

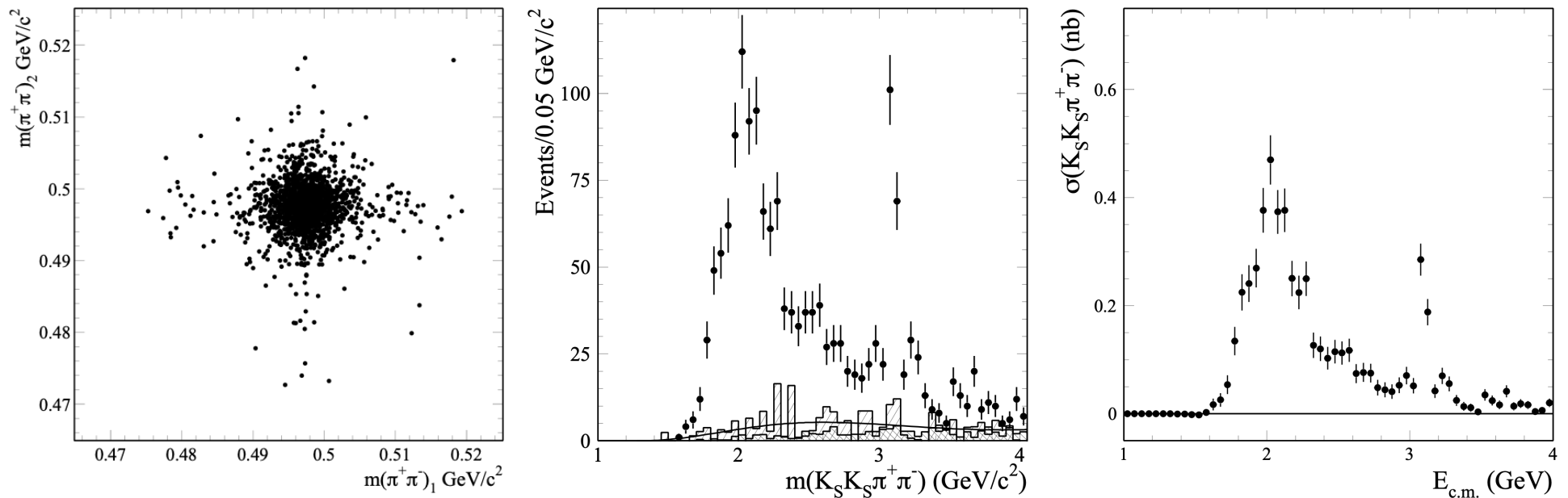
Изучение процесса $e^+e^- \rightarrow K_S^0 K_S^0 \pi^+ \pi^-$ с детектором КМД-3

Е.П.Солодов
КМД-3 коллаборация

Процесс $e^+e^- \rightarrow K_S^0 K_S^0 \pi^+ \pi^-$

Изучался с детектором БаБар в ISR.

Довольно чистый отбор двух $K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$ с отлетом 2-200 мм и двух пионов из пучка.

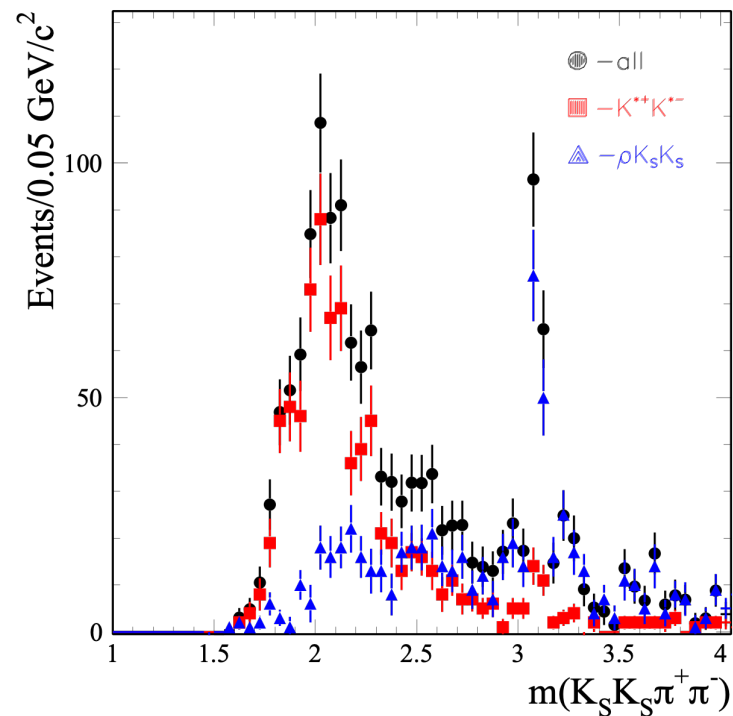
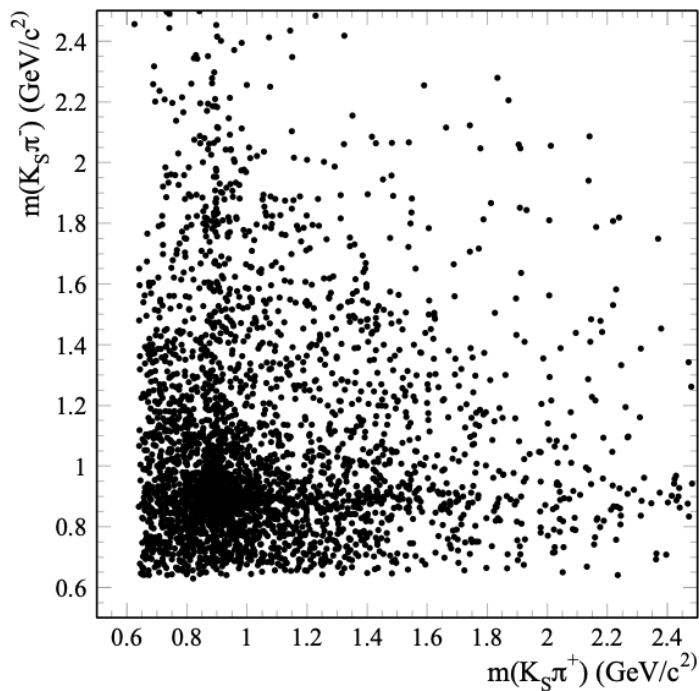


Ниже 2 ГэВ около 500 событий

Процесс $e^+e^- \rightarrow K_S^0 K_S^0 \pi^+ \pi^-$

Промежуточные состояния в деталях не публиковались.

В промежуточном состоянии есть $K^* K_S \pi$, если исключить K^* в $K_S \pi$ комбинациях, то виден ρ - мезон (при больших энергиях), а ниже 2.5 ГэВ доминирует $K^{*+} K^{*-}$



Contribution of missing channels to a_μ

SM-to-experiment comparison [in units 10^{-10}]

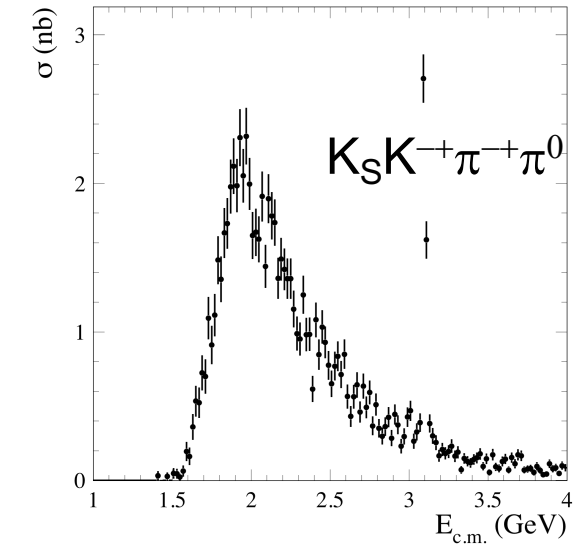
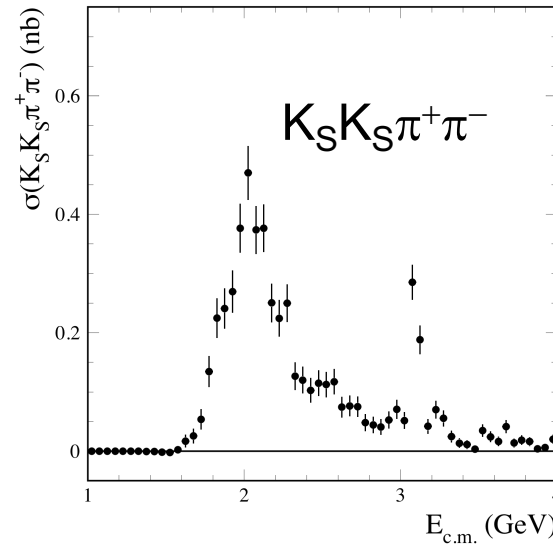
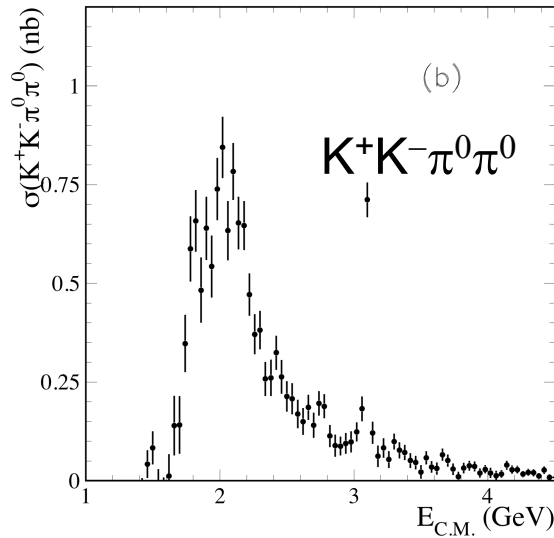
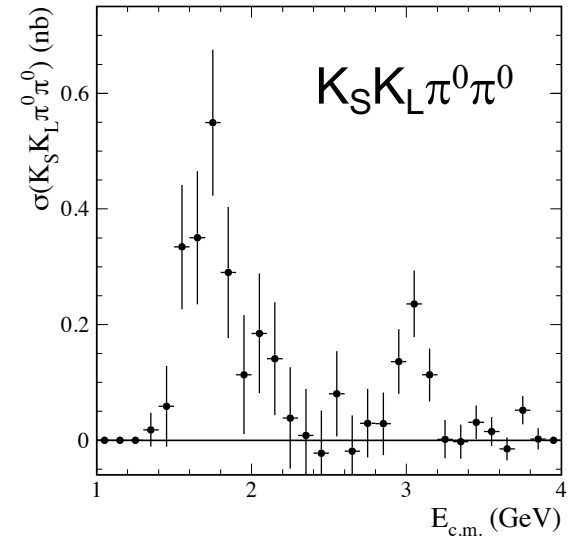
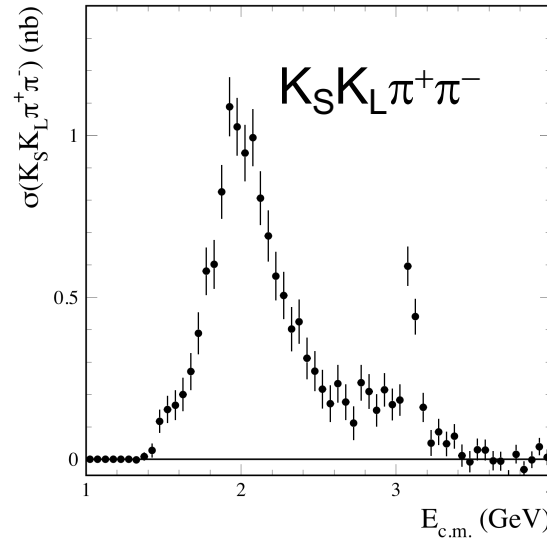
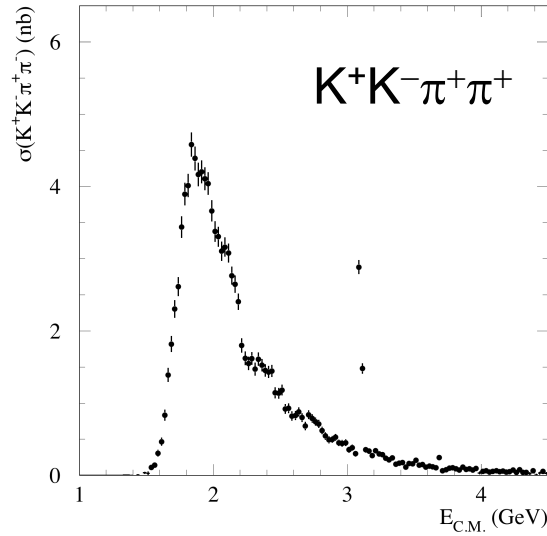
QED	116 584 71.81	± 0.02
Leading hadronic vacuum polarization (VP)	690.30	± 5.26
Sub-leading hadronic vacuum polarization	-10.03	± 0.11
Hadronic light-by-light	11.60	± 3.90
Weak (incl. 2-loops)	15.32	± 0.18
<hr/>		
Theory	11659179.00	± 6.46
Experiment	11659208.00	± 6.30
<hr/>		
Exp – theory	29.00	± 9.03

$a_\mu (\sqrt{s} < 1.8 \text{ GeV})$	K^+K^-	$2(\pi^+ \pi^-)$	$3(\pi^+ \pi^-)$	$2(\pi^+ \pi^- \pi^0)$
without BABAR	21.63 ± 0.70	13.35 ± 0.90	0.10 ± 0.10	1.42 ± 0.30
with BABAR	22.95 ± 0.26	13.64 ± 0.36	0.11 ± 0.02	0.89 ± 0.09

Missing channels contribute 5.98 ± 0.42 for $\sqrt{s} < 1.8 \text{ GeV}$ M. Davier et al., EPJC71(2011)1515
 or 12.46 ± 0.76 for $\sqrt{s} < 2.0 \text{ GeV}$ K. Hagiwara et al. J. Phys. G 38 (2011) 085003

Contribution from $KK\pi$ (2.77 ± 0.15), $KK2\pi$ (3.31 ± 0.58), $2\pi3\pi^0$, $2\pi4\pi^0$, (7π , 8π ...?)
 are added using iso-spin relations

All possible $KK\pi\pi$ combinations are measured – BaBar data



Contribution to $(g-2)_\mu$: (10^{-10} units)

using iso-spin relations 3.31 ± 0.58
 1.35 ± 0.39

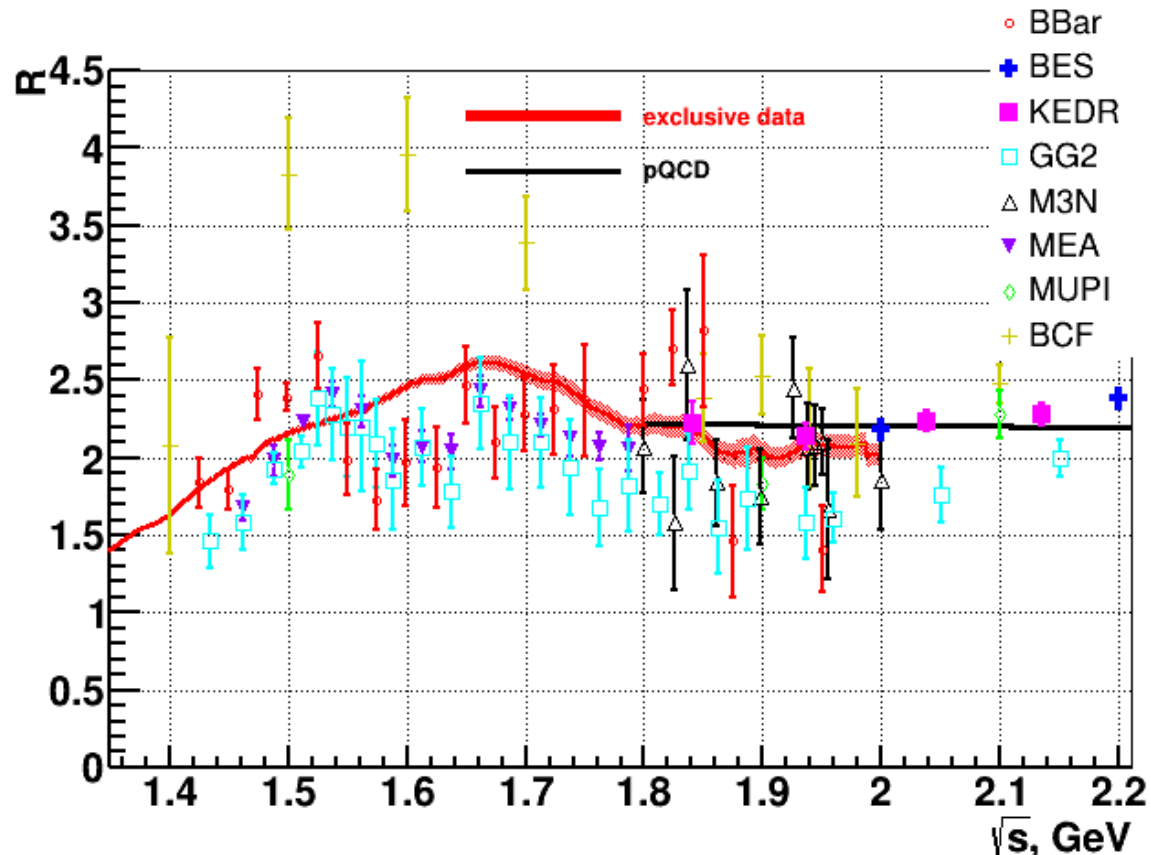
Ⓟ

direct 2.41 ± 0.11
 sum 0.85 ± 0.05

BaBar data only !

$\sqrt{s} < 2.0$ GeV
 $\sqrt{s} < 1.8$ GeV

Motivation



Currently, the sum of exclusive cross sections near 2.0 GeV shows a systematic deviation from the QCD predictions.

BABAR, SND and CMD-3 measurements of previously unmeasured processes, e.g. $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0\pi^0\pi^0$, $\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0\pi^0$, $K_S K^+\pi^-\pi^0\pi^0$, $K^-K^+\pi^0\pi^0\pi^0$, ... may help to understand if this discrepancy is real.

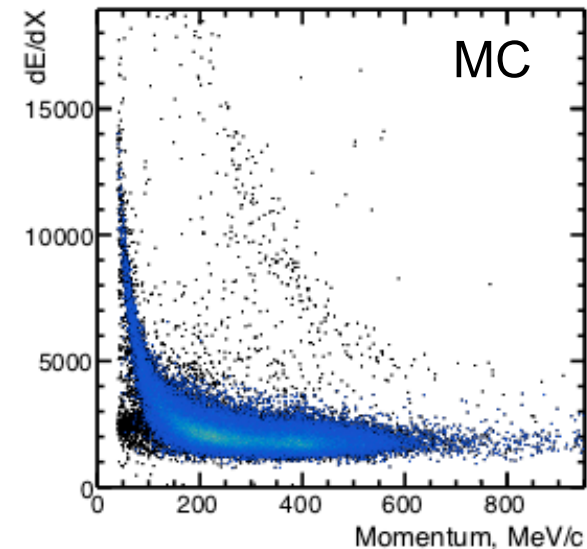
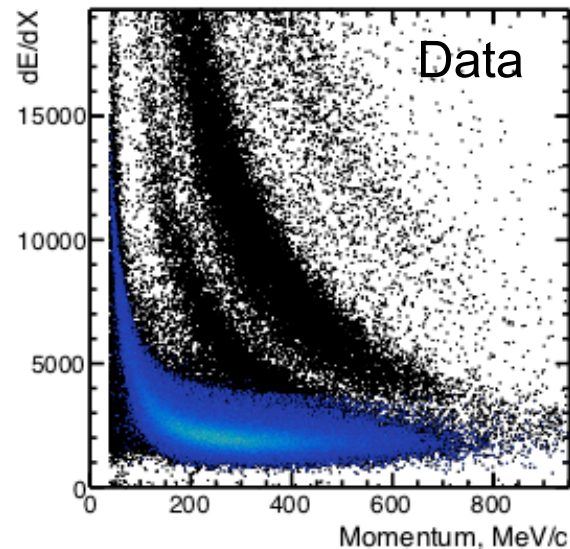
Отбор событий в КМД

Сканирования 2011, 2012, 2017 г.г. 1.5 – 2.0 ГэВ с интегралом светимости 56 pb⁻¹

В событии есть 5 или 6 “хороших” треков:

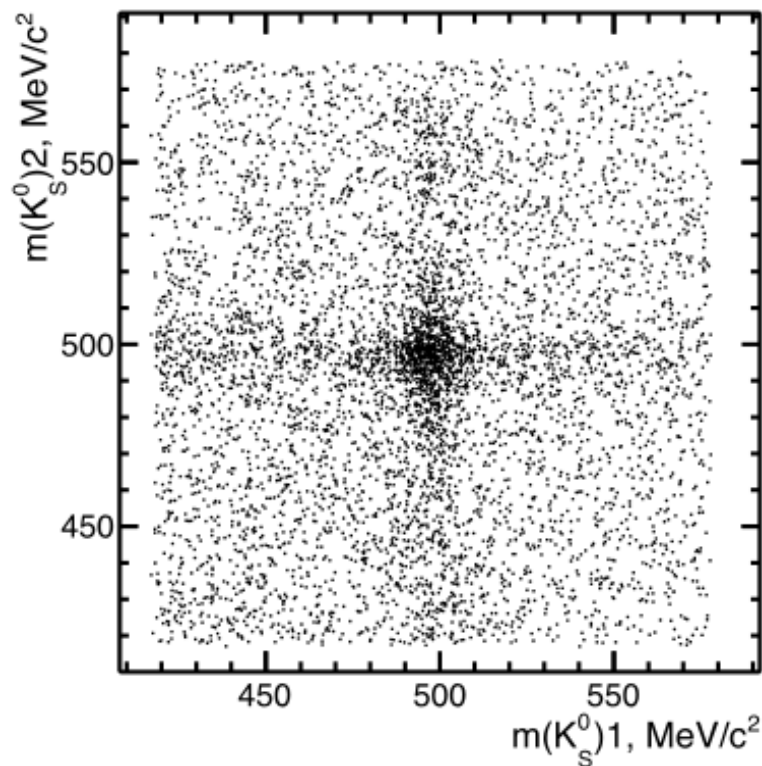
- минимум 6 точек на треке
- импульс трека $P_{tot} > 40$ MeV/c
- расстояние до пучка $R_{max} < 6$ см
- расстояние до центра места встречи $|Z| < 15$ см
- dE/dX соответствует пионам – в конечном счете не используется + 7% событий
- есть минимум два кандидата в $K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$

Все 5-6 трековые
события

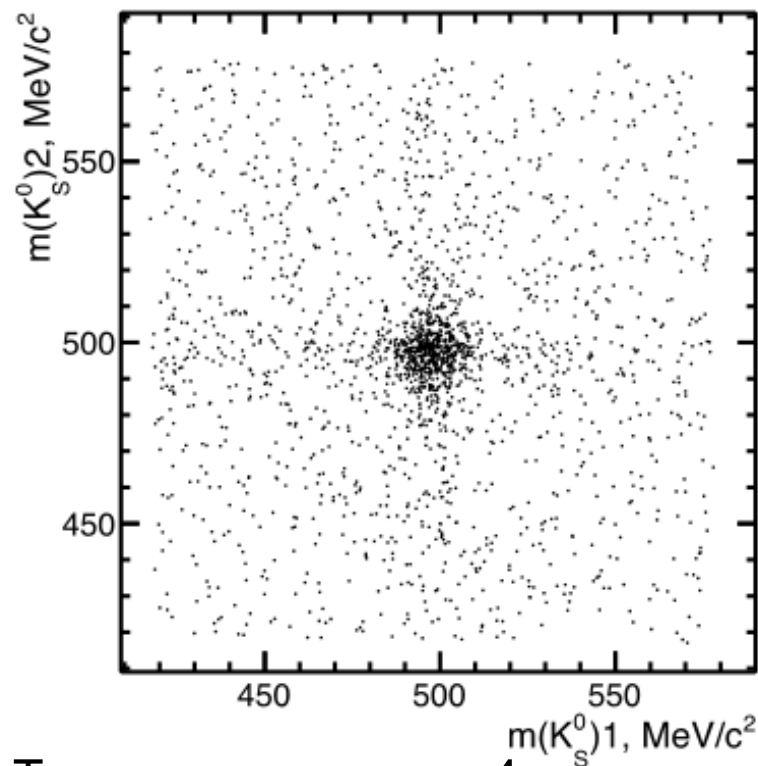


Минимум 2 $K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$ кандидата

Косинус угла между импульсом K_S и линией от пучка на вершину > 0.8



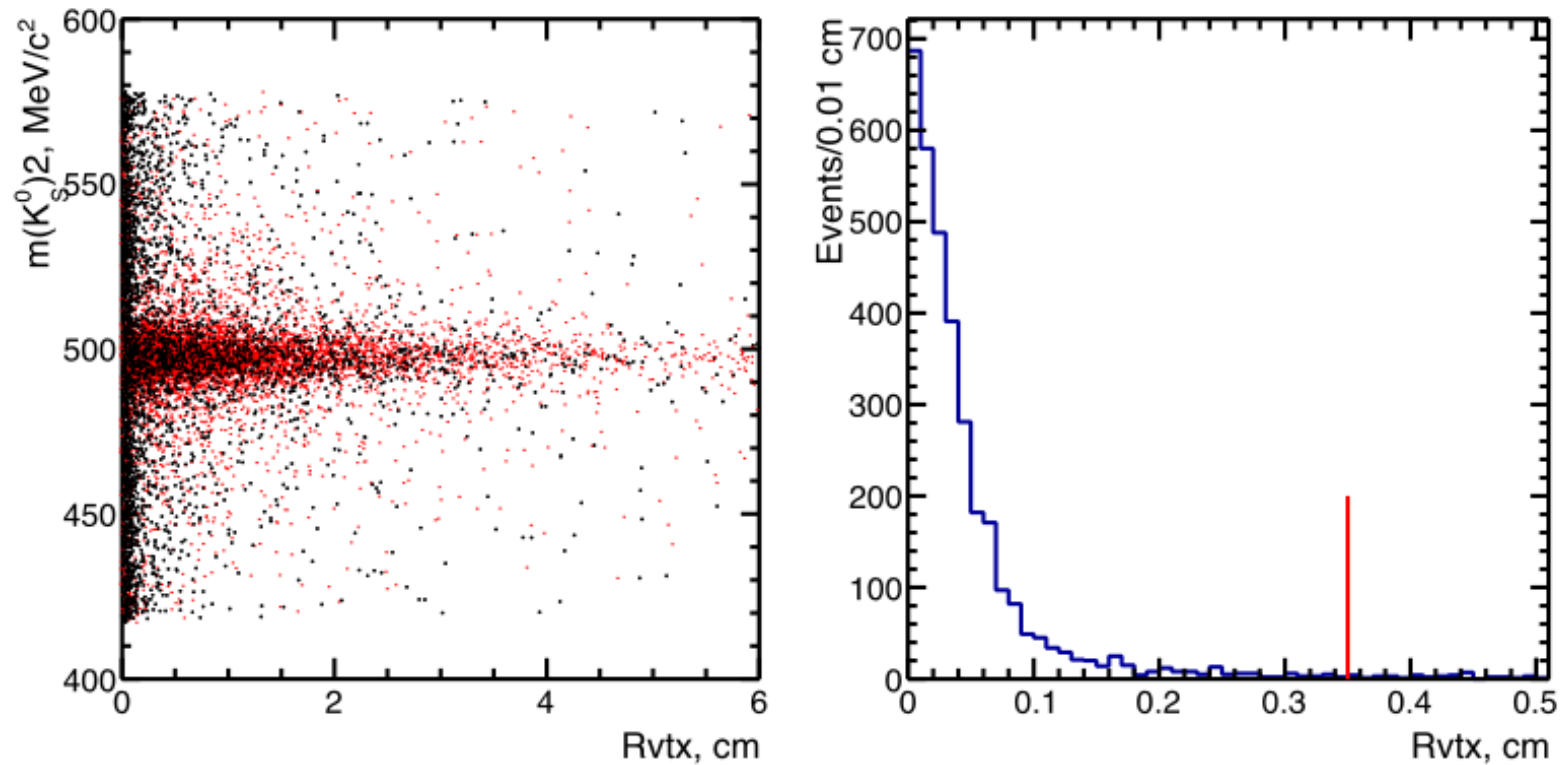
Все пары в событии



Только две пары из 4-х независимых треков.

Если в событии больше двух пар - берется две с минимальной суммой квадратов отклонений от массы K_S

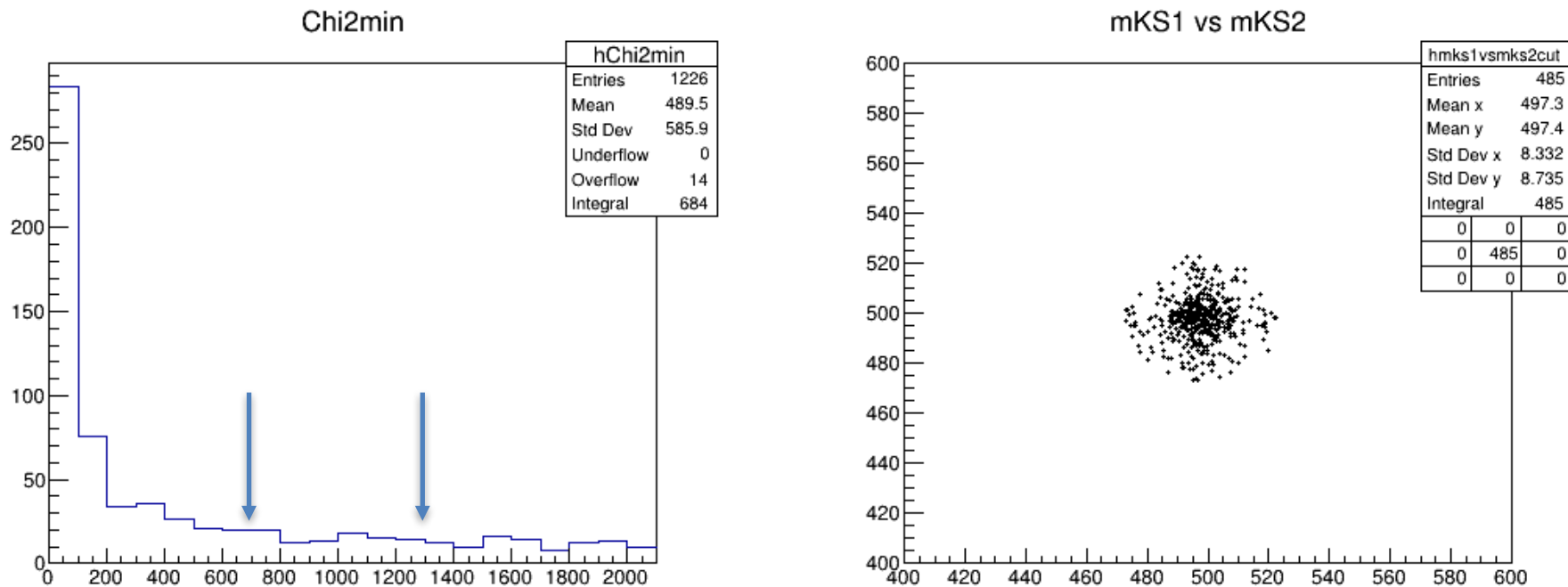
Отлеты KS и 2(1) π



Отбор на пион не из KS < 0.35 cm

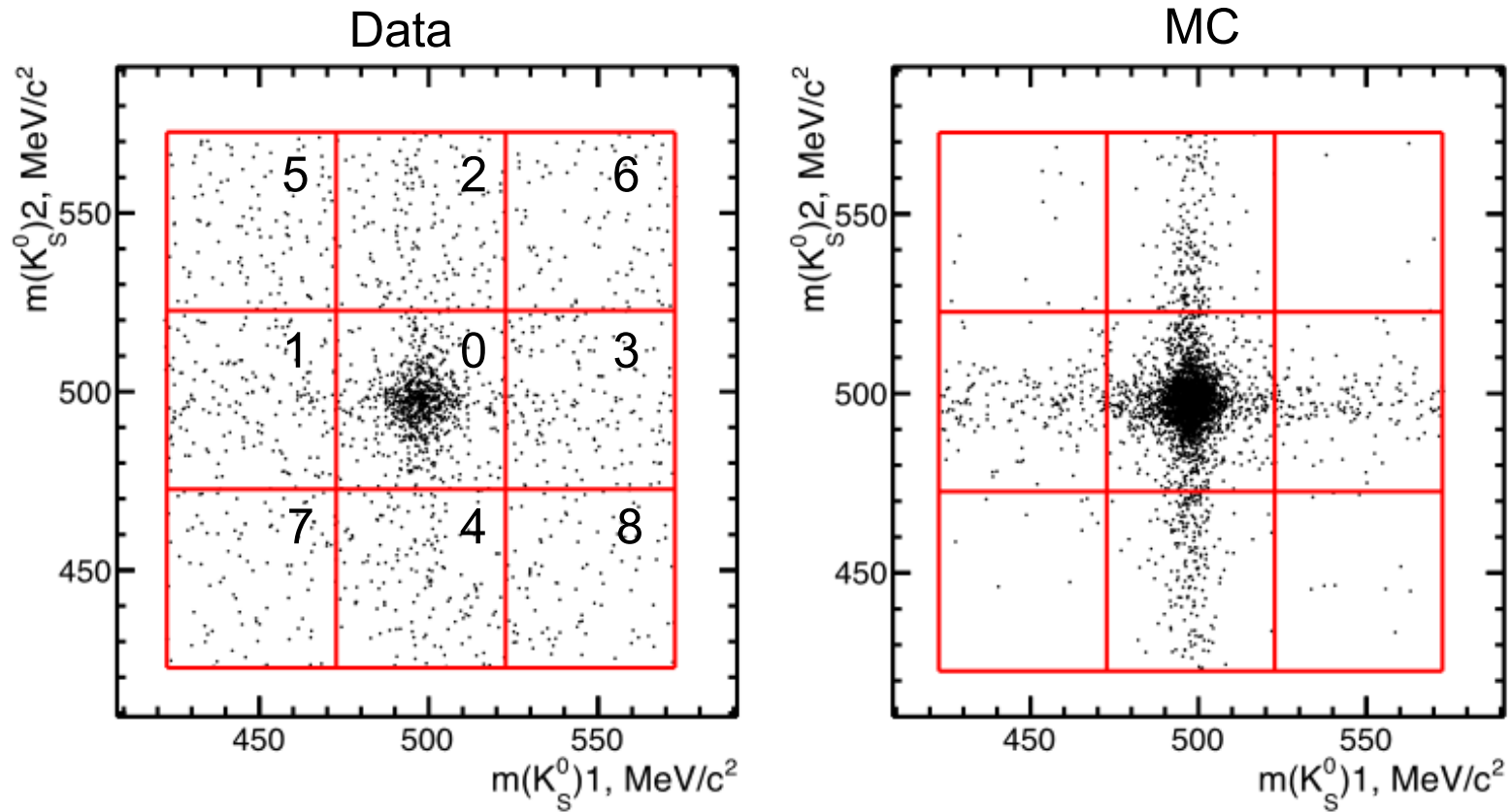
χ^2 selection

Сумма квадратов отклонений от табличной массы - χ^2



Неправильно восстановленные могут по-разному давать вклад по вертикали и горизонтали если 1-й и 2-й Ks чем-то отличаются

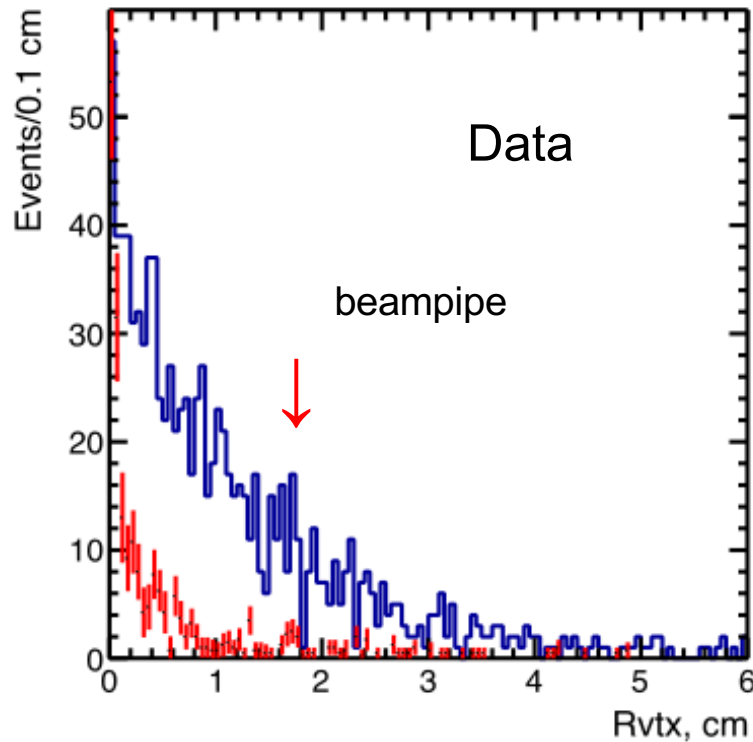
Nine tile method



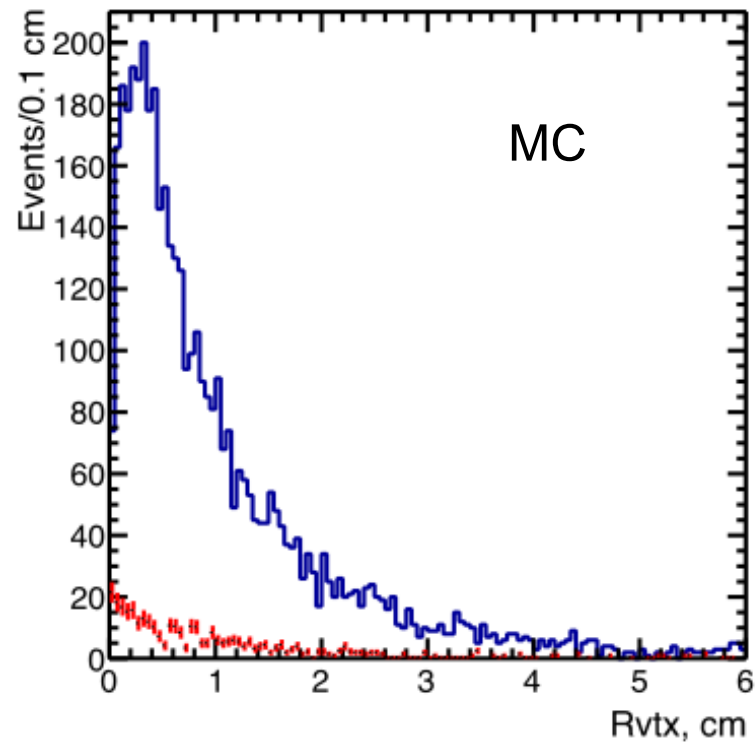
$$N_{\text{signal}} = N_0 - (N_1 + N_2 + N_3 + N_4)/2 + (N_5 + N_6 + N_7 + N_8)/4$$

Размер плитки $(m(K_S) \pm 25) \text{ MeV}$ (пробовалось ± 20 и ± 30)

Отлеты K_S и фон



20-25% фон в данных

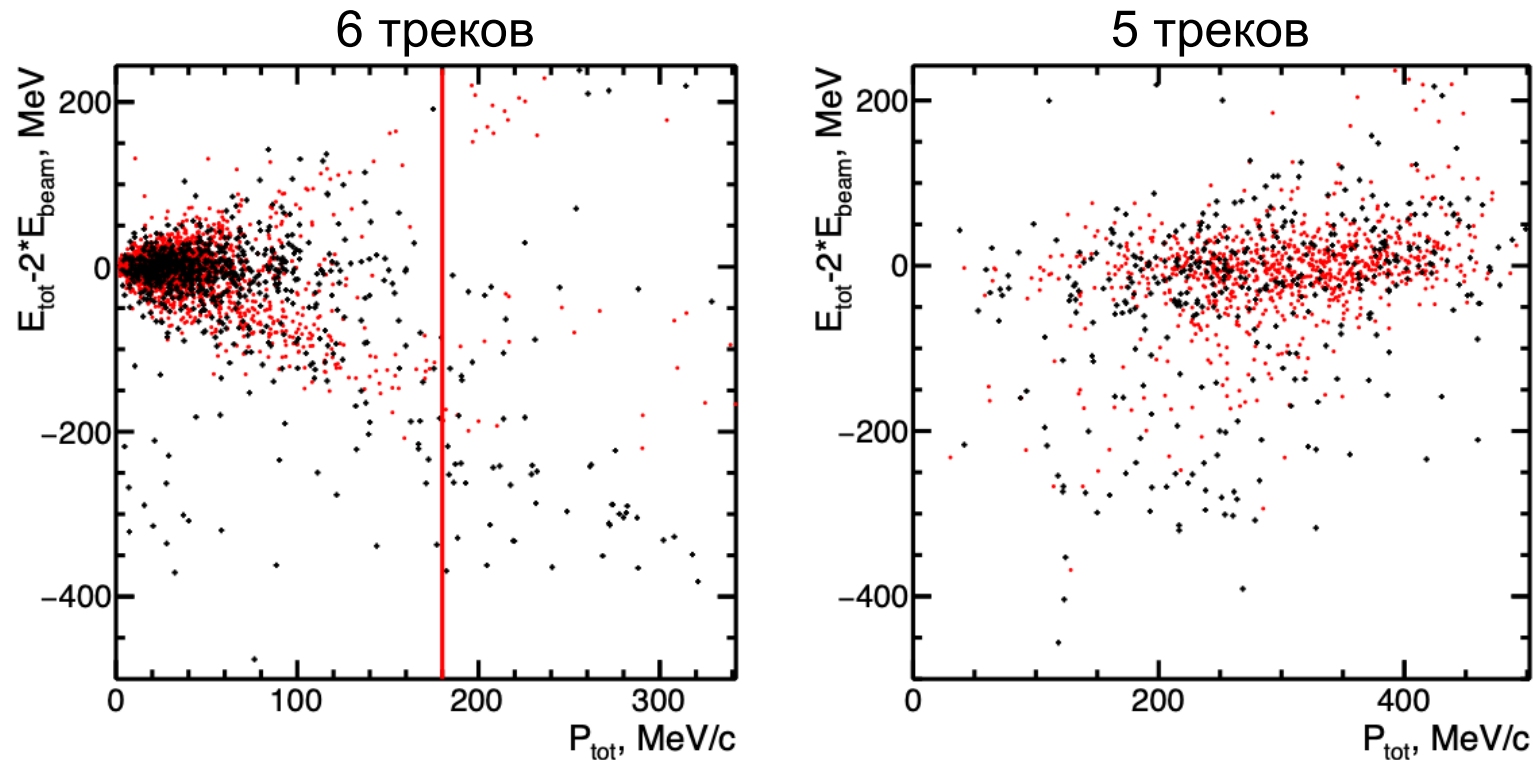


~5-7% “фон” для MC

В 1 мм около 5% фона – отбор не ставится – выгоднее вычесть

Смотрим на недостающую энергию-импульс к 6-ти и 5-ти трековым

События в центральном квадрате

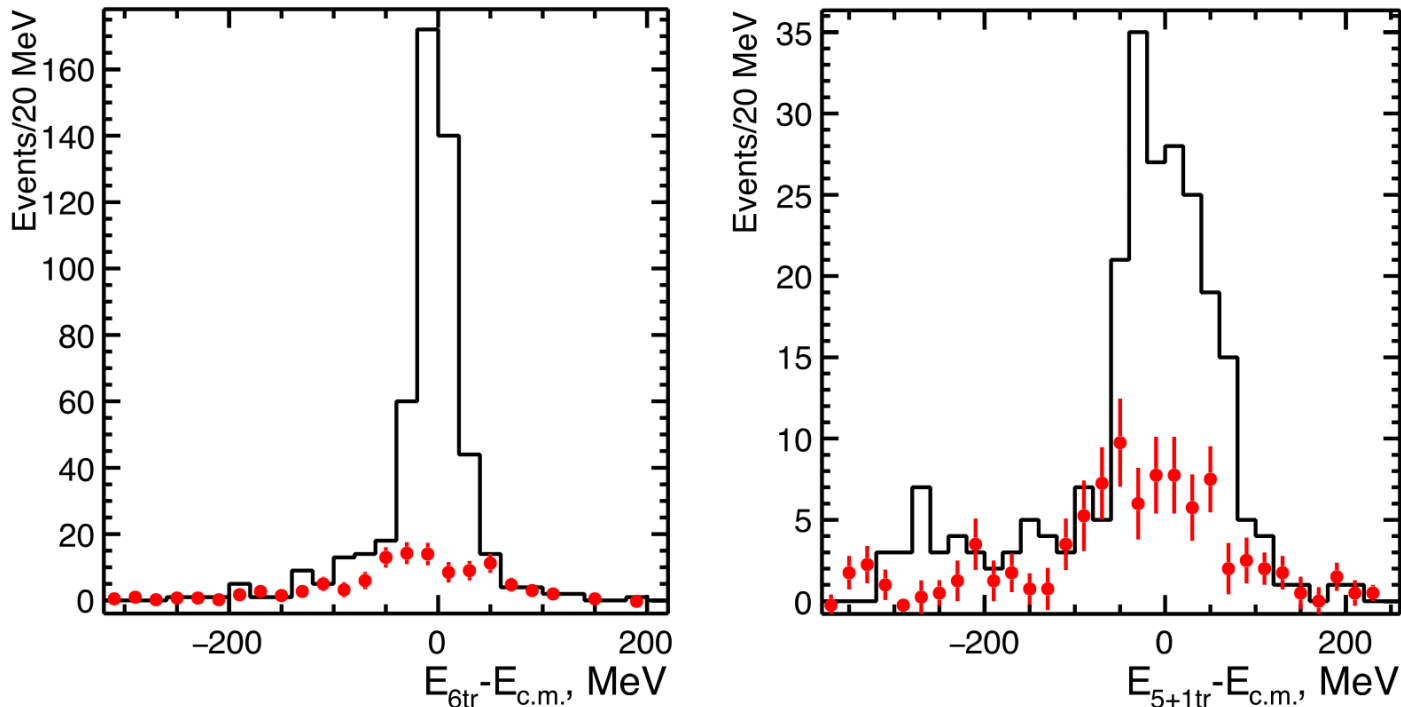


К 5ти трековым событиям добавляется энергия сосчитанная по недостающему импульсу в предположении, что улетел пион.

Для 6-ти трековых ставится отбор на полный импульс $< 180 \text{ MeV}$

Смотрим на недостающие энергию-импульс к 6-ти и 5-ти трековым

Сумма событий по всем точкам



Точки с ошибками – оценка фона по 8 квадратам

К 5-ти трековым событиям добавляется энергия сосчитанная по недостающему импульсу в предположении, что улетел пион.

Для 6-ти трековых ставится отбор на полный импульс <180 MeV

8 интервалов по энергии

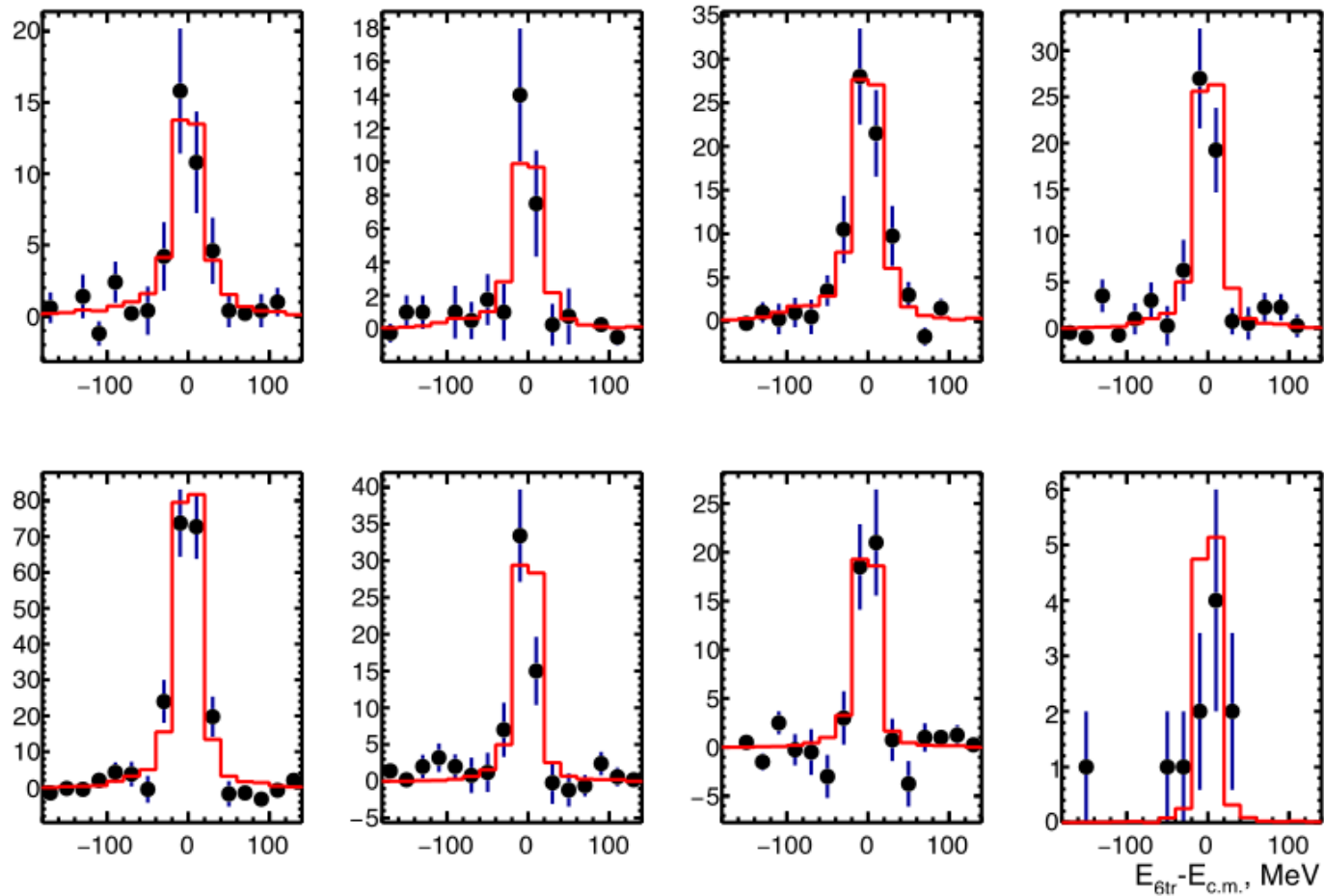
Данные 2011, 2012, 2017 гг.

Ebeam, MeV	L, nb-1
1000-1003.5	4259
987.5-990	2368
970-981	5230
945-962.5	5497
935-942	16803
900-930	8287
850-890	8728
800-840	7299

область рварр разбивка на 2 точки – разницы не обнаружено!

Определяем число событий

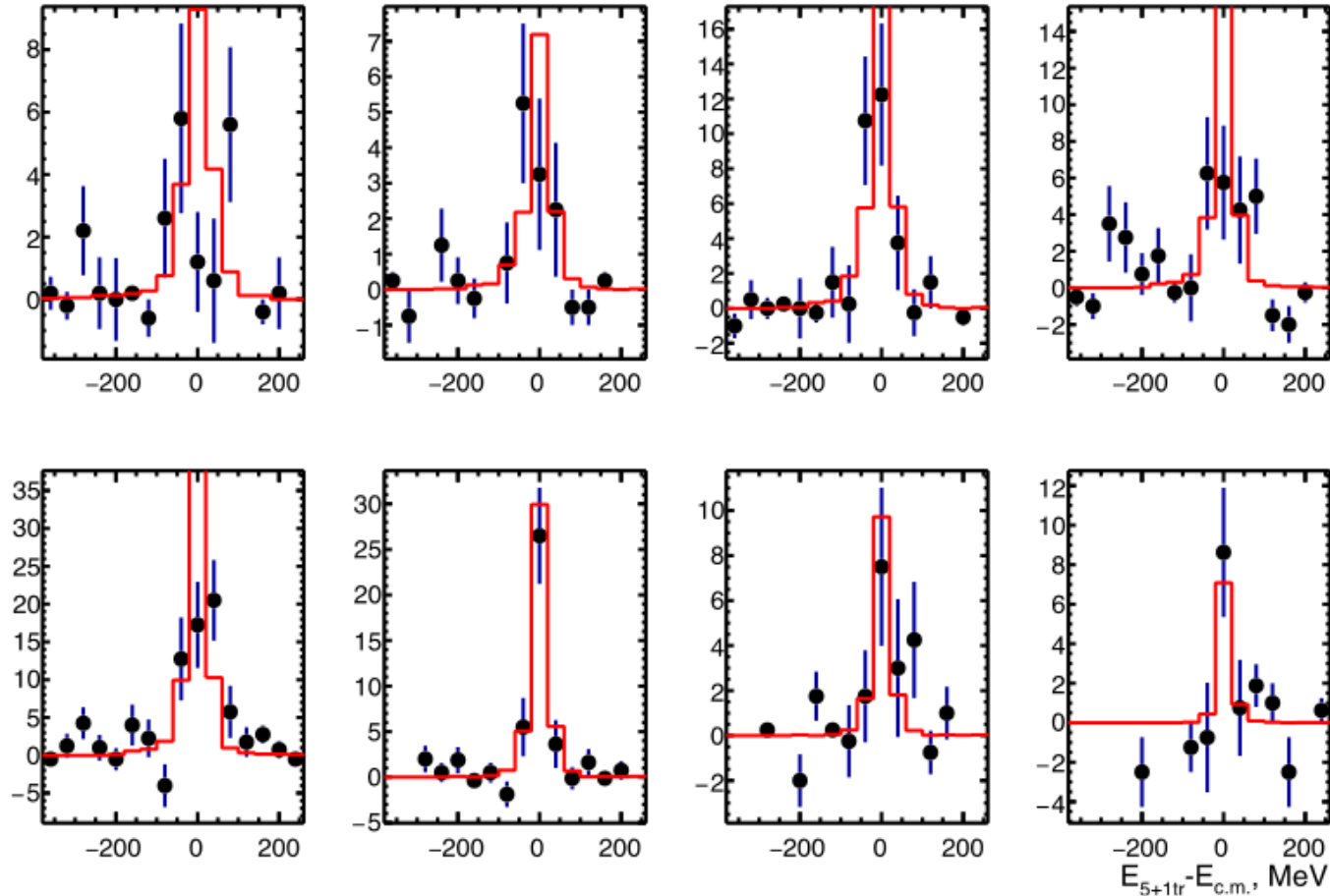
Вычитаем фон определенный по 8-ми плиточкам и подсчитываем число событий для 6-ти треков в интервале ± 100 МэВ.



Гистограммы - моделирование

Определяем число событий

Вычитаем фон определенный по 8-ми плиточкам и посчитываем число событий для 5-ти треков в интервале ± 200 МэВ



Гистограммы - моделирование

8 интервалов по энергии

Данные 2011, 2012, 2017 гг.

Ebeam, MeV	L, nb-1	N6, ev	N5, ev
1000-1003.5	4259	45+-7	19+-5
987.5-990	2368	29+-6	14+-4
970-981	5230	95+-10	34+-7
945-962.5	5497	72+-9	26+-6
935-942	16803	218+-17	62+-10
900-930	8287	79+-11	37+-7
850-890	8728	47+-8	12+-5
800-840	7299	11+-4	8+-4
		596+-27	210+-18

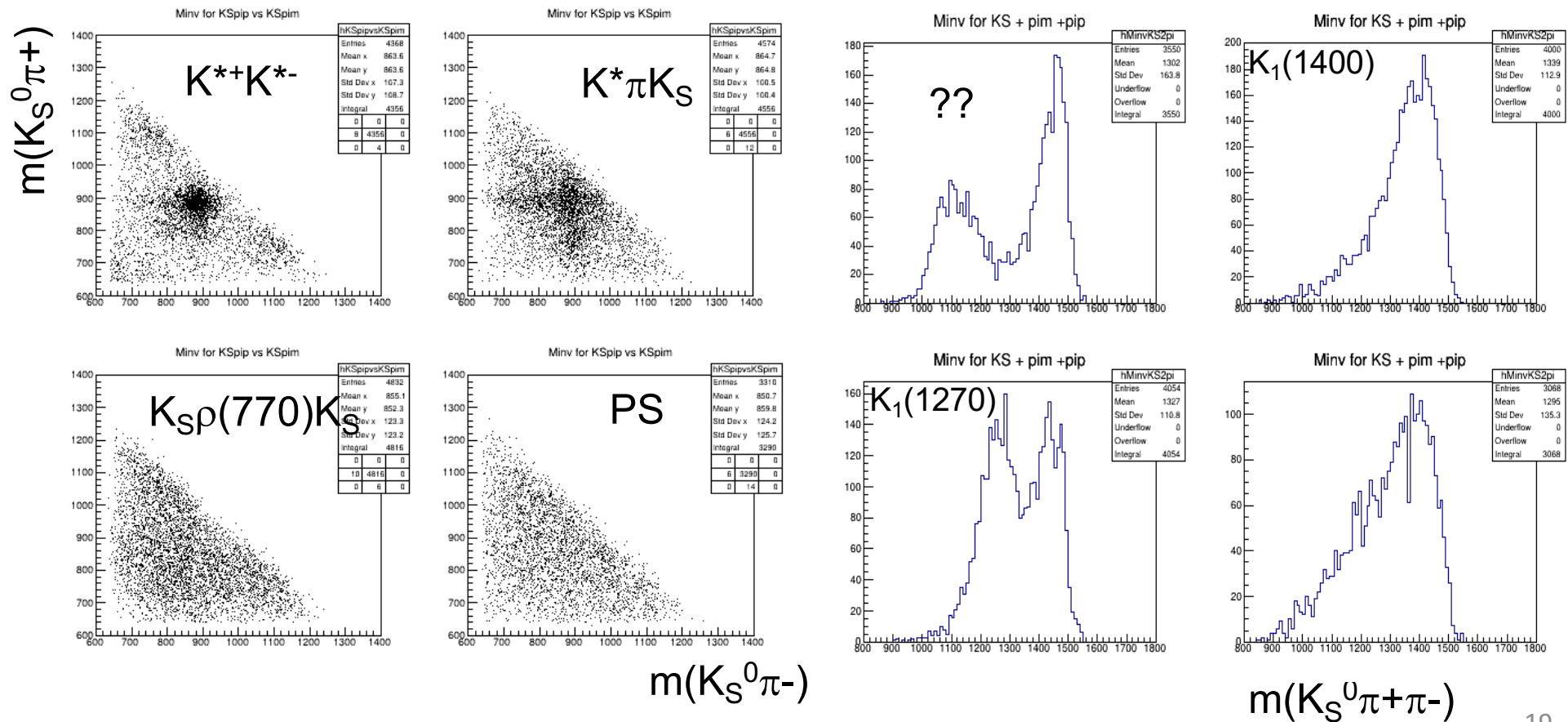
Фон не очень большой – ошибки близки к статистическим

Моделирование

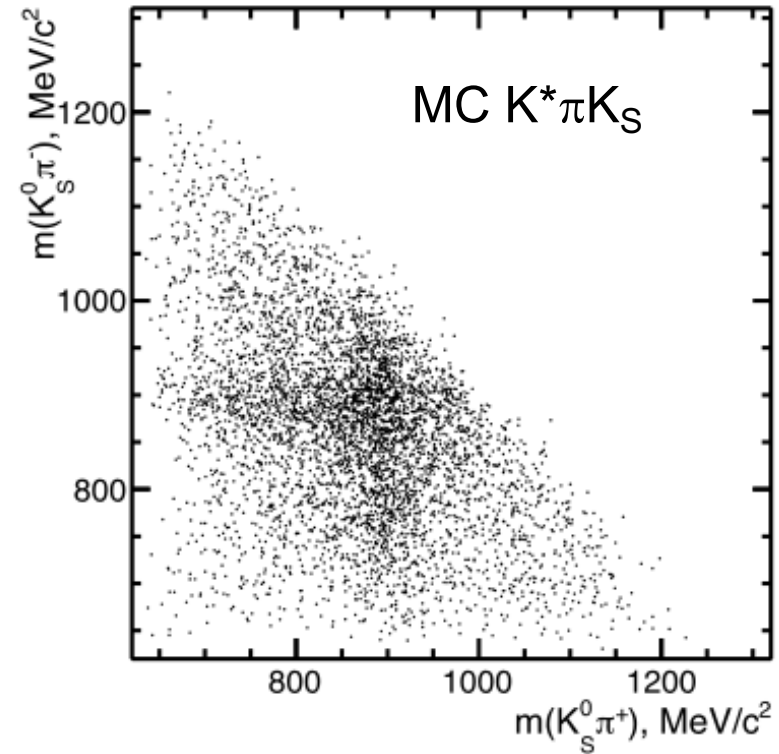
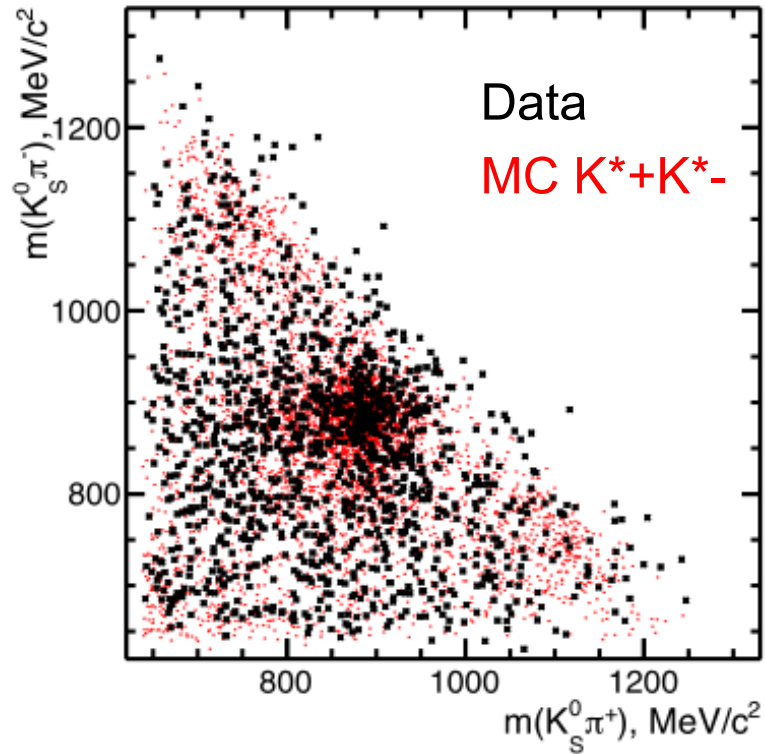
Спасибо Диме Шемякину - у него были все заготовки и он провел моделирование изучаемого процесса в 4-х моделях:

$K_1(1400)K_S \rightarrow K^*\pi K_S$, $K_1(1270)K_S \rightarrow K_S\rho(770)K_S$, $K^{*+}K^{*-} \rightarrow K_S K_S \pi^+\pi^-$ и фазовый объем. Рассматривались только конечные состояния $K_S K_S \pi^+\pi^-$.

Смоделировано по 50000 событий каждой модели в 5-ти точках по энергии – 800, 850, 900, 950, 1000 МэВ. Ключевые гистограммы приведены ниже:

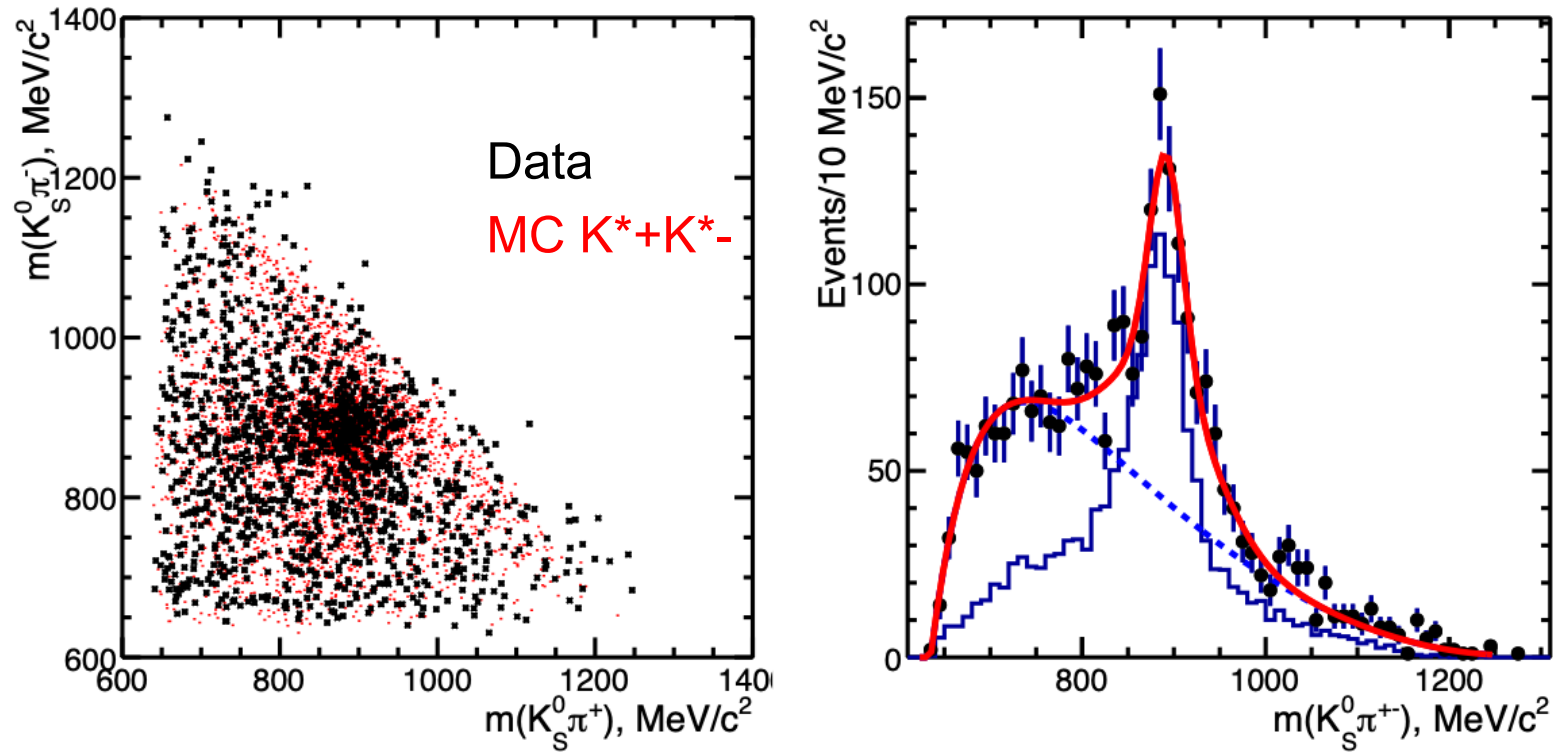


А как в данных?



Видим только коррелированное рождение $K^{*+}K^{*-} \rightarrow K_S K_S \pi^+ \pi^-$ - одиночных K^* нет (или очень мало)

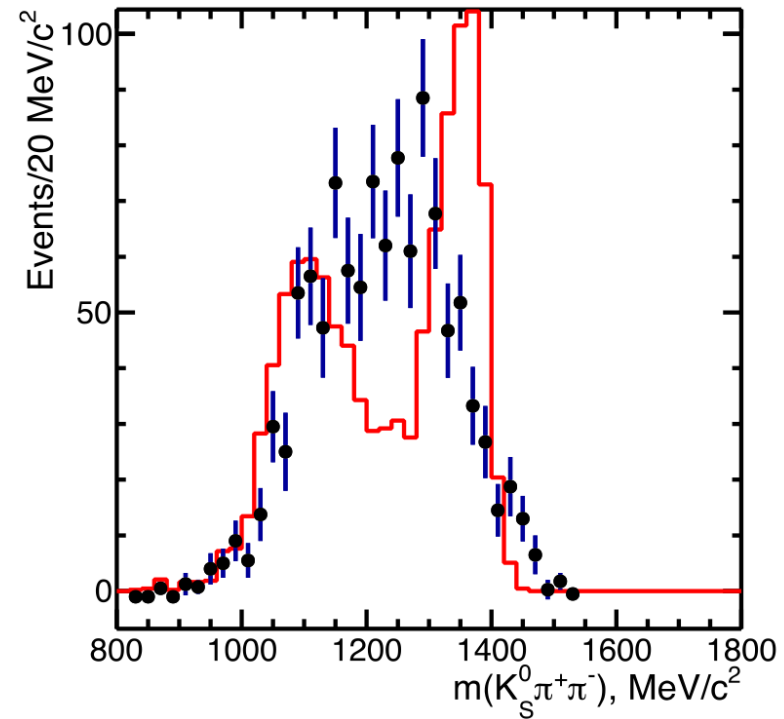
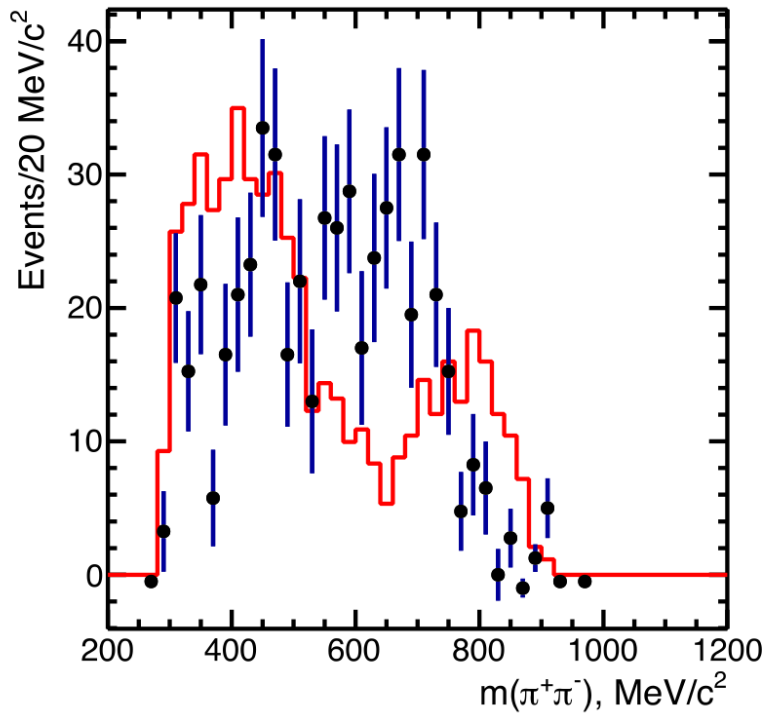
А как в данных?



Видим коррелированное рождение $K^{*+}K^{*-} \rightarrow K_S K_S \pi^+ \pi^-$ ($630 \pm 70 \pm 100$)
на $\sim 15\%$ меньше, чем полное число событий, но в пределах ошибок

А как в данных?

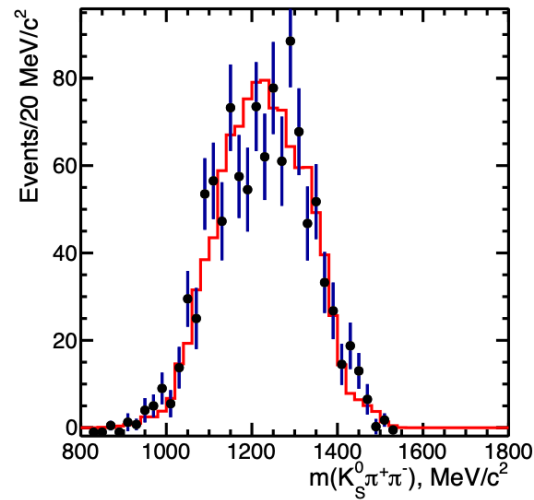
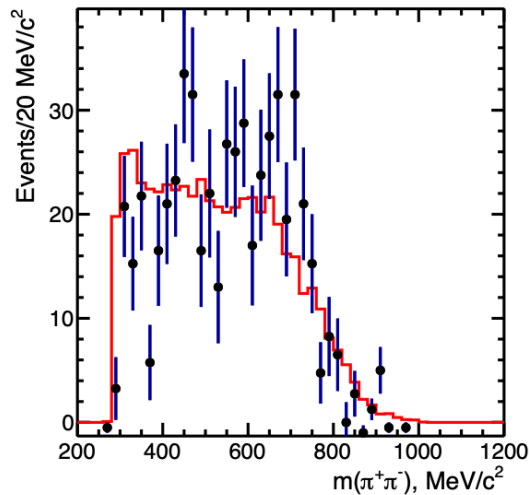
Проблемы с моделированием $K^{*+}K^{*-} \rightarrow K_S K_S \pi^+ \pi^-$!!!



В данных ρ -мезона и $K_1(1270)$ явно не видно, но может быть. Экспериментальные гистограммы после вычитания фона.

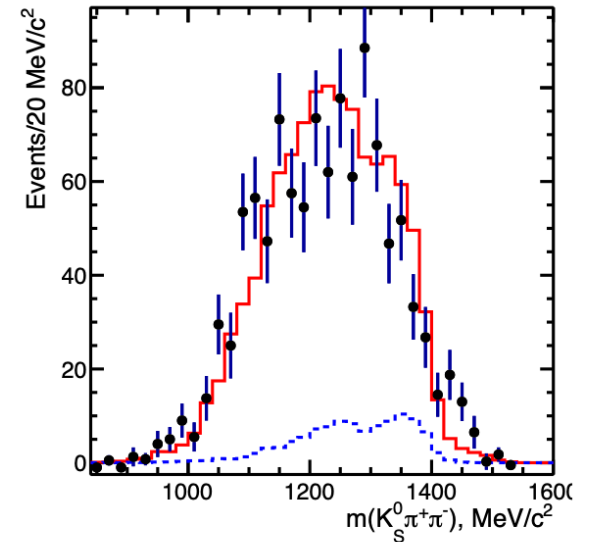
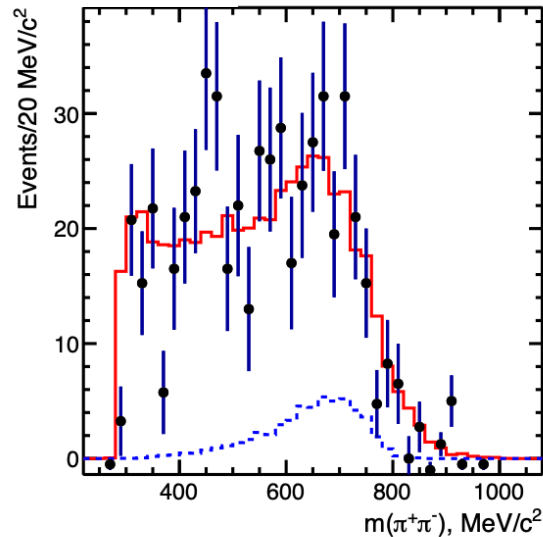
А как в данных?

Проблемы с моделированием $K^{*+}K^{*-} \rightarrow K_S K_S \pi^+ \pi^-$ разрешились -
надо правильно учесть вклады с разными спиновыми состояниями

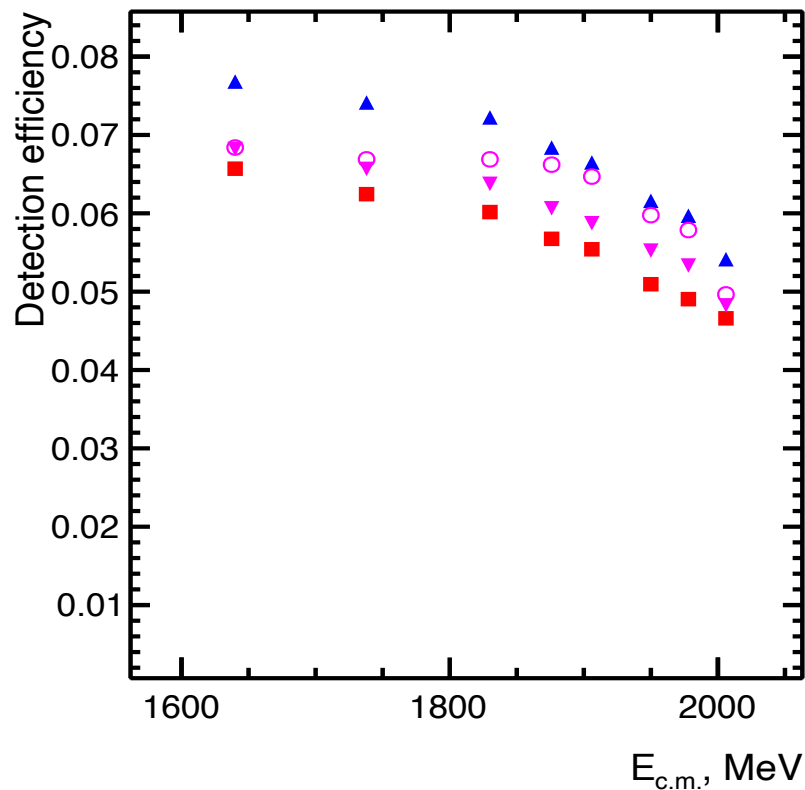


В МС только $K^{*+}K^{*-}$

Добавление 15% процесса $K_1(1270)K_S$ улучшает согласие данных и моделирования. Хотя ρ -мезона и $K_1(1270)$ явно не видно на этой статистике.



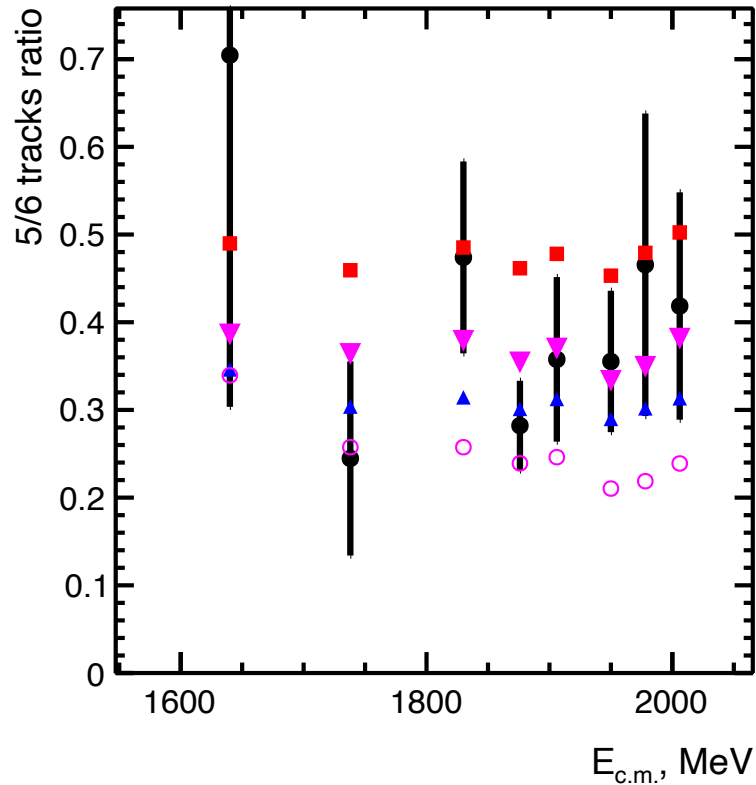
Эффективность регистрации



Треугольники вниз – K^*+K^{*-}
Треугольники вверх – $K_1(1400)K_S$
Кружки - $K_1(1270)K_S$
Квадраты - PS

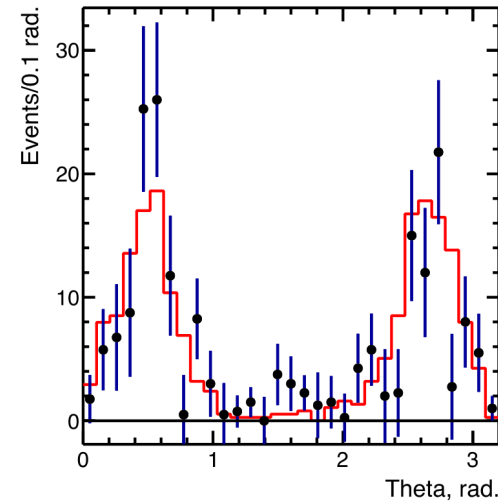
Эффективность для суммы событий с 6-ю и 5-ю треками.
Слабо зависит от модели.

События с 5-ю треками

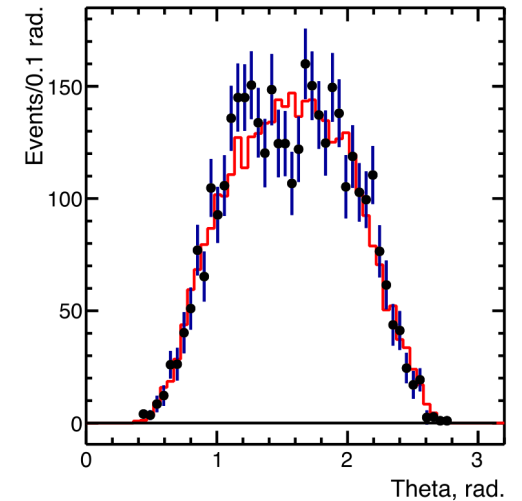


Черные точки – данные
Треугольники вниз – K^+K^-
Квадраты - PS

Потеряный трек



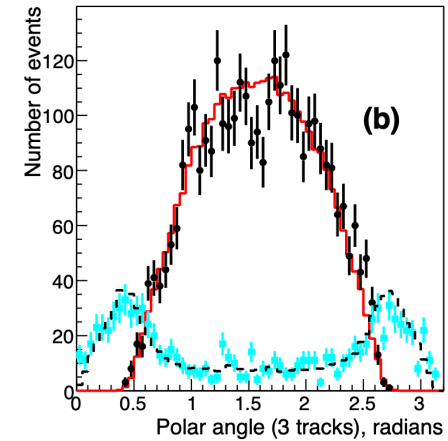
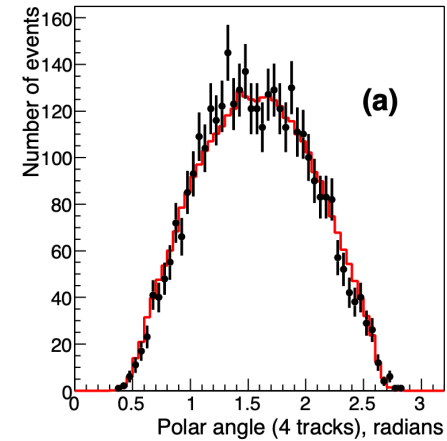
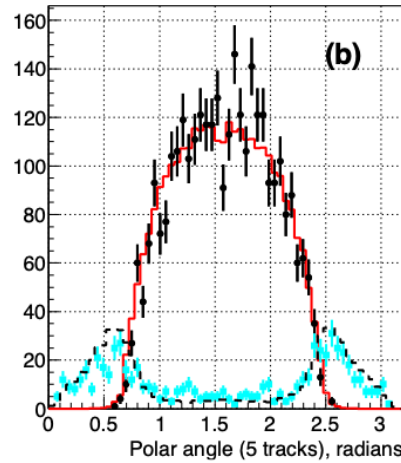
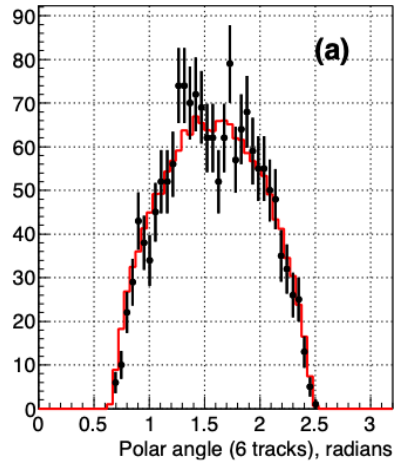
Все треки



Неплохое согласие – можно добавить в число событий и (частично) компенсировать неэффективность ДК

Провал при $\pi/2$

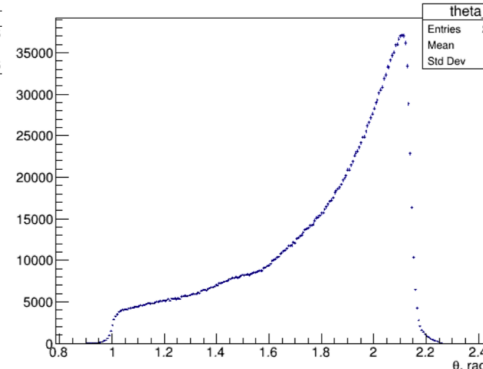
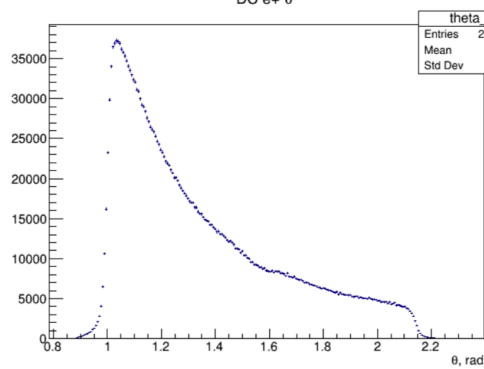
Наблюдается во всех наших процессах, не воспроизводится в моделировании



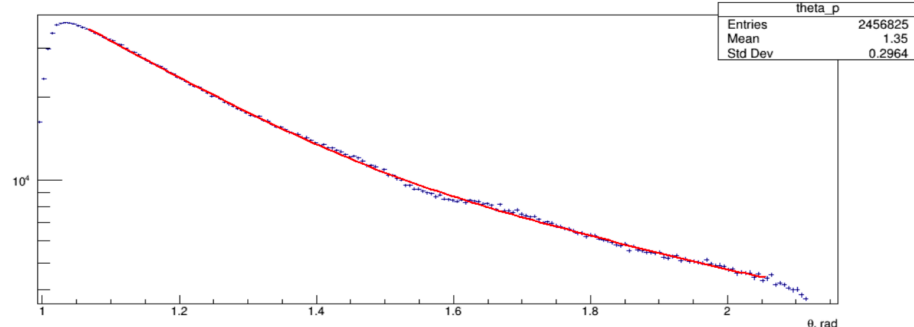
Провал под $\pi/2$, объединенные точки 641-800 МэВ 2017 года, 10пб-1

DC e+ θ

DC e- θ



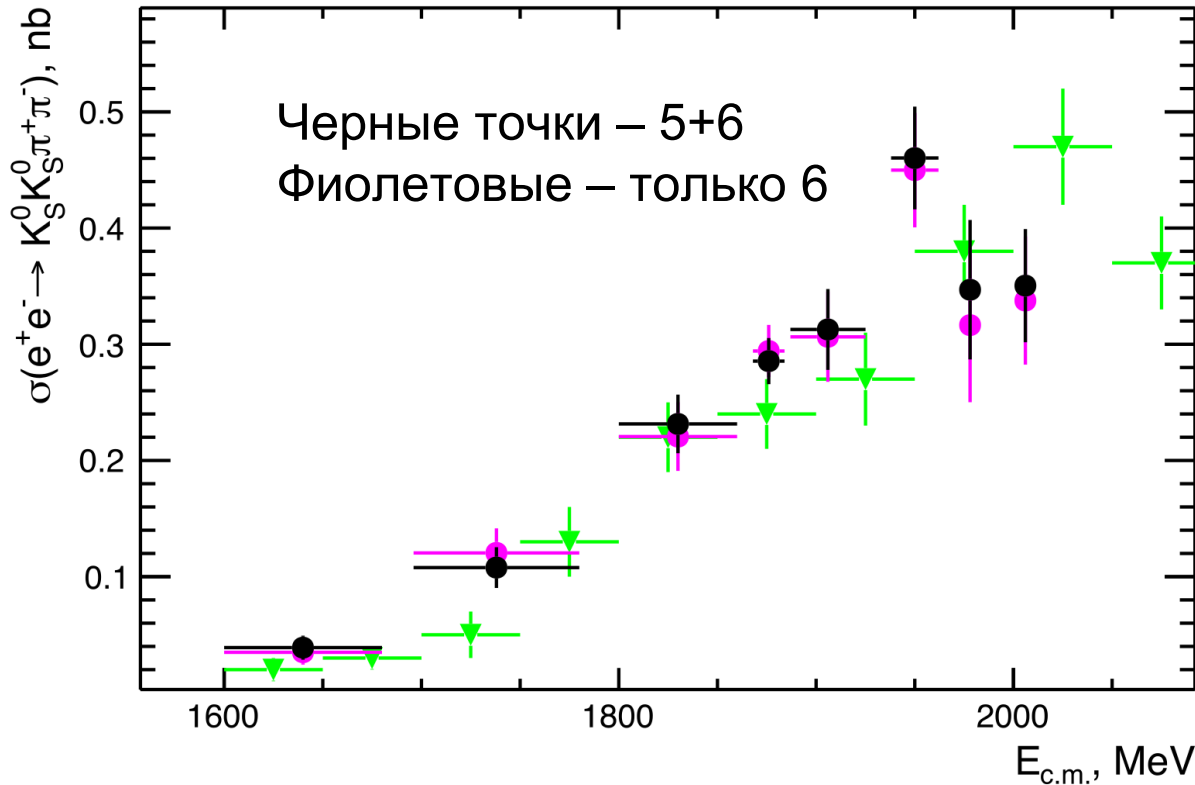
DC e+ θ



Наблюдается $\sim 1\%$ провал в отношении $(e^+e^-)/MC$

Гипотеза – разрешение по θ из-за малых dEdX в $\pi/2$ много хуже

$$e^+e^- \rightarrow K_S^0 K_S^0 \pi^+ \pi^-$$



Сечение в точке 935-942

0.2855±0.0199 – base
 0.2941±0.0241 – tile 30 +3%
 0.3020±0.0237 – tile 20 +5.7%
 0.2828±0.0211 – tile25+dEdX -1%
 0.2933±0.0206 - + p> 70MeV +2.7%
 0.2932±0.0206 - + no χ^2 track +2.7%
 0.2997±0.0232 – χ^2 mass<25 +4.9%
 0.3412±0.0240 - χ^2 mass<20 +20%

Рад.поправка 0.92 - постоянная.

Систематическая ошибка $\sim 10\%$, доминирует вычитание фона и вариации в форме сигнала $\sim 5\%$, и неопределенность в смеси каналов из-за разной эффективности $\sim 5\%$, (6 +3)% поправка на неэффективность реконструкции треков (из анализа бпи)

Заключение

- Сравнительно простой анализ по следам 6π , 7π
- Нет высоких требований на точность
- Найдено 596 ± 27 и 210 ± 18 событий
- Доминирует $K^*(892)^+K^*(892)^-$ - разобраться с MC
- Сечение согласуется с БаБар
- Публикация подготовлена
- Какие-то добавочные детали есть на wiki
- Данные 2019 – нужен кин.фит для динамики

Спасибо