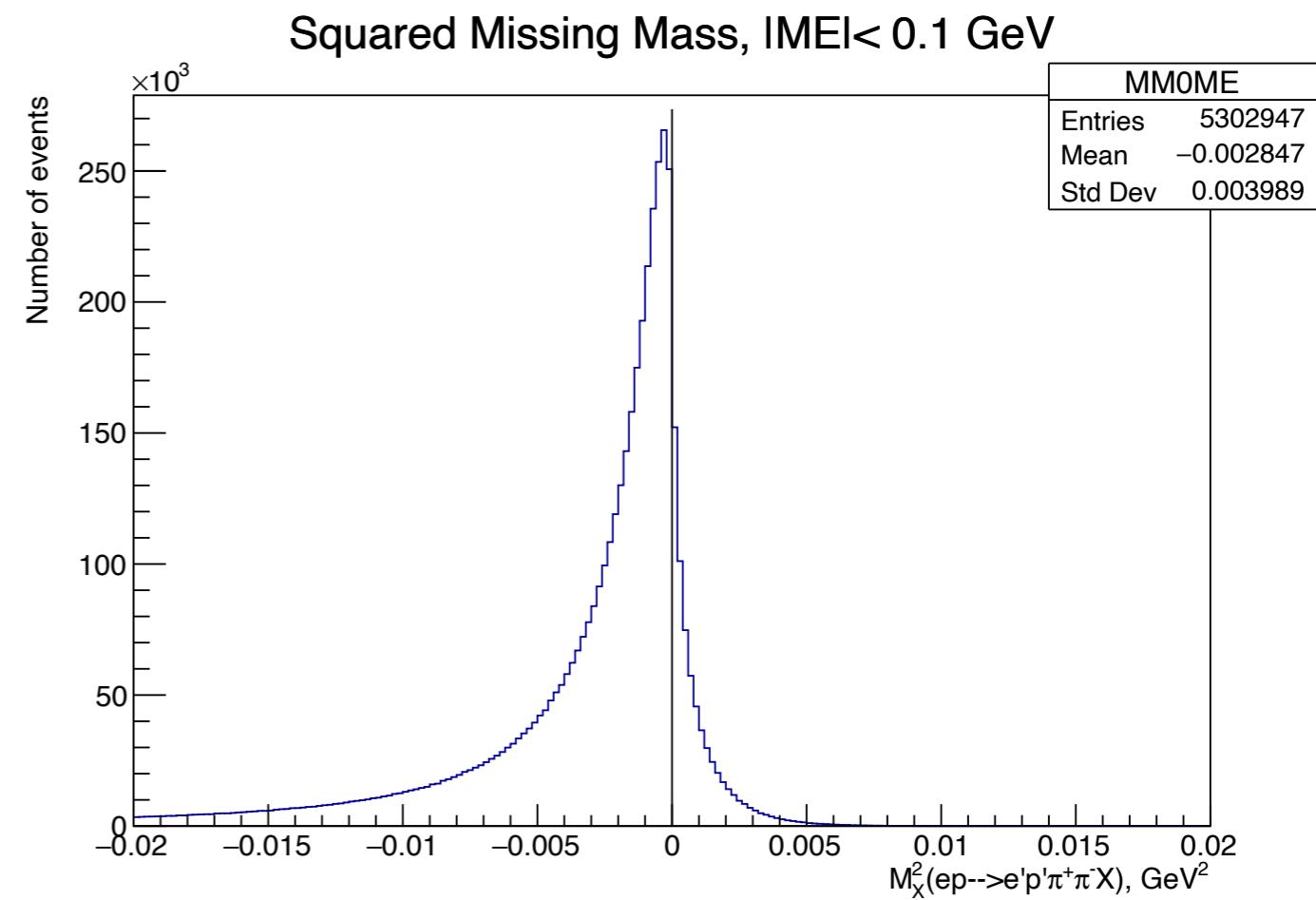
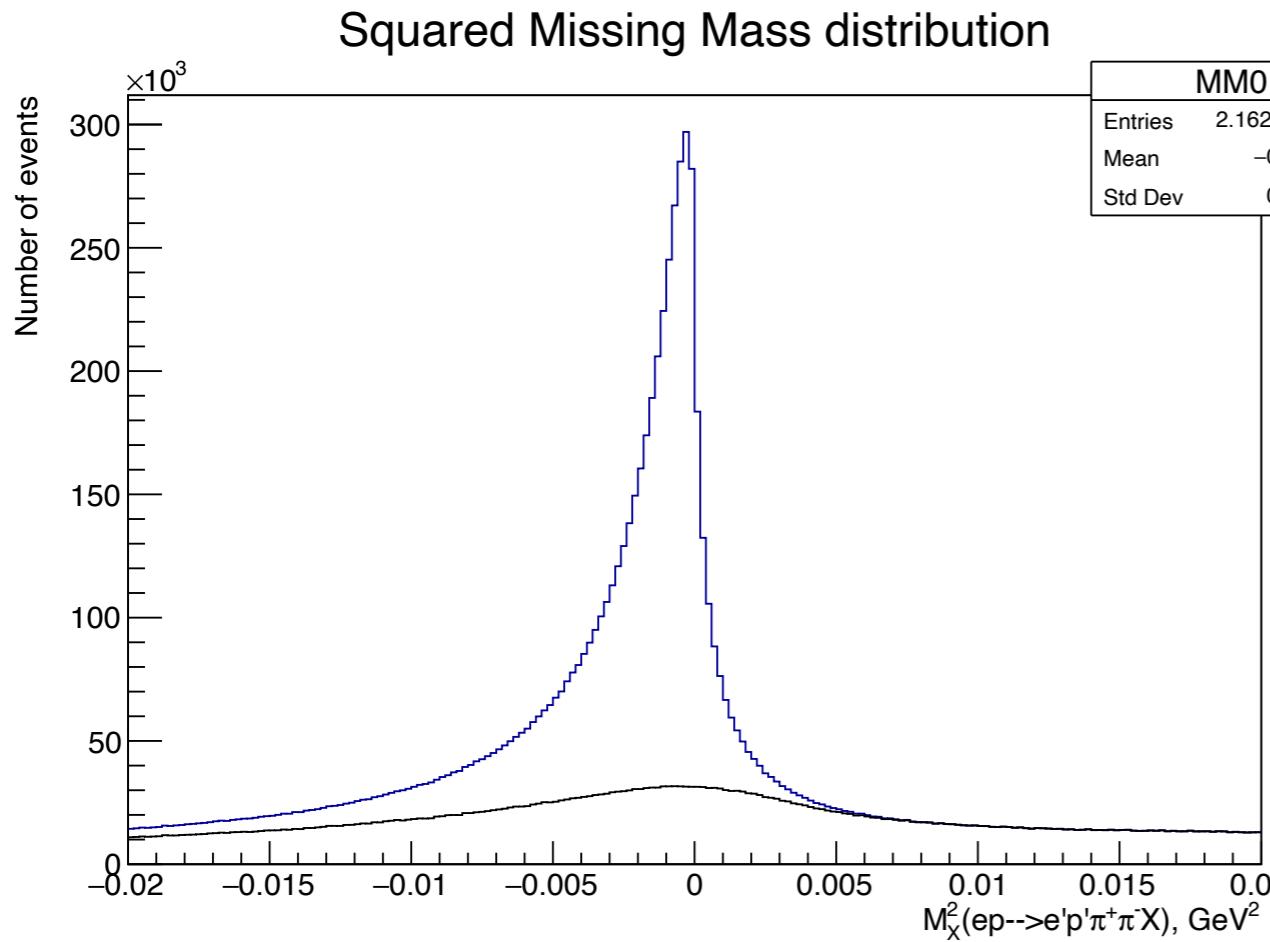
Квадрат недостающей массы

$ep \rightarrow e\pi^+\pi^-p$

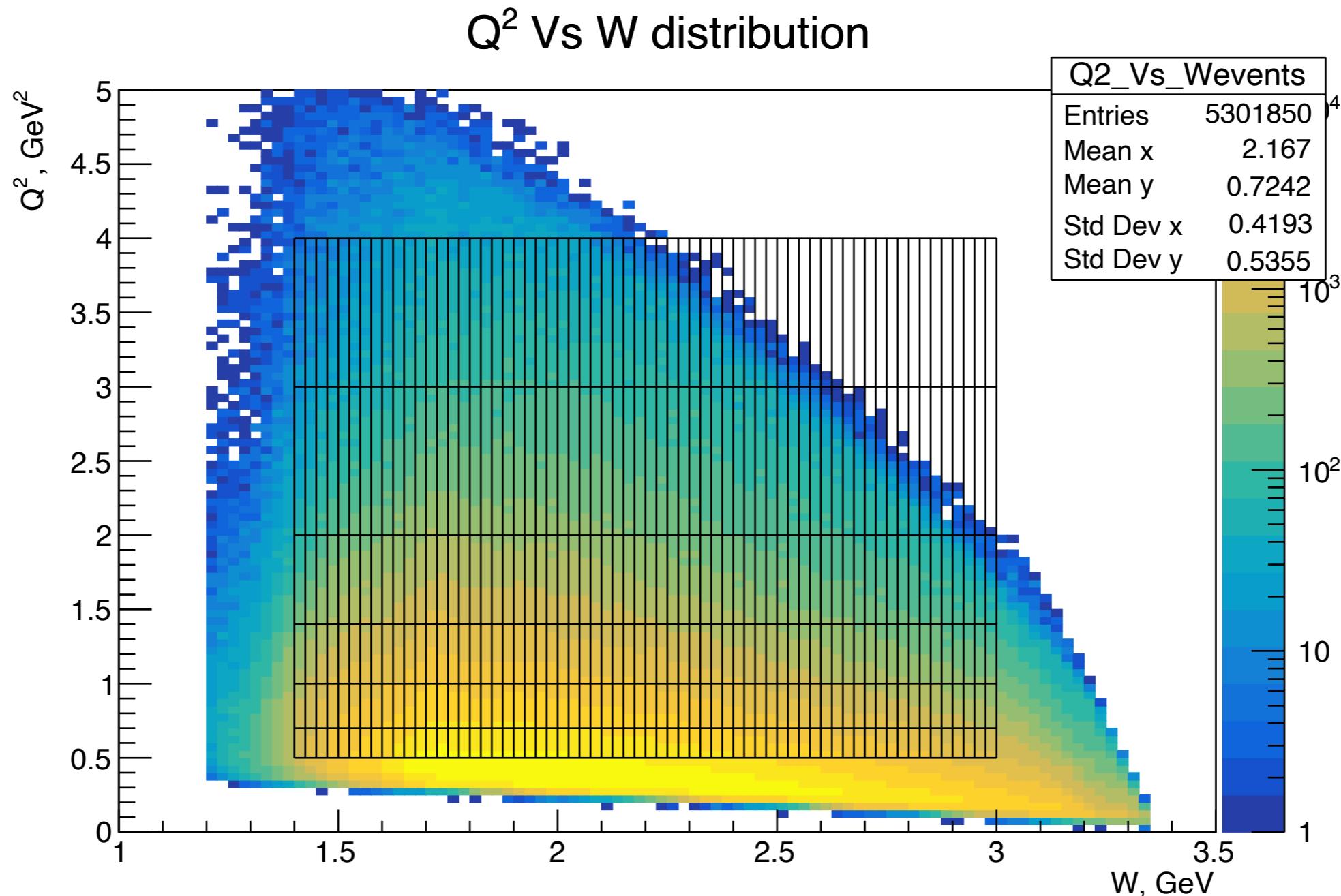
Squared Missing Mass distribution



Отбор по недостающей энергии

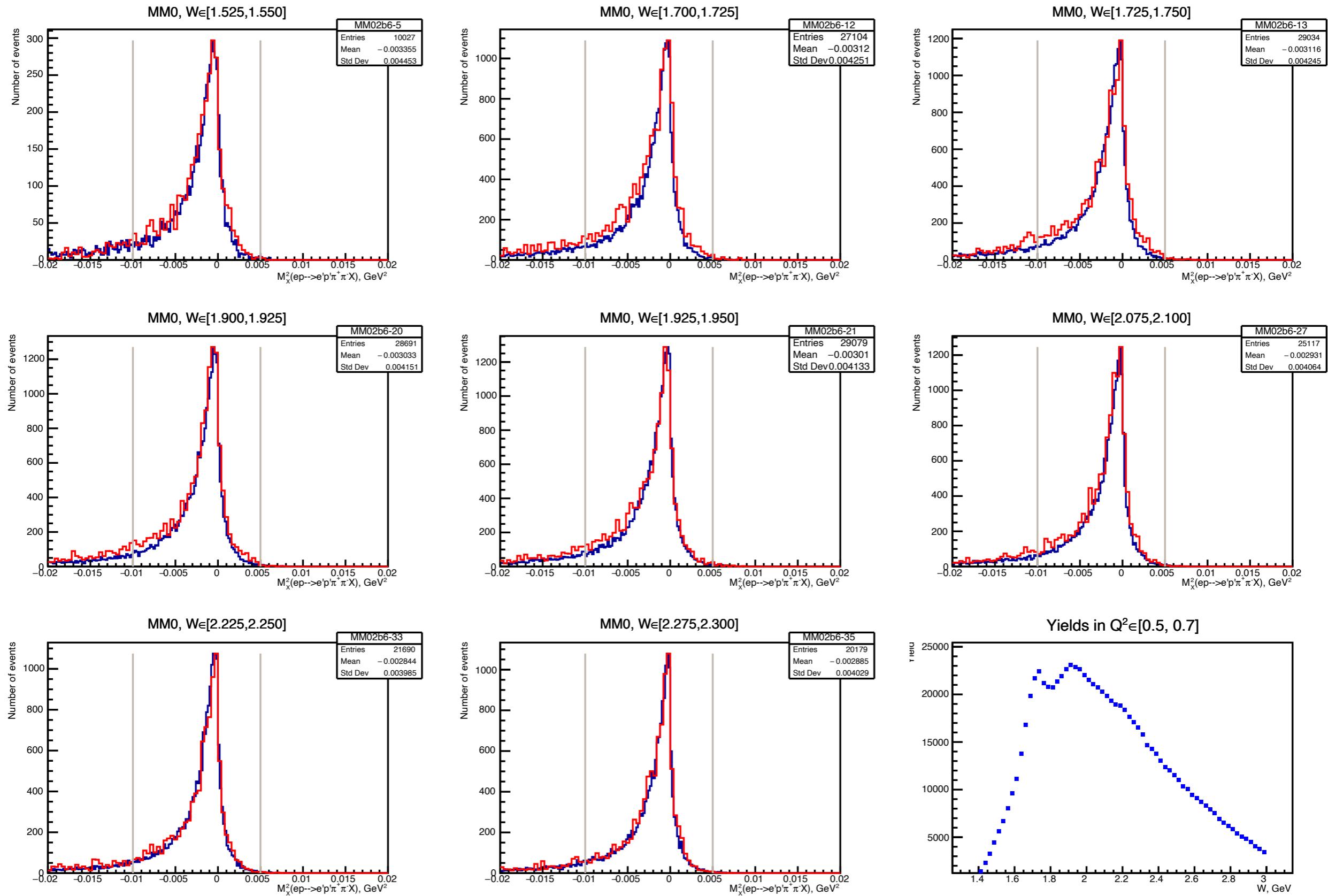


Выделение событий реакции в срезах по W и Q^2

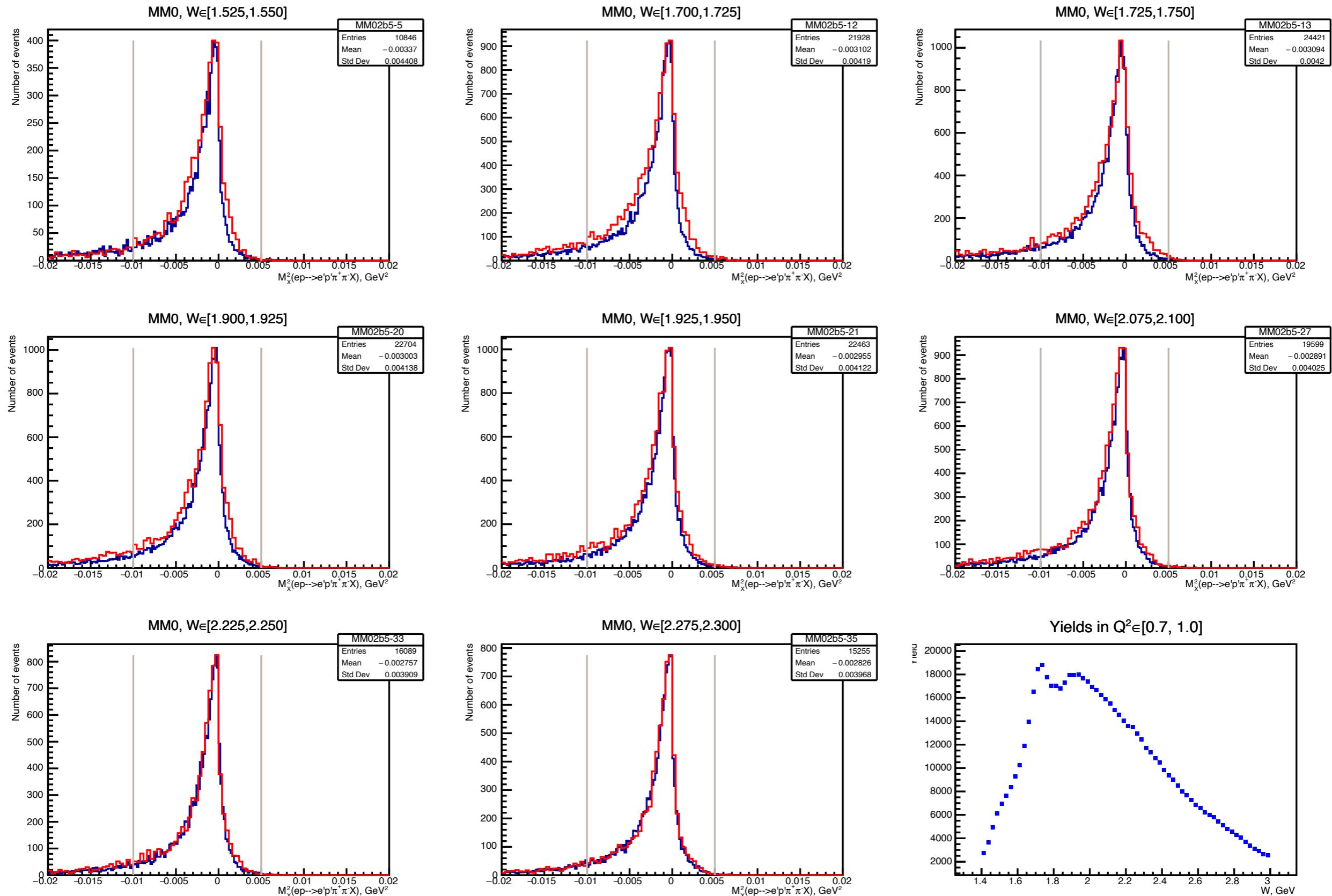


Получение данных моделирования

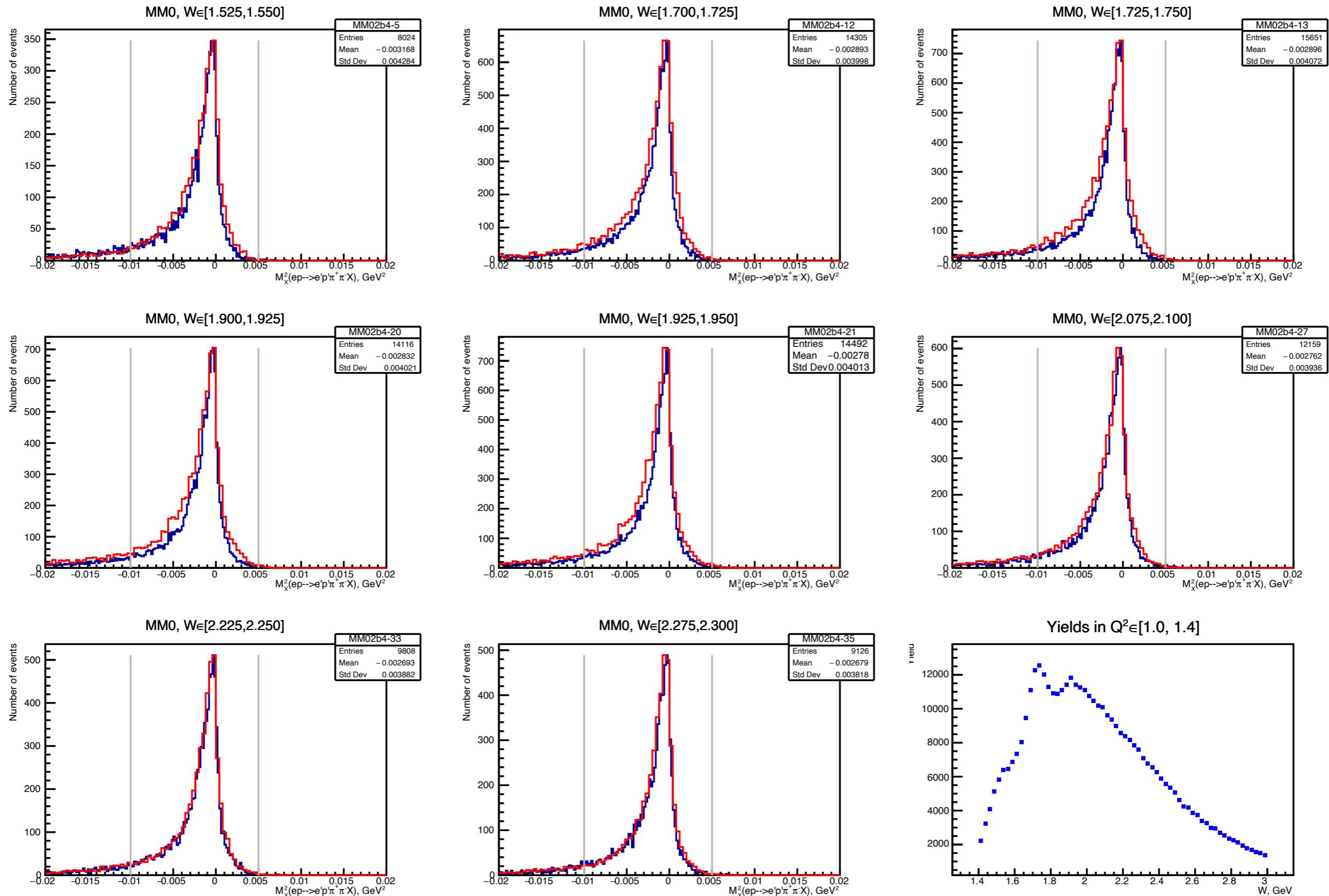
Project	CLAS12
Configuration	rgk_fall2018_FTOff
Magnetic Fields	tor+1.00_sol-1.00
Generator	twopieg
Generator Options	--ebeam 6.535 --wmin 1.1 --wmax 3.5 -- q2min 0.4 --q2max 6.0 --thmin 1.0 -- thmax 50.0 --emin 1.0 --trad 0.0 --tlen 5.0 --toff -3.0 --twlen 30.0 --twflen 30.0 -- flagbos 0 --flagrad 2
Number of Events / Job	10000
Number of Jobs	10000
Total Number of Events	100 M
Fields:	tor+1.00_sol-1.00 M
Background Merging	60nA_6535MeV M



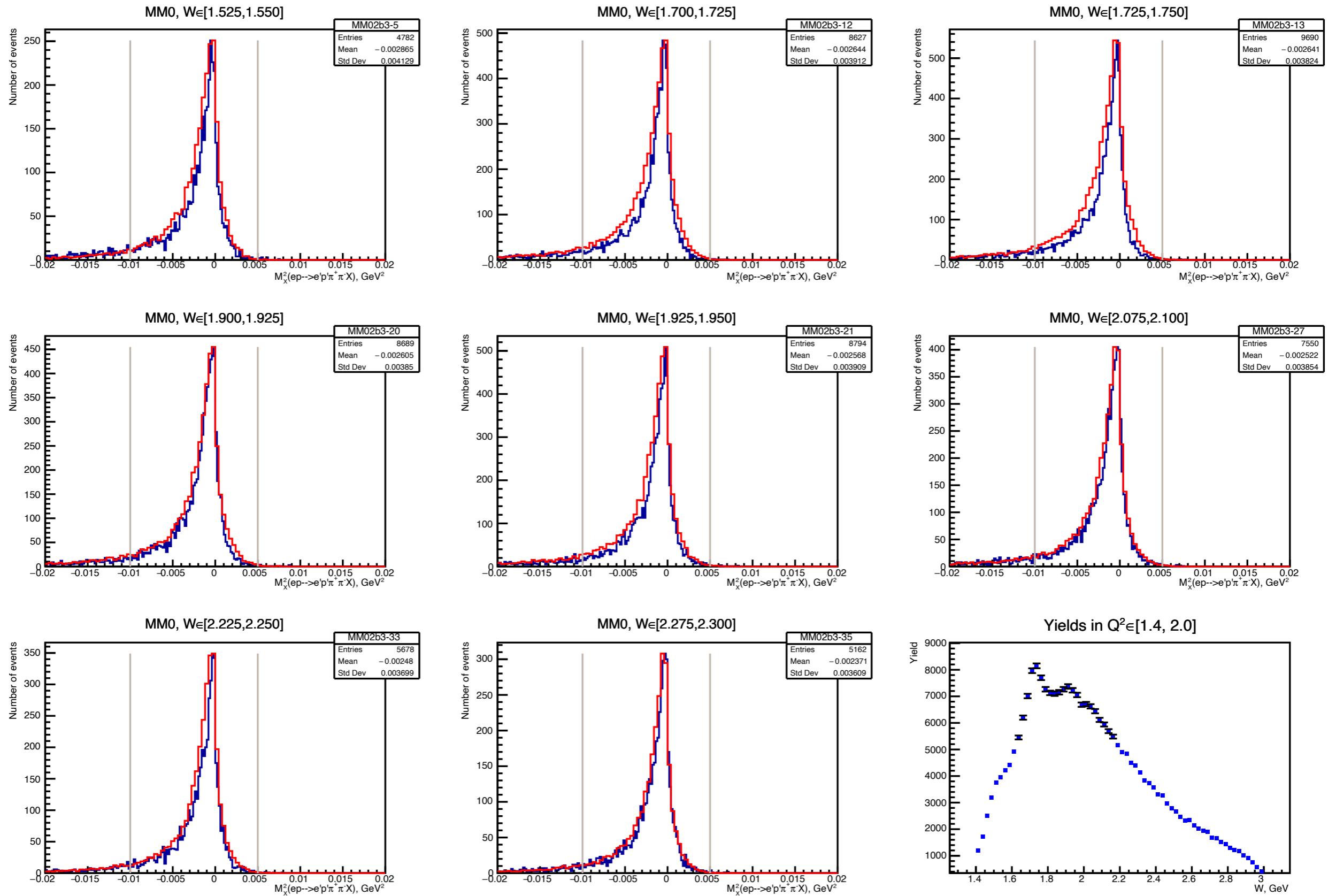
Распределения квадрата недостающей массы в некоторых ячейках по W и Q^2 , результаты моделирования показаны красным, экспериментальные данные синим, к данным моделирования применено уширение с учетом реальных разрешений



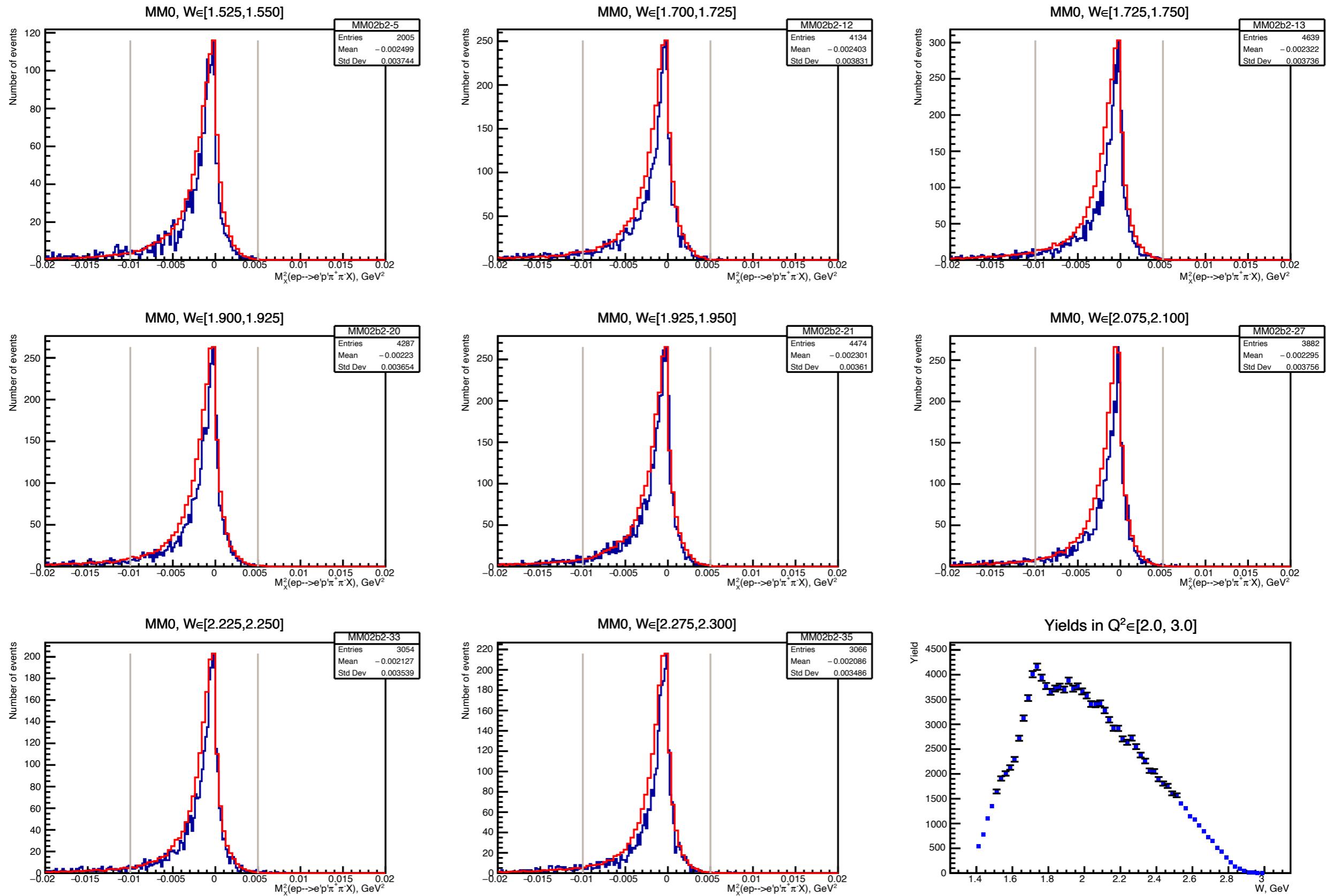
Распределения квадрата недостающей массы в некоторых ячейках по W и Q^2 , результаты моделирования показаны красным, экспериментальные данные синим, к данным моделирования применено уширение с учетом реальных разрешений



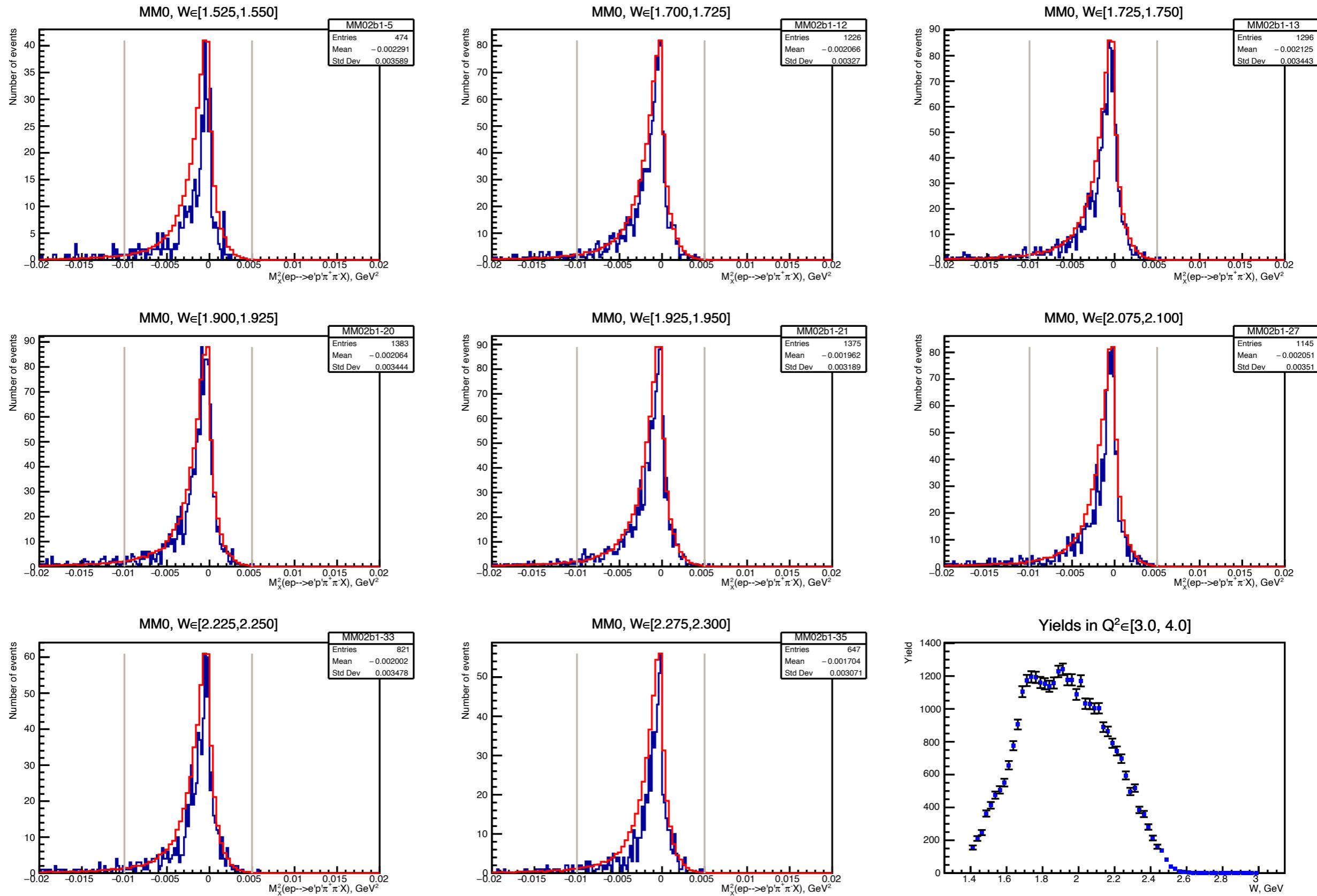
Распределения квадрата недостающей массы в некоторых ячейках по W и Q^2 , результаты моделирования показаны красным, экспериментальные данные синим, к данным моделирования применено уширение с учетом реальных разрешений



Распределения квадрата недостающей массы в некоторых ячейках по W и Q^2 , результаты моделирования показаны красным, экспериментальные данные синим, к данным моделирования применено уширение с учетом реальных разрешений



Распределения квадрата недостающей массы в некоторых ячейках по W и Q^2 , результаты моделирования показаны красным, экспериментальные данные синим, к данным моделирования применено уширение с учетом реальных разрешений

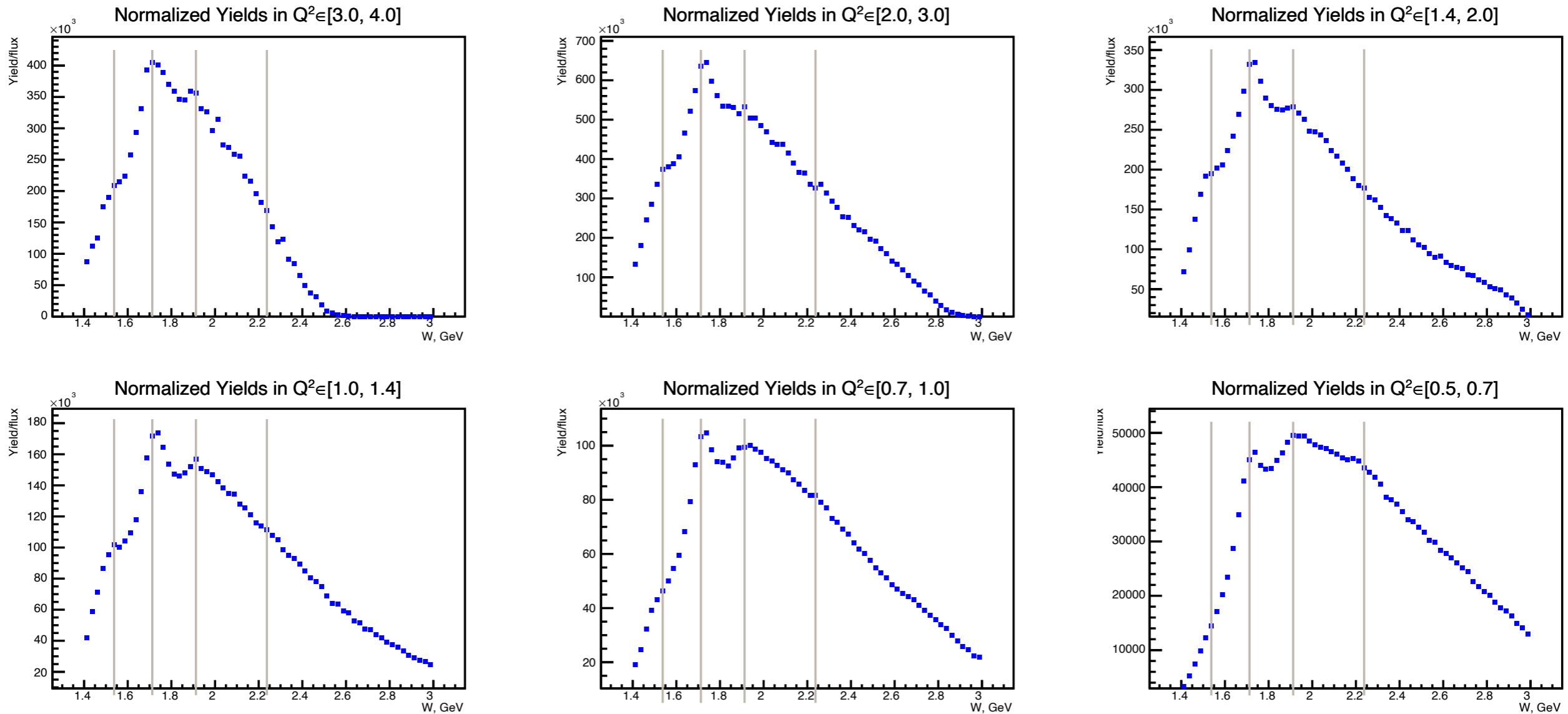


Распределения квадрата недостающей массы в некоторых ячейках по W и Q^2 , результаты моделирования показаны красным, экспериментальные данные синим, к данным моделирования применено уширение с учетом реальных разрешений

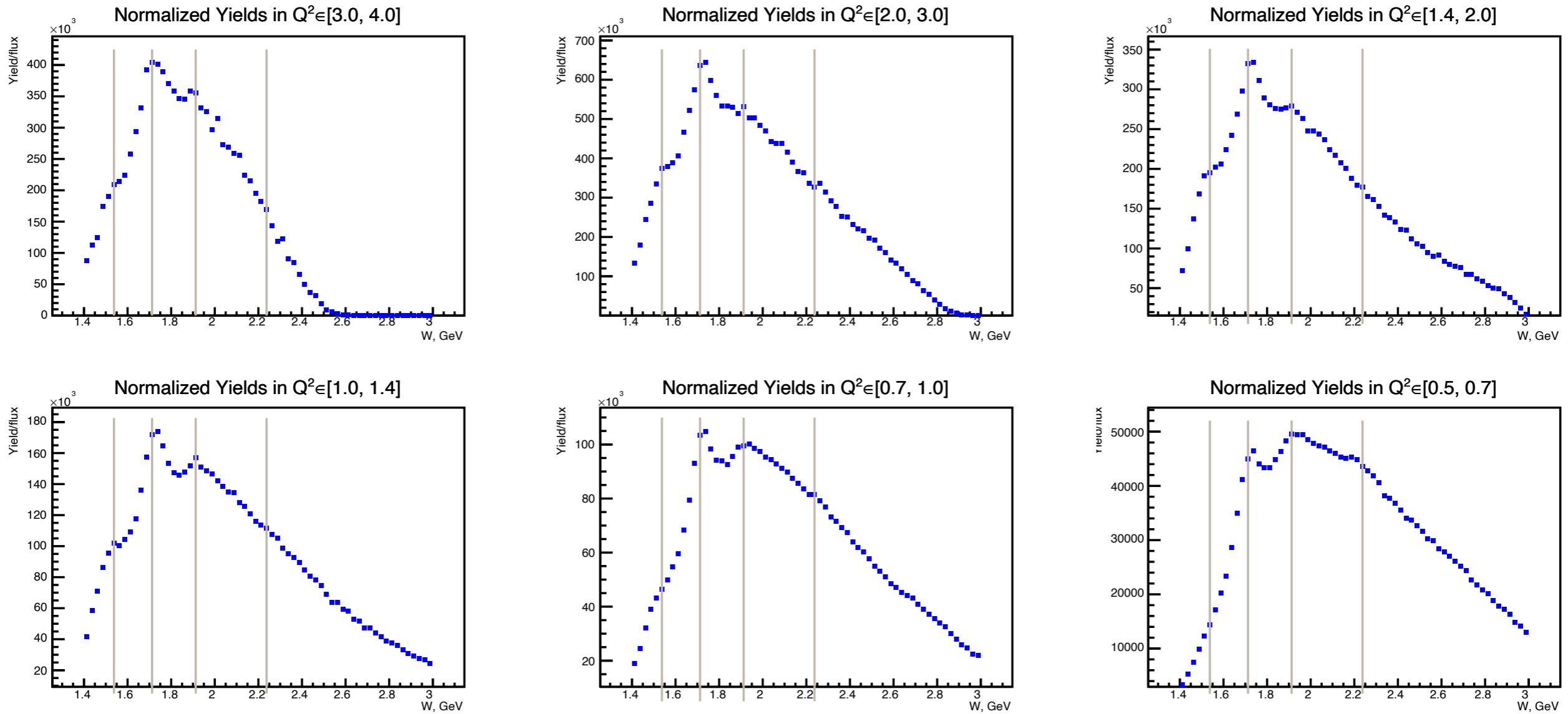
Выходы, нормированные на поток виртуальных фотонов

$$\frac{\text{число событий}}{dW dQ^2 \cdot \Gamma_v},$$

$$\frac{d^7 \sigma_e}{dW dQ^2 d^5 \tau} \frac{1}{\Gamma_v} = \frac{d^5 \sigma_{\gamma v}}{d^5 \tau}$$



Выходы, нормированные на поток виртуальных фотонов



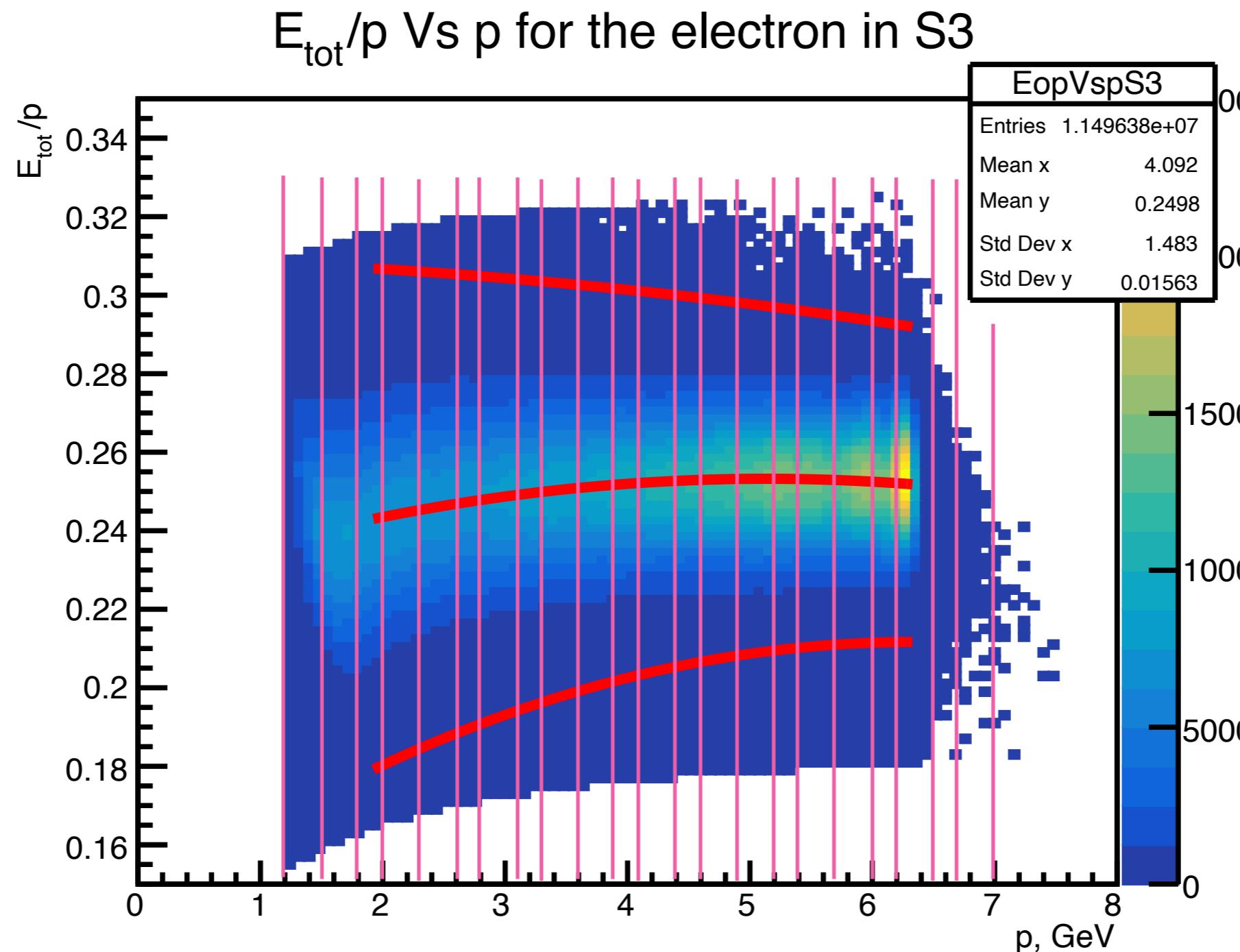
**Наблюдаются структуры при $W = \sim 1.5$ ГэВ, ~ 1.7 ГэВ, ~ 1.9 ГэВ, (возможно
при 2.2 ГэВ)**

Выводы

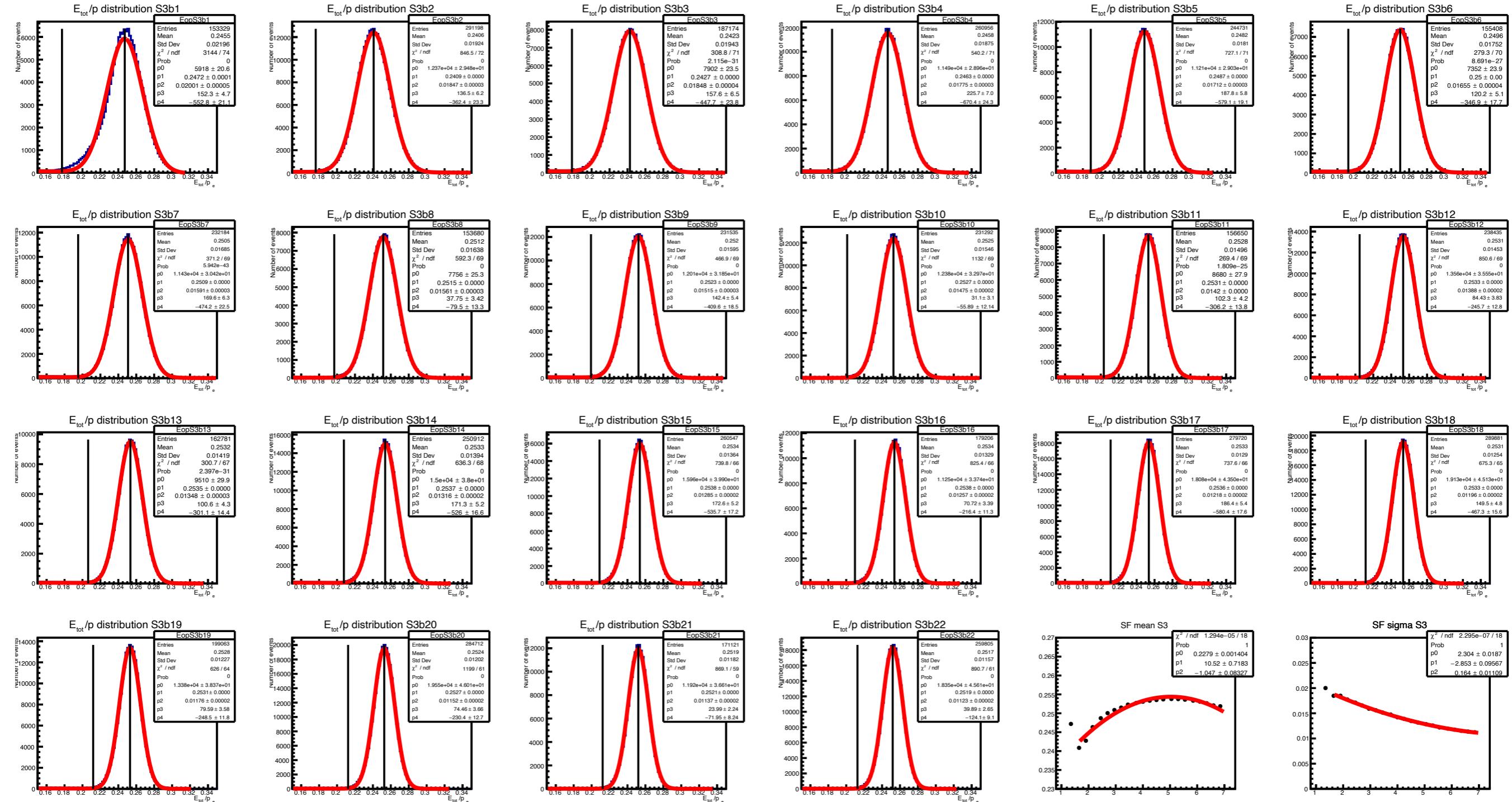
- Была сделана обработка данных CLAS12 по выделению событий двухпионного электророждения. Получены выходы реакции в ячейках по W и Q^2 .
- Новые данные с CLAS12 перекрывают по кинематической области предыдущие данные с CLAS, а также открывают область, где возможно обнаружение более тяжелых нуклонных резонансов и гибридных состояний.
- По результатам работы была опубликована статья «Отбор событий реакции $e p \rightarrow e p^+ p^- p$ из экспериментальных данных детектора CLAS12» в Ученых записках физического факультета, были выполнены доклады на конференции «Ядро-2022», «Ломоносов-2022» (был получен статус победителя).

Спасибо за внимание!

Отбор по энергии, оставленной в калориметре (E_{tot})



Одномерные распределения в срезах по импульсу

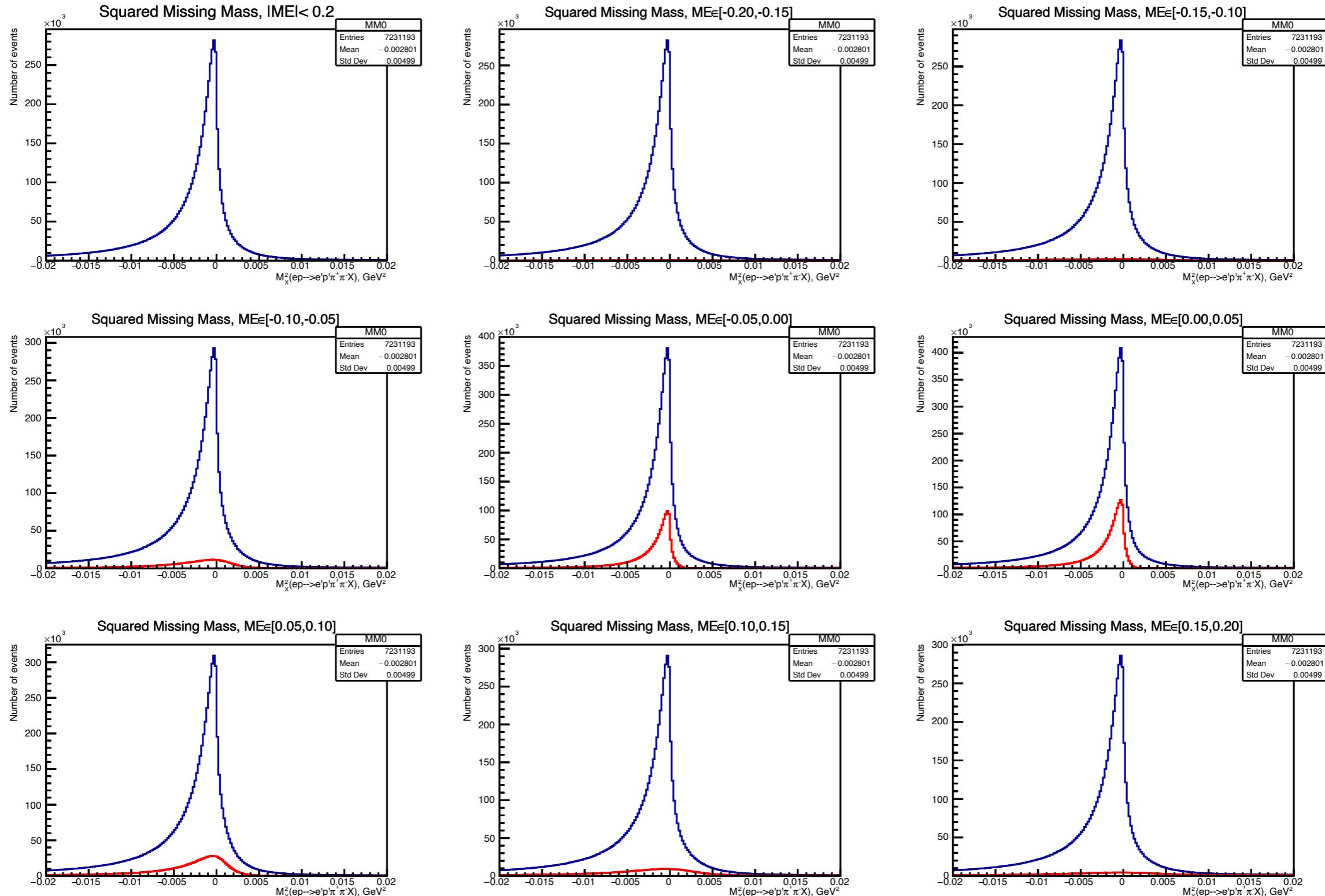


Параметризация стандартного отбора по (E_{tot}) в 3.5 сигма

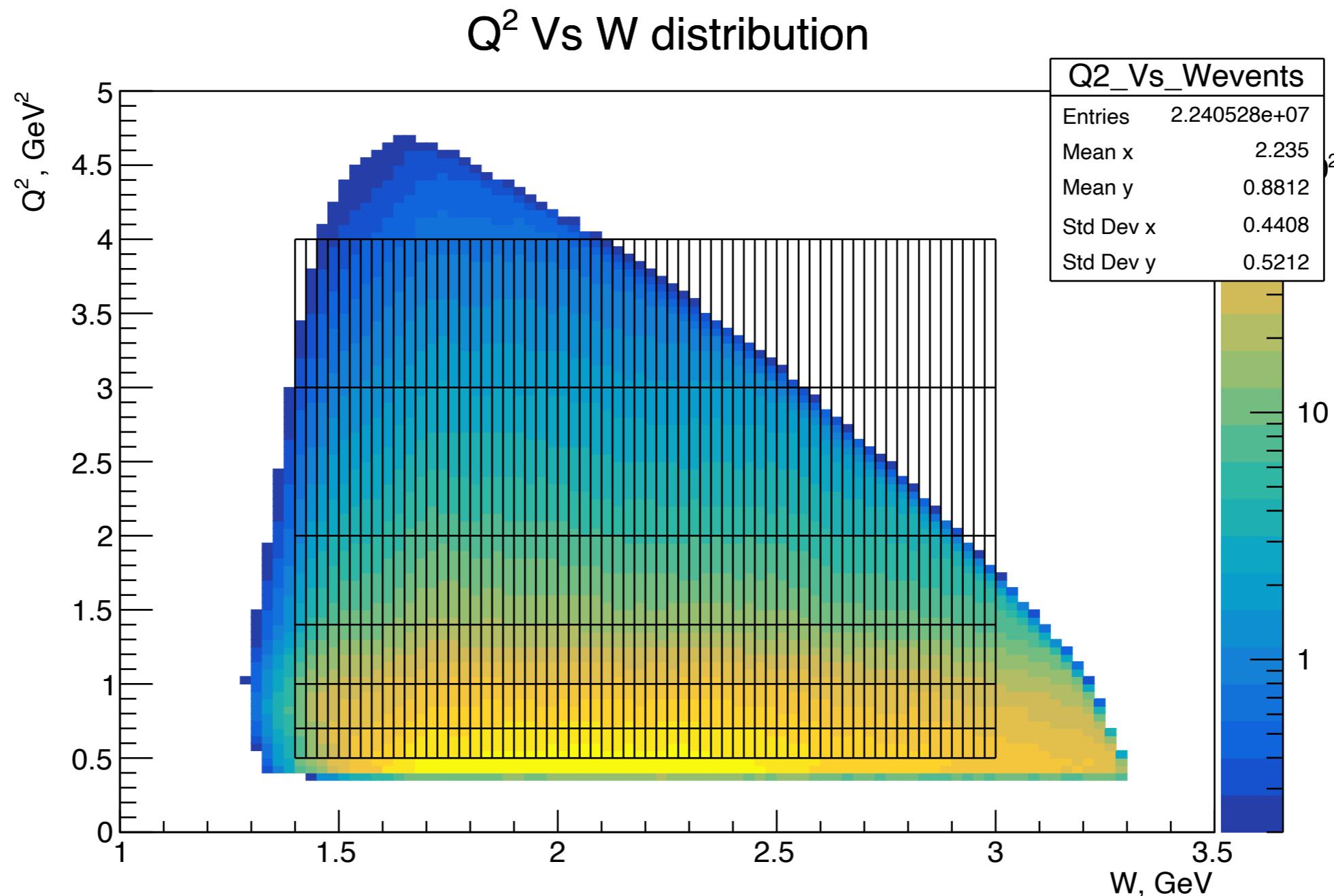
- -3,5 σ : $p_0 + \frac{p_1 \cdot x}{1000} + \frac{p_2 \cdot x^2}{1000}$
- +3,5 σ : $p'_0 + \frac{p'_1 \cdot x}{1000} + \frac{p'_2 \cdot x^2}{1000}$

параметры секторы	p0	p1	p2	p0'	p1'	p2'
S1	0,145	21,6	-1,81	0,321	-4,58	-0,086
S2	0,134	23,0	-1,07	0,300	4,18	-0,650
S3	0,145	21,1	-1,66	0,309	-0,712	-0,322
S4	0,152	16,1	-1,27	0,322	-8,78	0,434
S5	0,141	21,0	-1,74	0,308	-2,01	-0,211
S6	0,141	21,52	-1,70	0,306	-0,253	-0,328

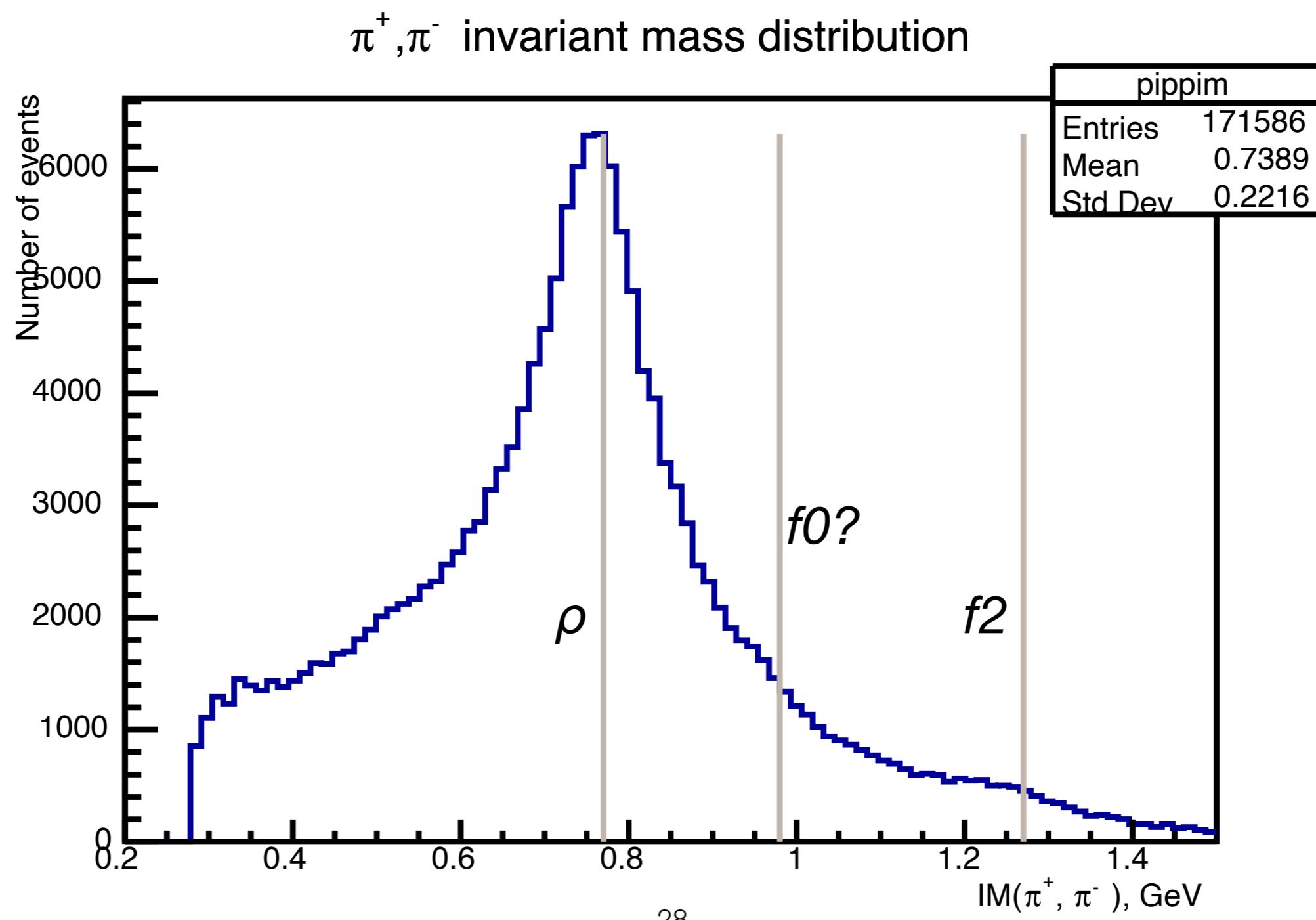
Отбор по недостающей энергии



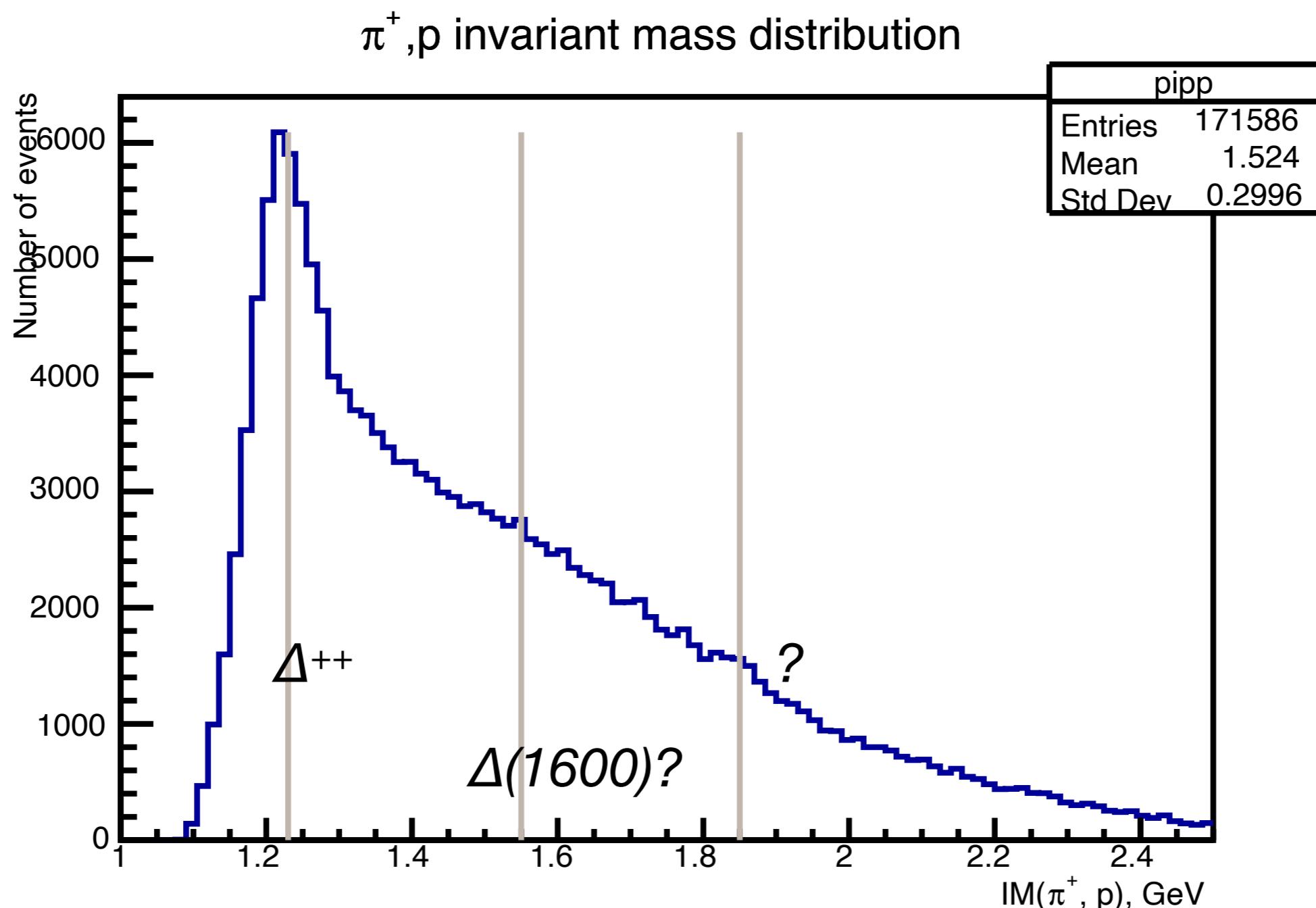
Выделение событий реакции в срезах по W и Q^2 (моделирование)



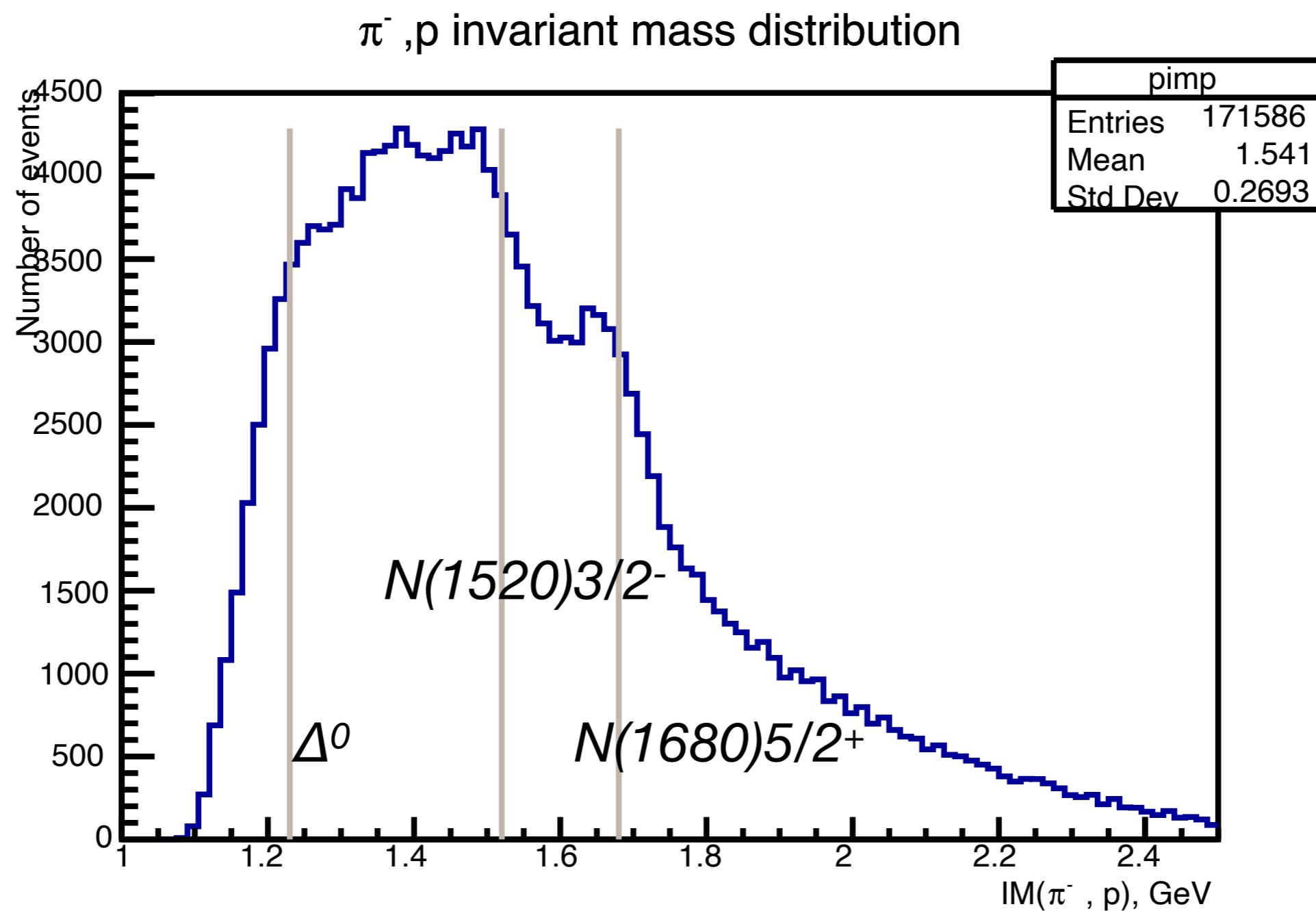
Инвариантная масса пары пионов



Инвариантная масса $\pi^+ p$



Инвариантная масса $\pi^- p$



Перспективы

- В целях получения сечения реакции в дальнейшем будут выделены события в ячейках по 5 кинематическим переменным, будут получены эффективности из данных моделирования.