

$$e^+e^- \rightarrow K_S K_L$$

1.05 – 2.0 ГэВ сцм, КМД-3

Никита Петров

План

Показать статус анализа процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$ в диапазоне энергий 1.05 – 2.0 ГэВ в с.ц.м. с детектором КМД-3

1. Критерии отбора
2. Расчёт эффективностей
3. Поправка на эффективность ДК
4. Оценка систематических ошибок

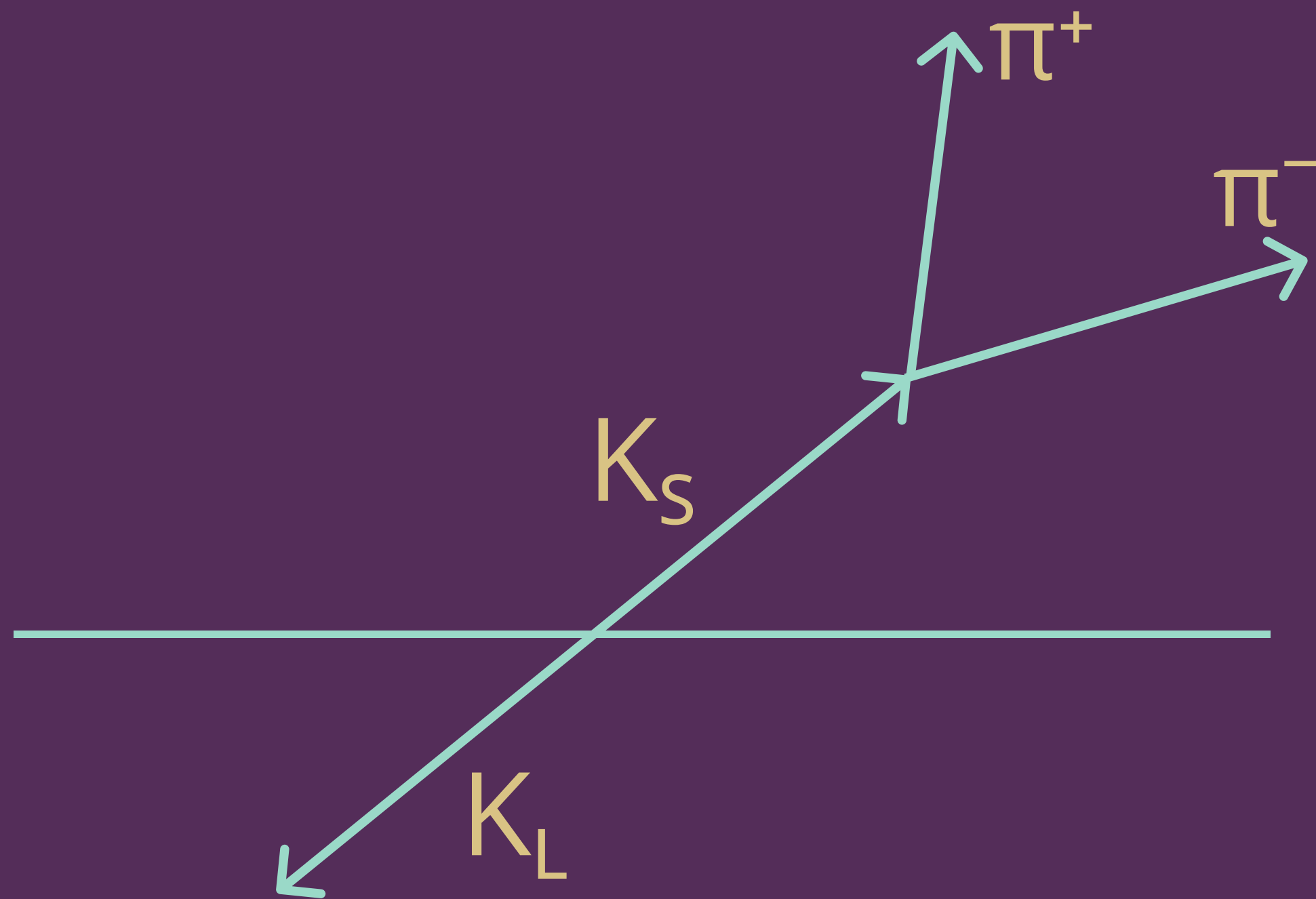
Данные и Монте-Карло

Анализирую сезоны HIGH11/12/17/19/20
с интегралом светимости **191 пб⁻¹**

Моделирование Монте-Карло по 20 000
в каждой точке с рад.фотоном MCGPJ

Критерии отбора

Ищу по распаду $K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$



2 трека, 1 K_S кандидат

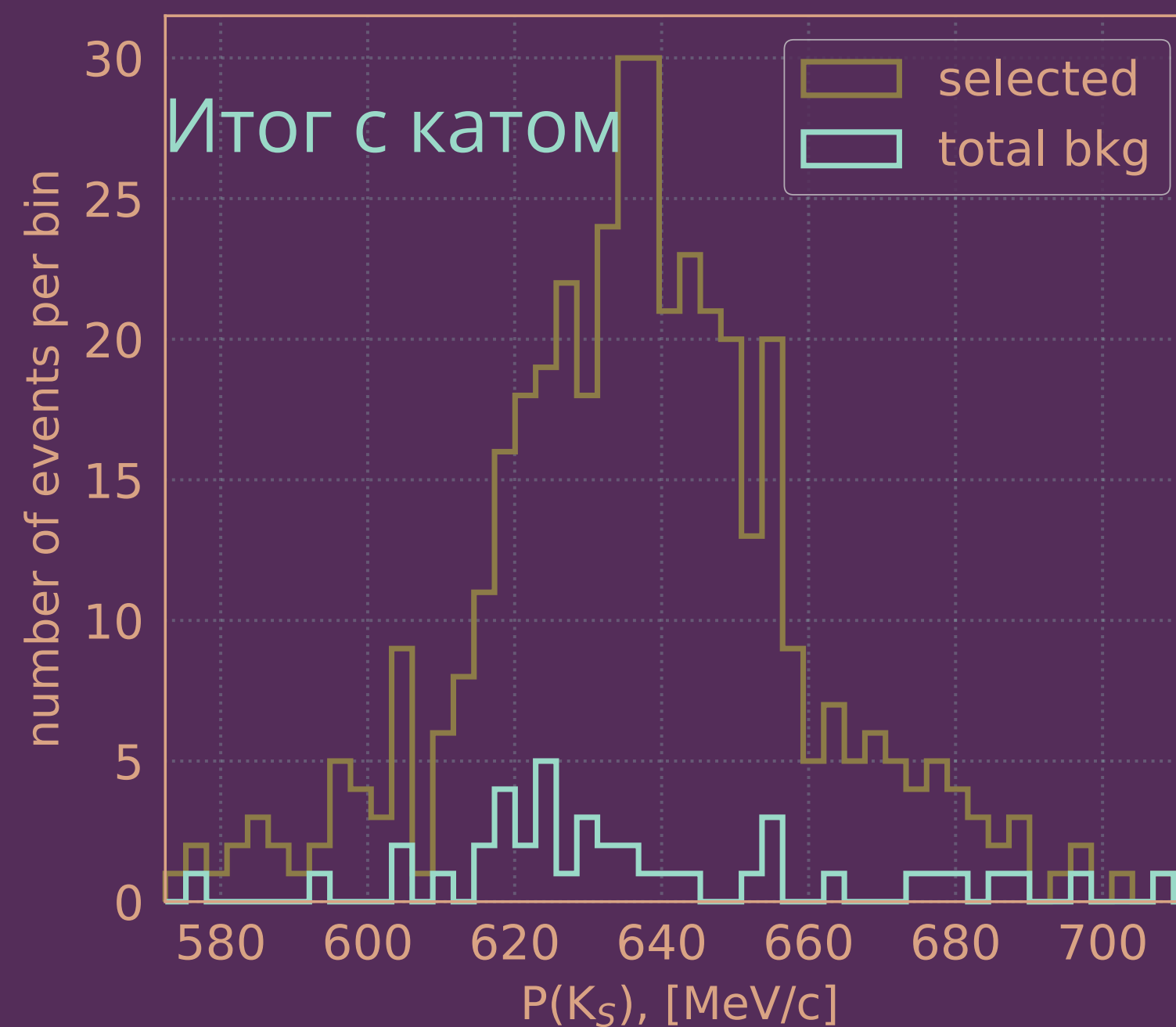
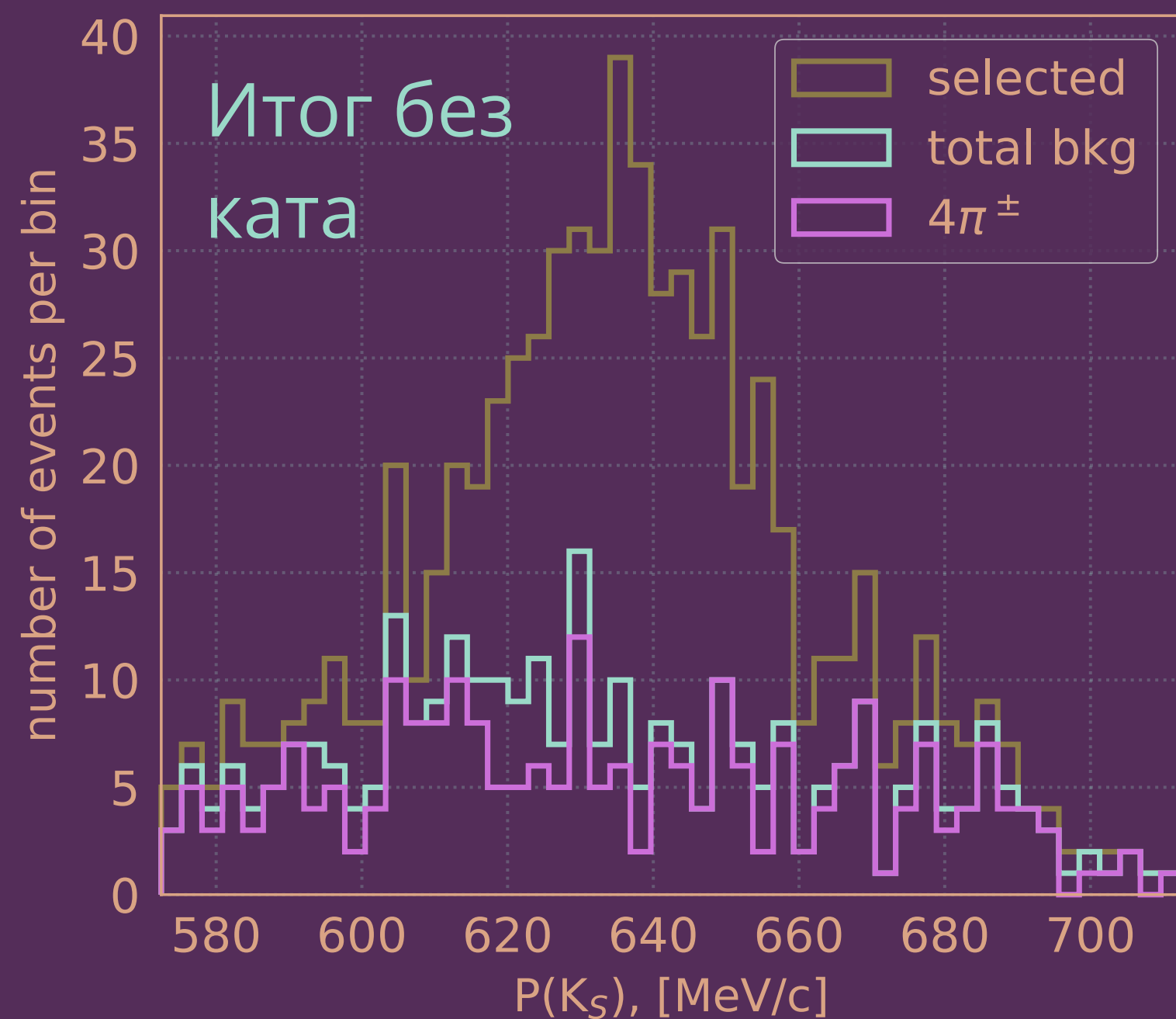
Требования на трек:

- $|z| < 10$ см
- ХИТОВ > 6
- $\chi^2 < 25$
- $P > 40$ MeV
- dE/dX как у π^\pm

Предотборы / 2 трека

Отбираю события только с двумя треками

Мультиадронный генератор



Уничтожаю фон $4\pi^\pm$

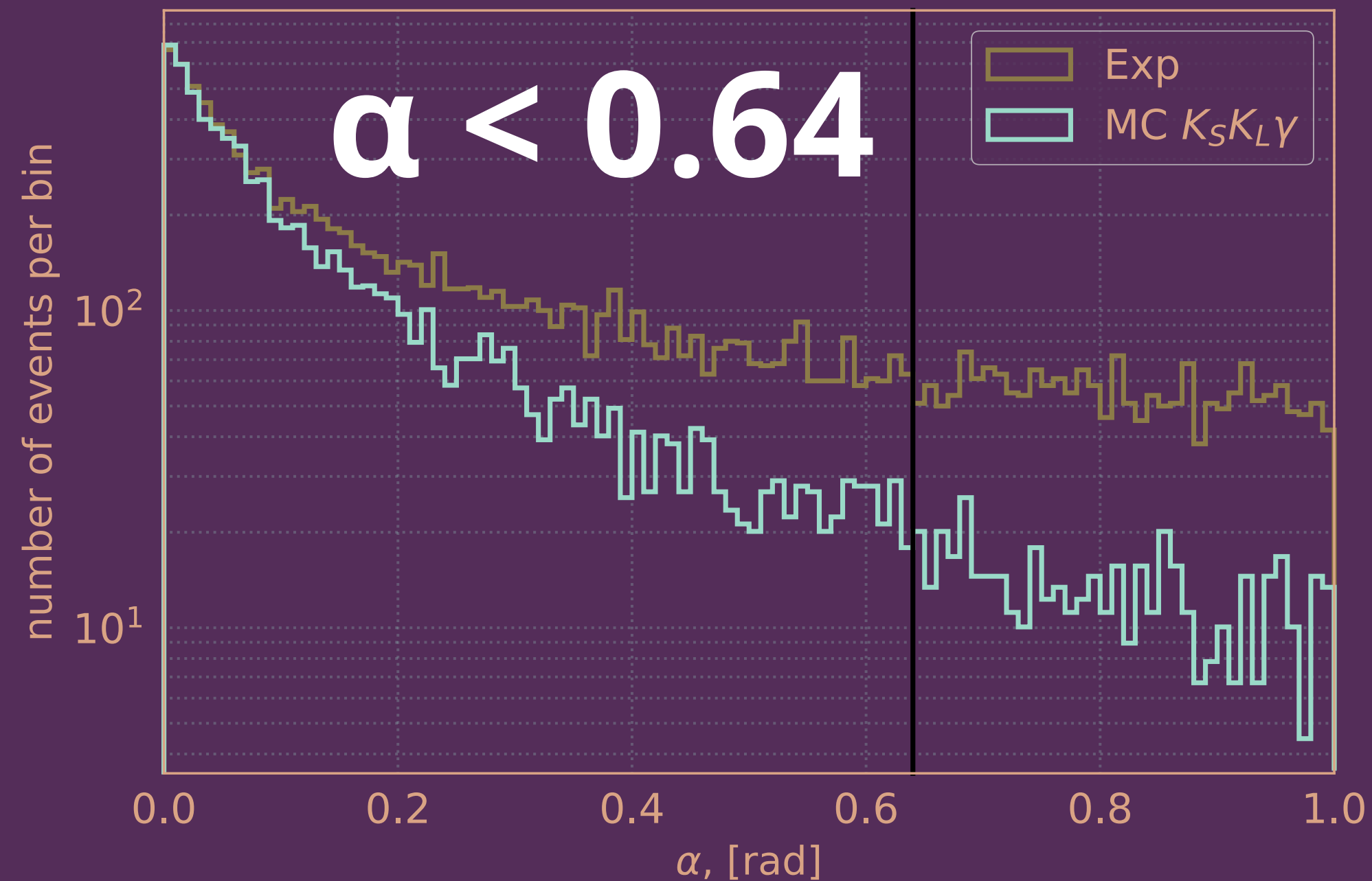
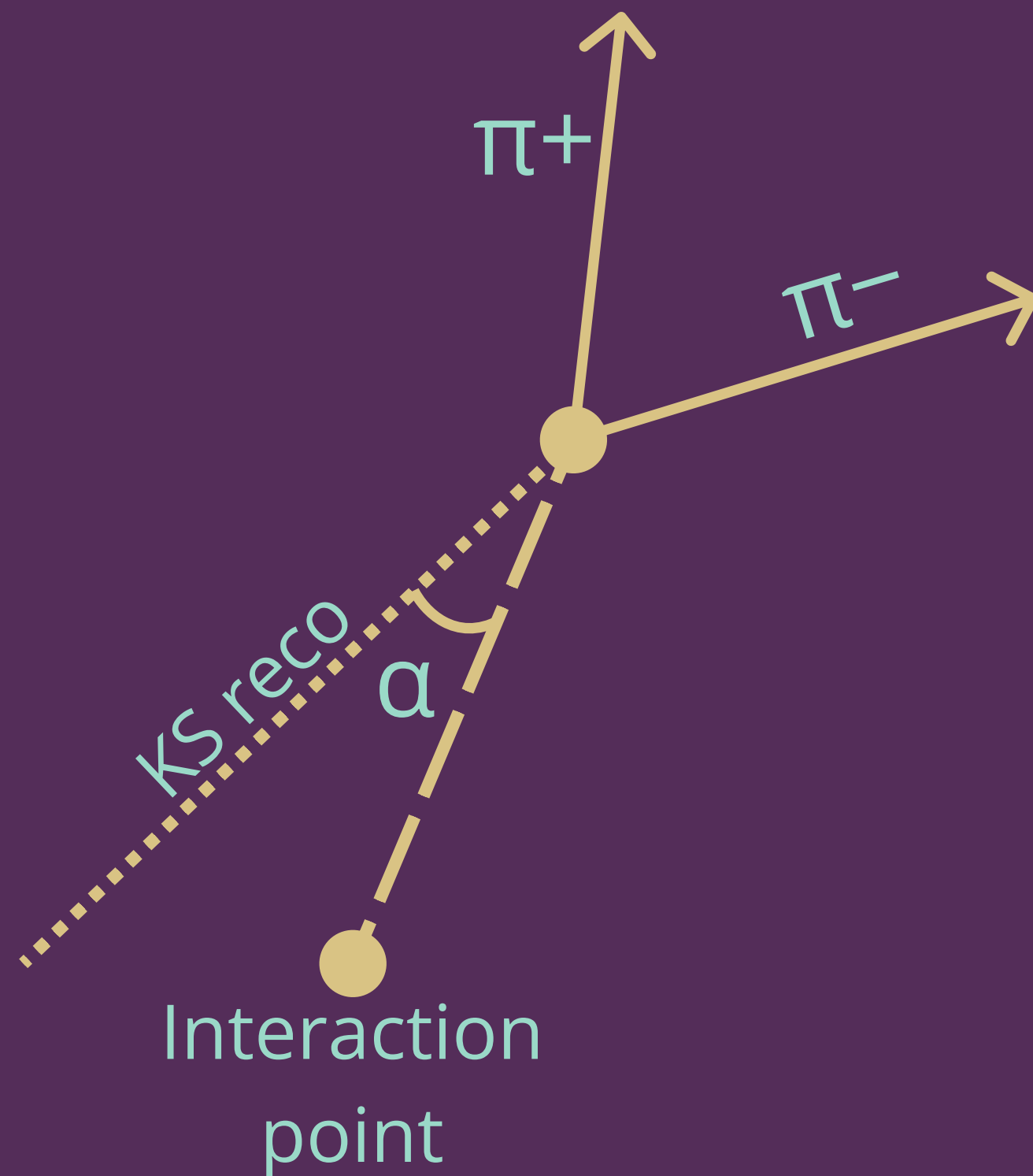
В среднем >90% $4\pi^\pm$
(согласно mlthad gen)

Распр. отобранных событий (со всеми полследующими катами) по импульсу K_S без отбора на количество треков (слева) с отбором (справа).

Мультиадронный генератор. HIGH19 1.63 GeV

Отбор по углу α

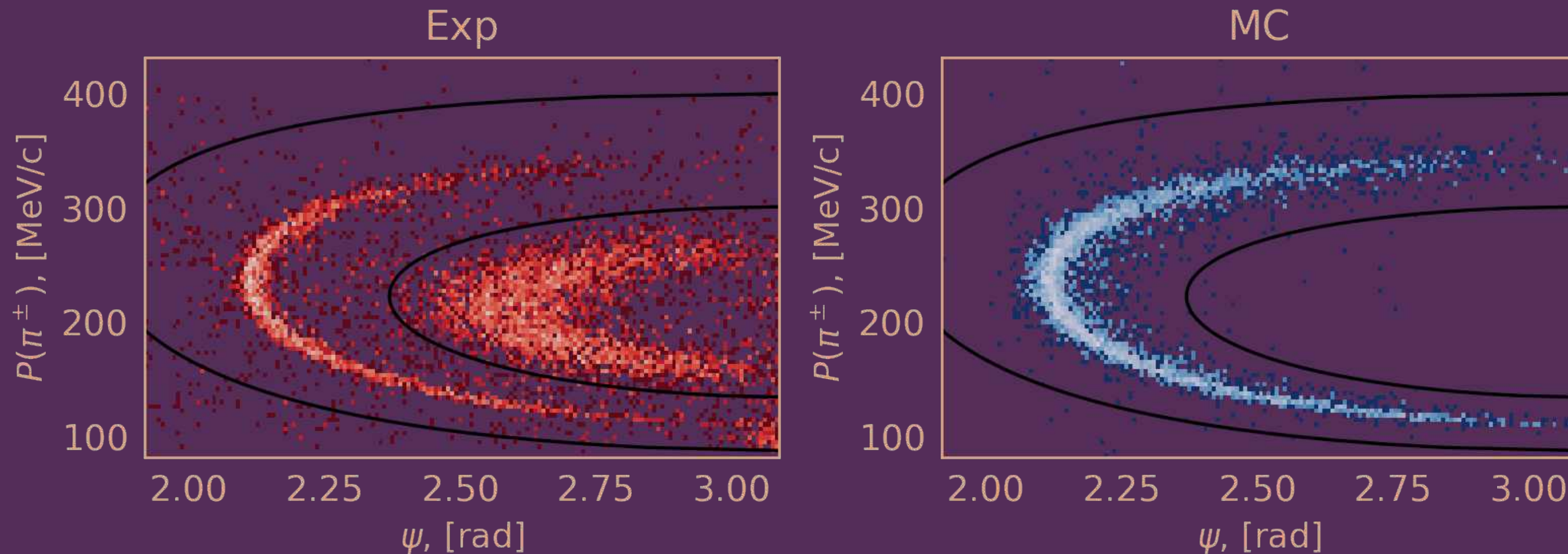
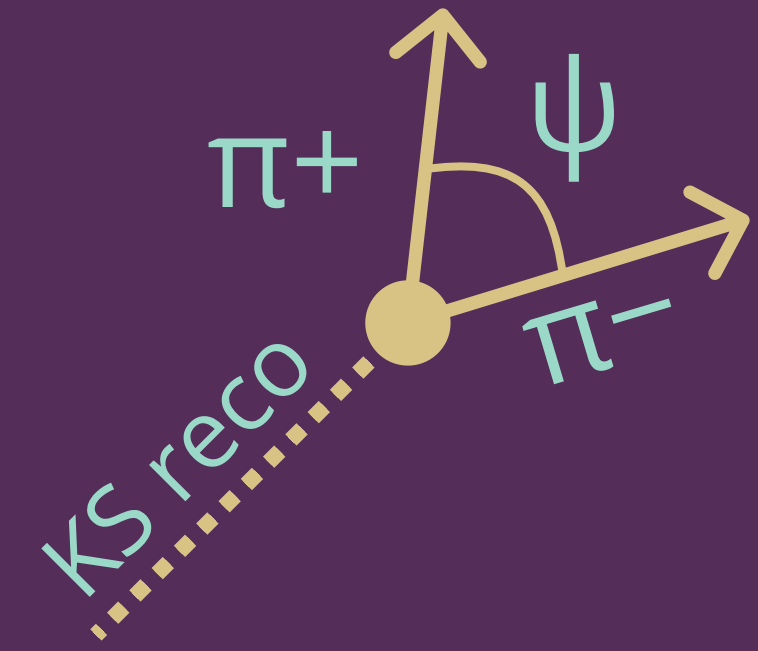
Угол в r - φ плоскости между импульсом K_S и направлением между вершиной распада и точкой взаимодействия



Распределения событий по углу α в эксперименте и MC
Для событий прошедших предотбор, HIGH19, $\sqrt{s} = 1.1$ GeV.
MC нормировано на количество событий в эксперименте.

Отбор по p - ψ

Отбор по зависимости импульсов π^\pm от пространственного угла между ними

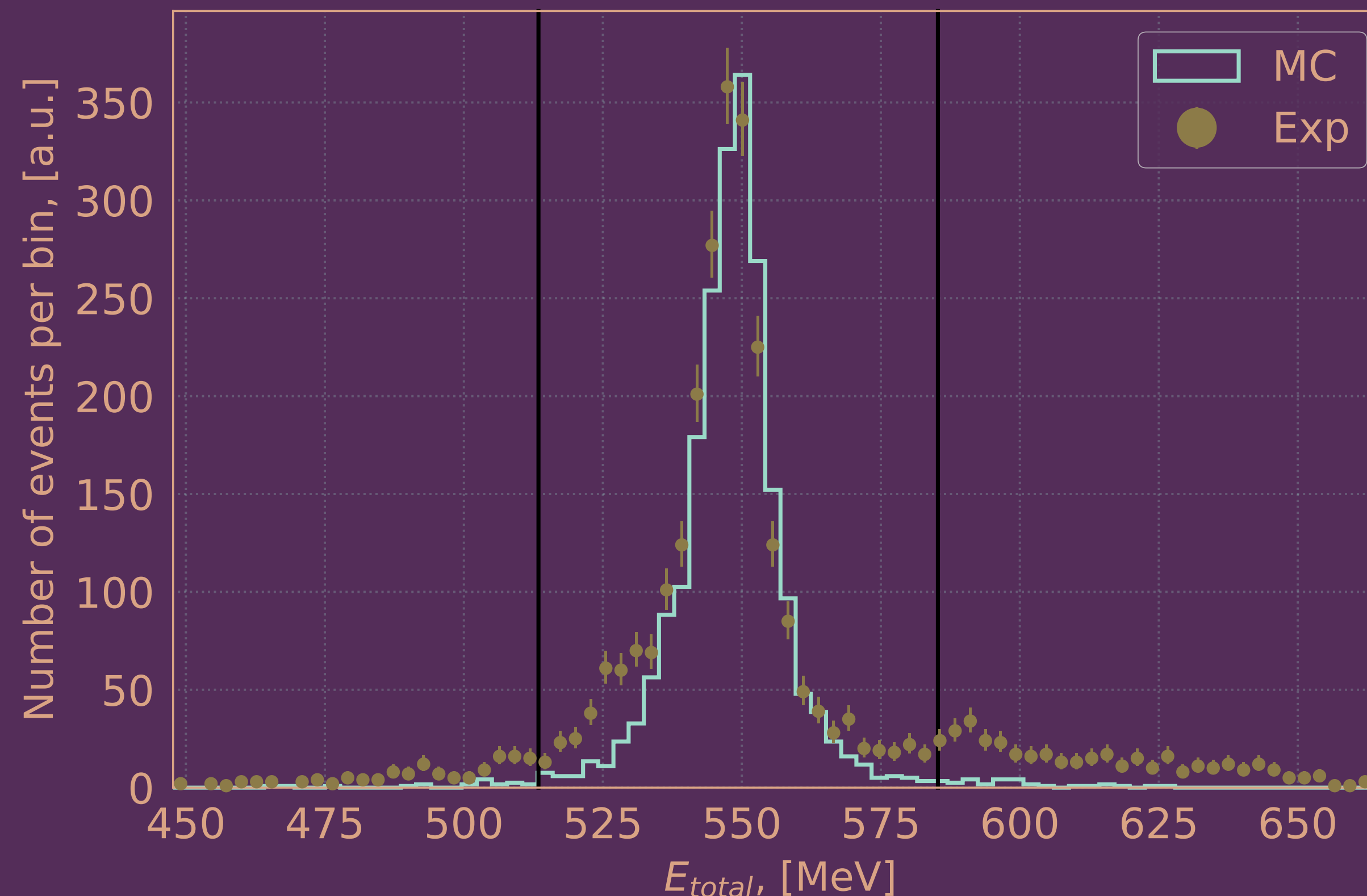
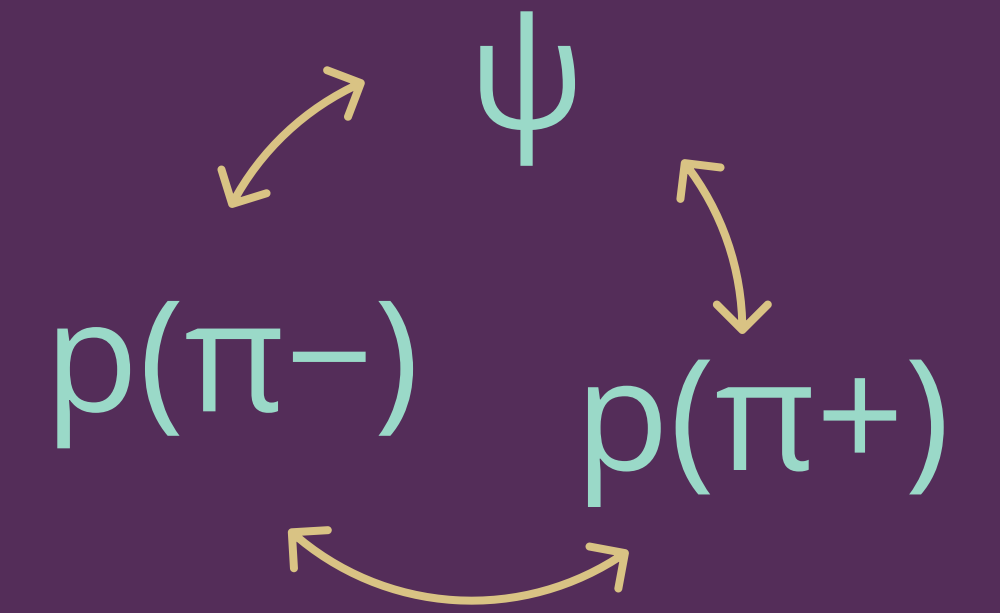


Распределение событий по импульсу одного из пионов распада в зависимости от пространственного угла между пионами в эксп. и MC.
HIGH19, 1.1 GeV. Чёрные линии – критерии отбора.

Отбор по энергии K_S

Использую третью взаимосвязь

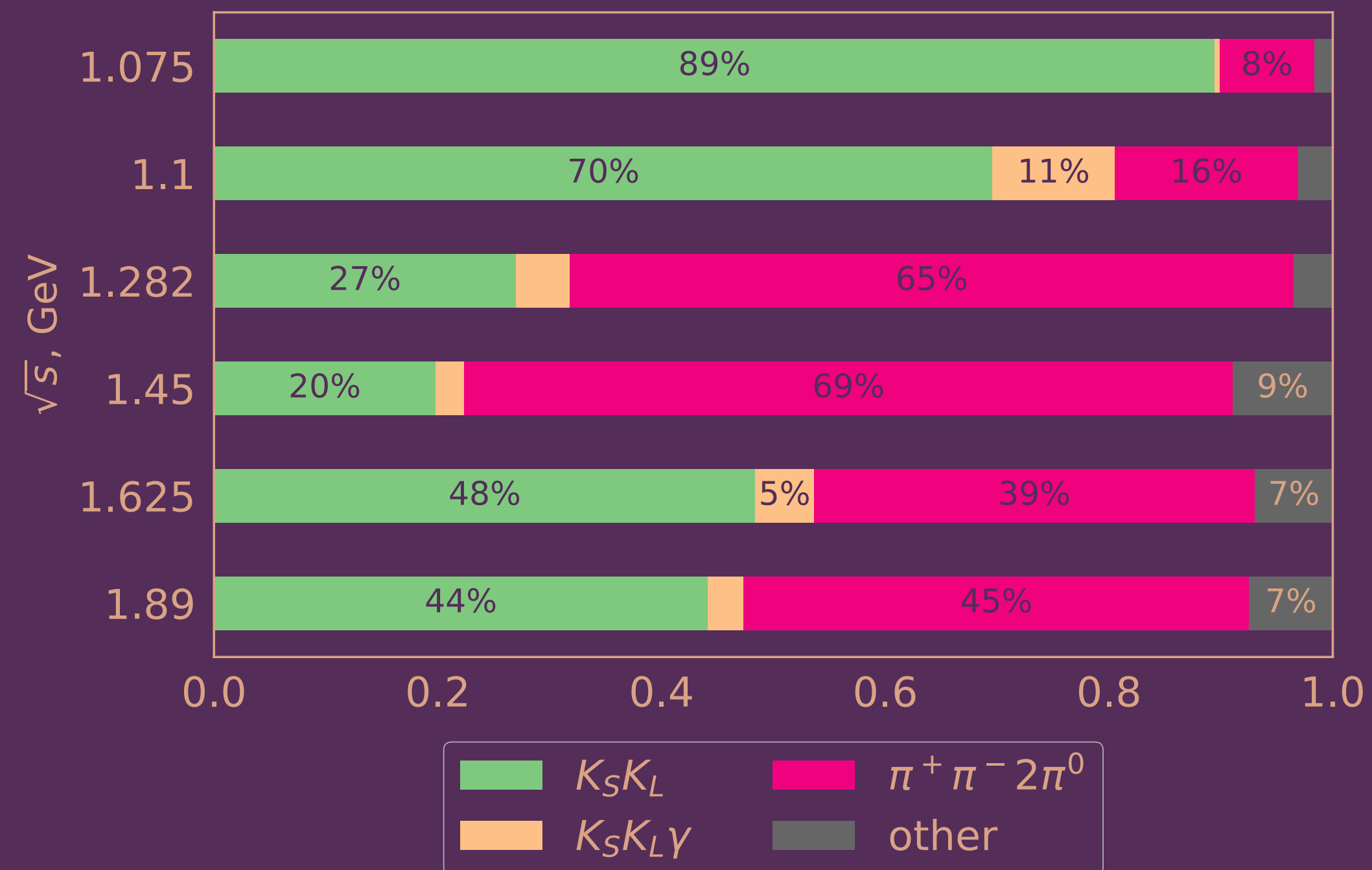
$$|\delta E| < 3 \cdot (0.04 \cdot E_{\text{beam}} - 10)$$



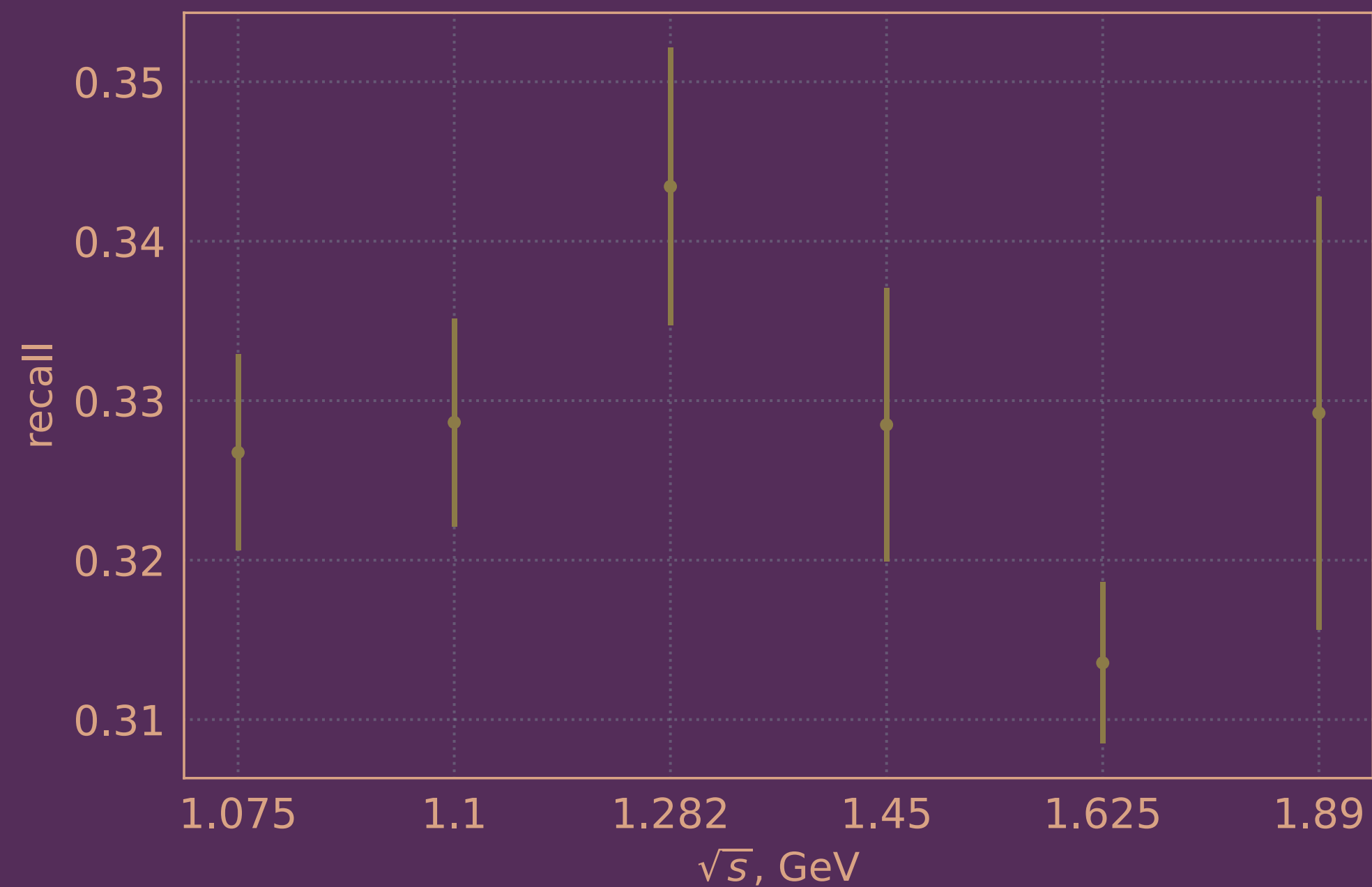
Распределение событий по энергии K_S в эксперименте и MC.
HIGH19, 1.1 GeV. Чёрным – критерии отбора

Ситуация после предыдущих отборов

Необходимость подавить фон от $2\pi^\pm 2\pi^0$ заставляет использовать данные калориметра и/или отлёт



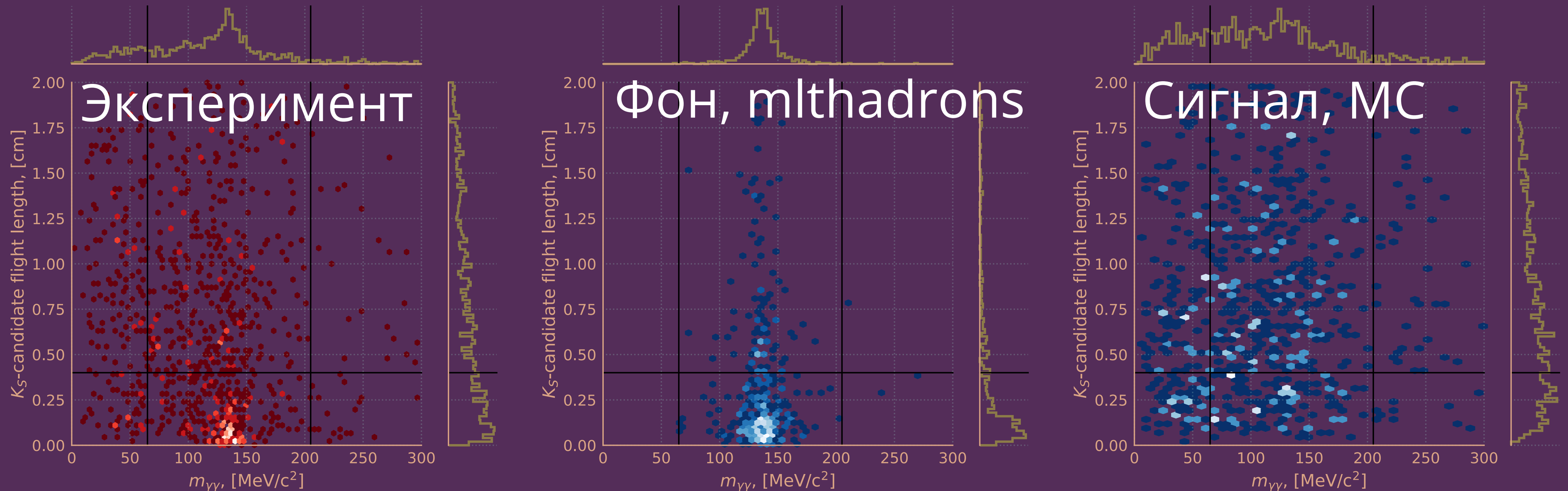
Состав отобранных событий согласно мультиадронному генератору, HIGH19
 $K_S K_L$ / $K_S K_L \gamma$ - события с радфоном мягче/жестче 30 МэВ



Эффективность регистрации событий $K_S K_L$ с фотоном мягче 30 МэВ после предыдущих отборов в зависимости от энергии в с.ц.м., HIGH19

Отбор по инв.массе 2γ в калориметре

Давлю фон от $2\pi^{\pm}2\pi^0$ с помощью калориметра и отлёта

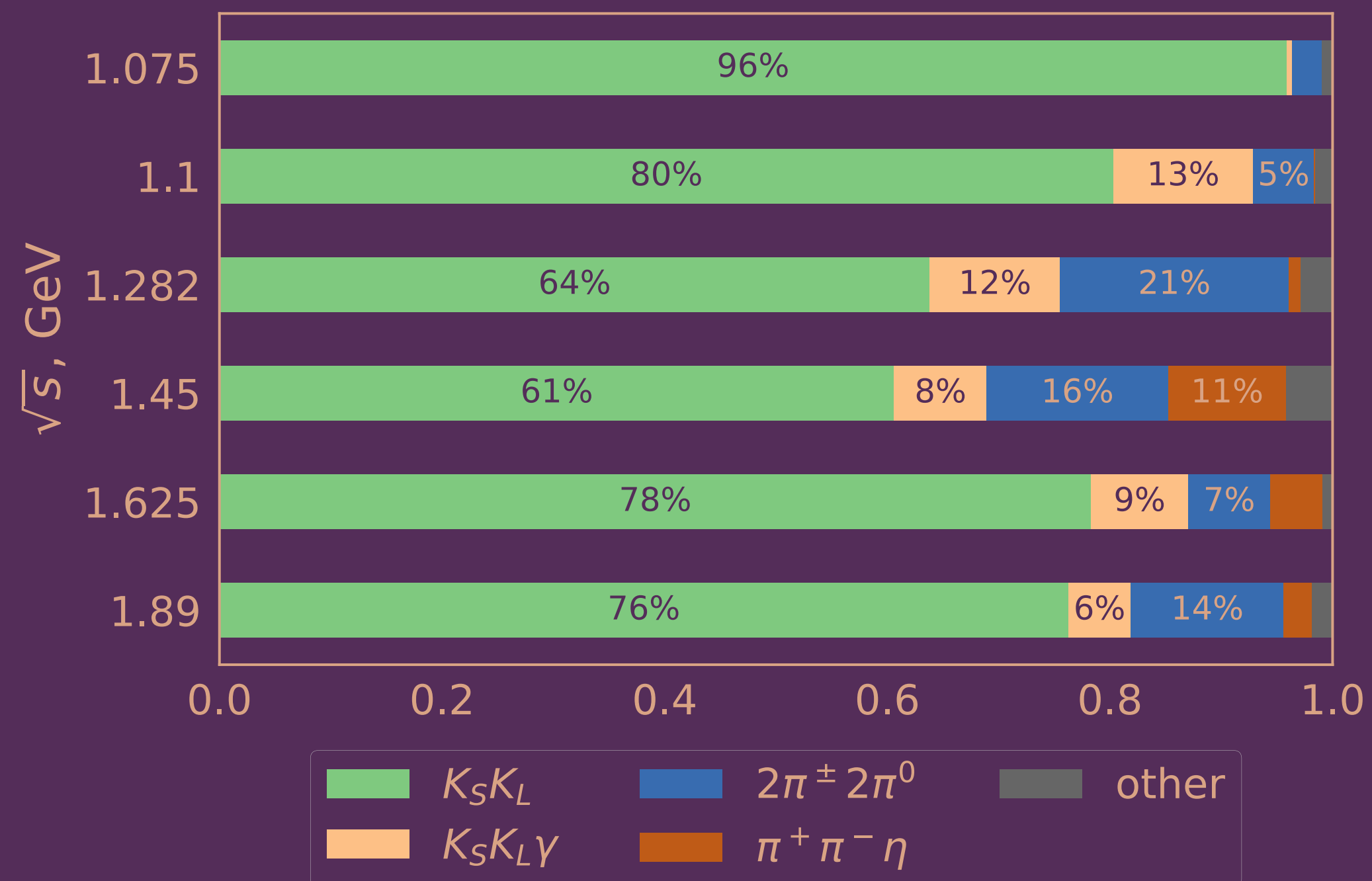


Распределение отобранных событий (до текущего критерия отбора) по длине отлёта K_S кандидата в зависимости от инв. массы наиболее близкой к массе π^0 пары фотонов в калориметре. Слева направо: эксперимент, МС фона согласно мультиадронному генератору, МС сигнала, HIGH19 1.1 GeV.

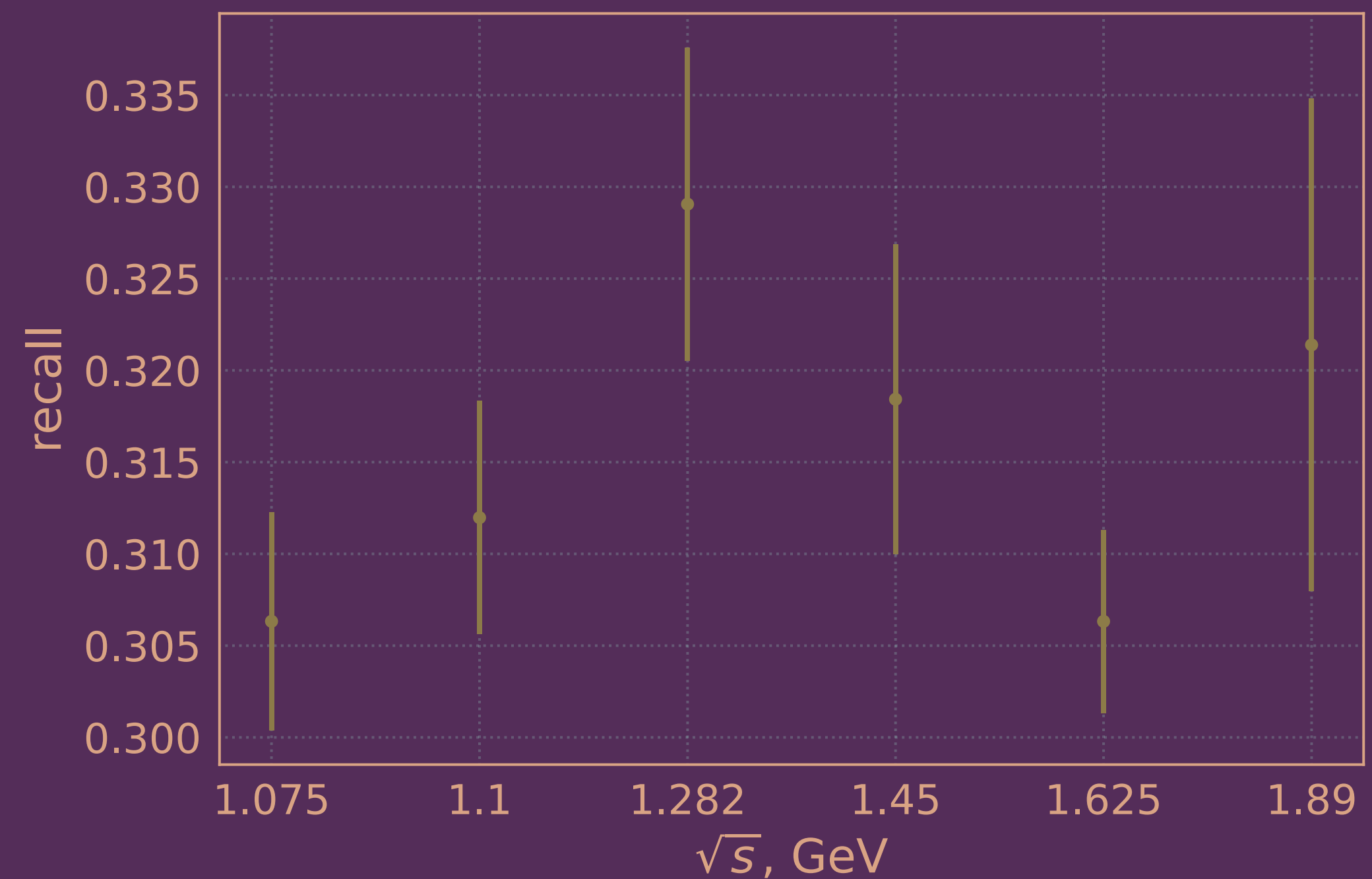
Чёрные линии - критерии отбора (убираю значения с отлётом < 0.4 cm и $|m_{\gamma\gamma} - m_{\pi^0}| < 70$ MeV)

Инв.масса 2γ / результат

Отбор эффективно устраняет $2\pi^\pm 2\pi^0$



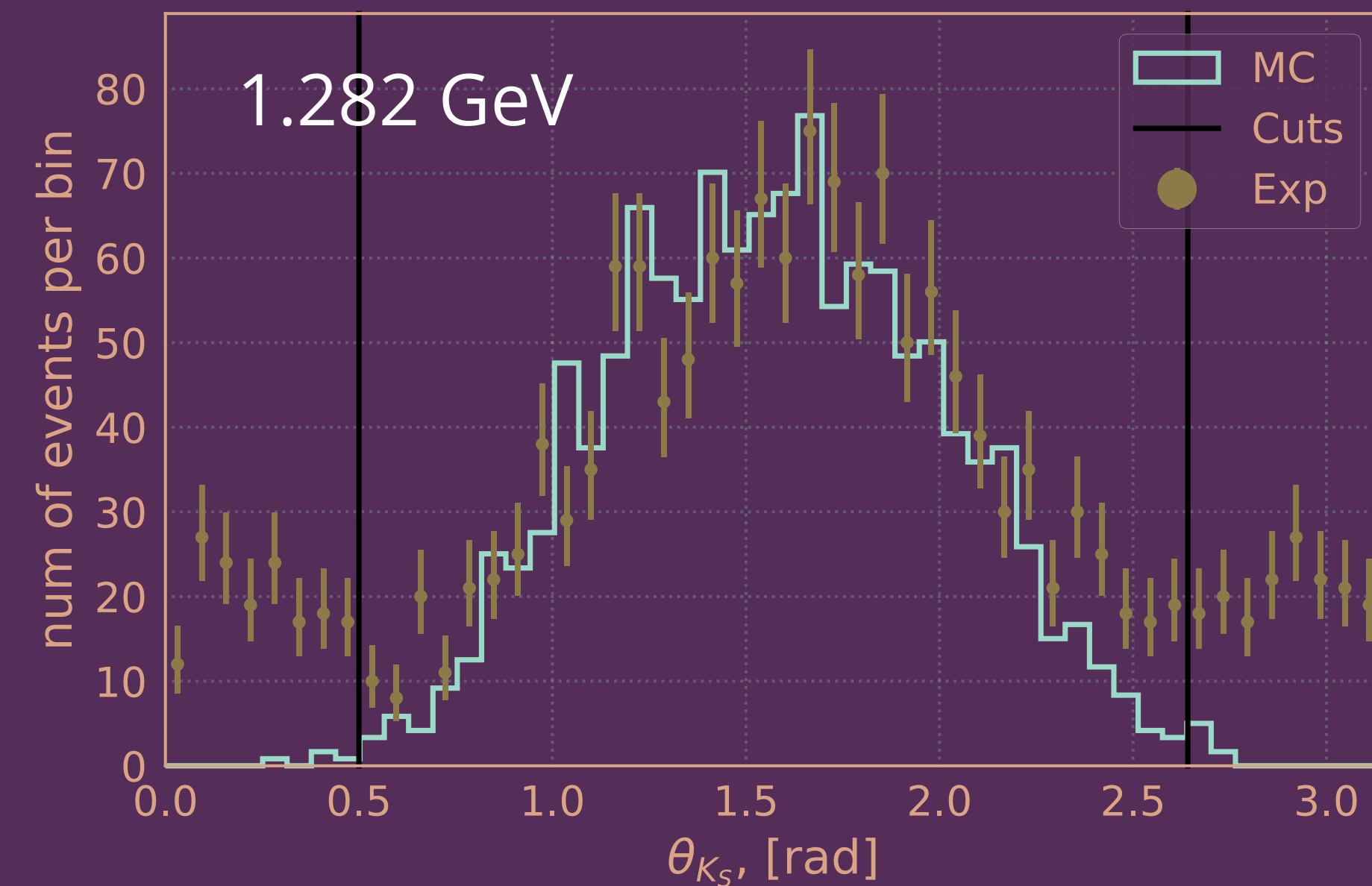
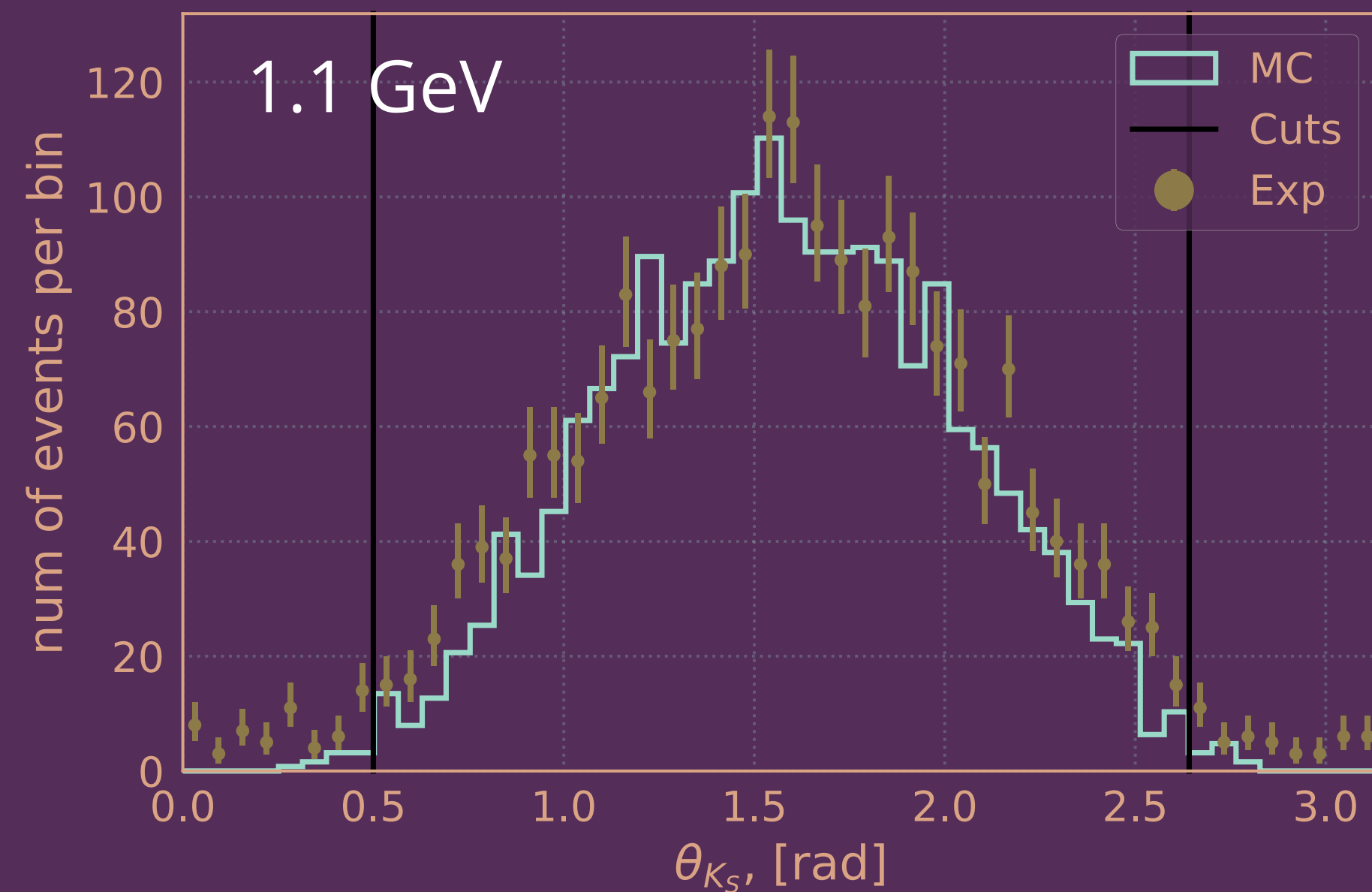
Состав отобранных событий согласно мультиадронному генератору, HIGH19



Эффективность регистрации событий $K_S K_L \gamma$ с фотоном мягче 30 МэВ после предыдущих отборов в зависимости от энергии в с.ц.м., HIGH19

Отбор по полярному углу K_S

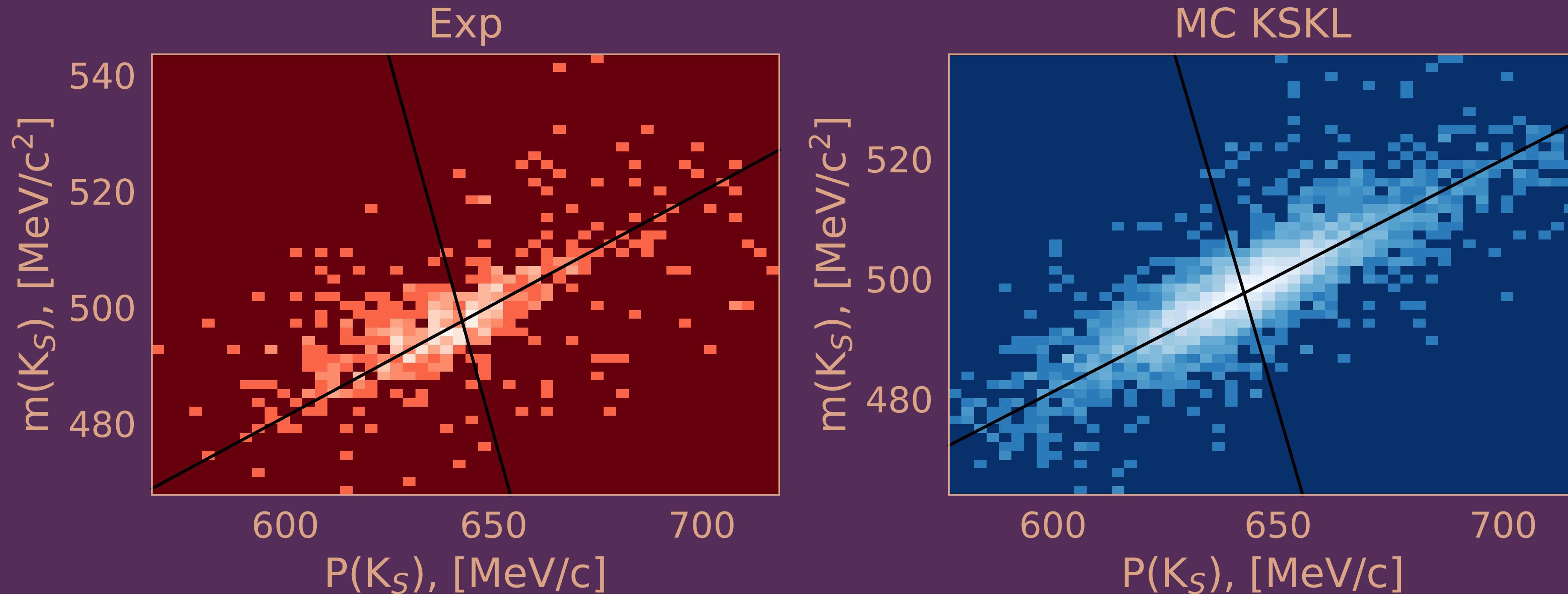
Есть возможность ещё немного подрезать фон



Распределение событий по полярному углу K_S после применения предыдущих отборов в эксперименте и MC KSKLy с фотоном мягче 30 МэВ. Чёрным - условие отбора. HIGH19, 1.1 GeV и 1.282 GeV

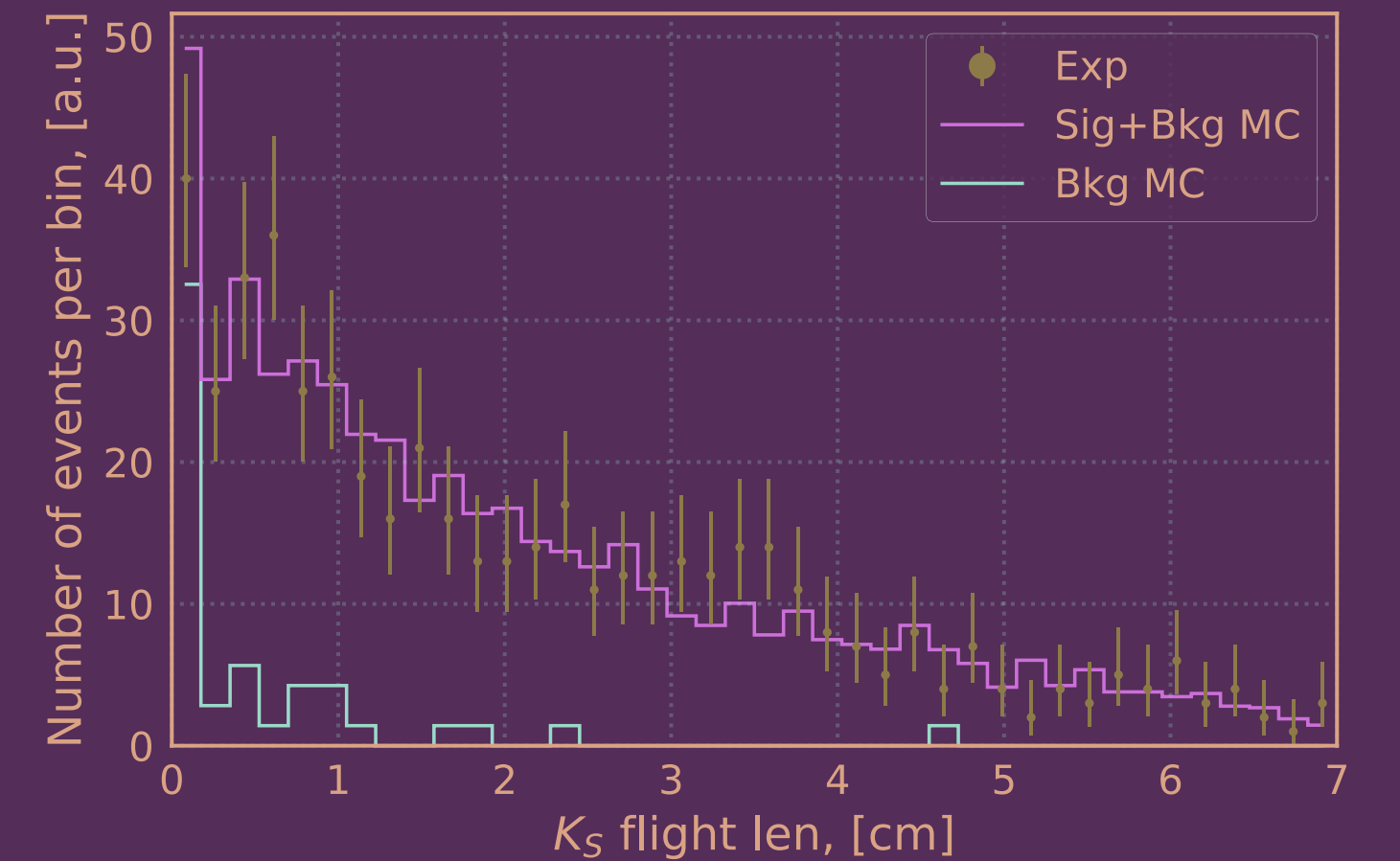
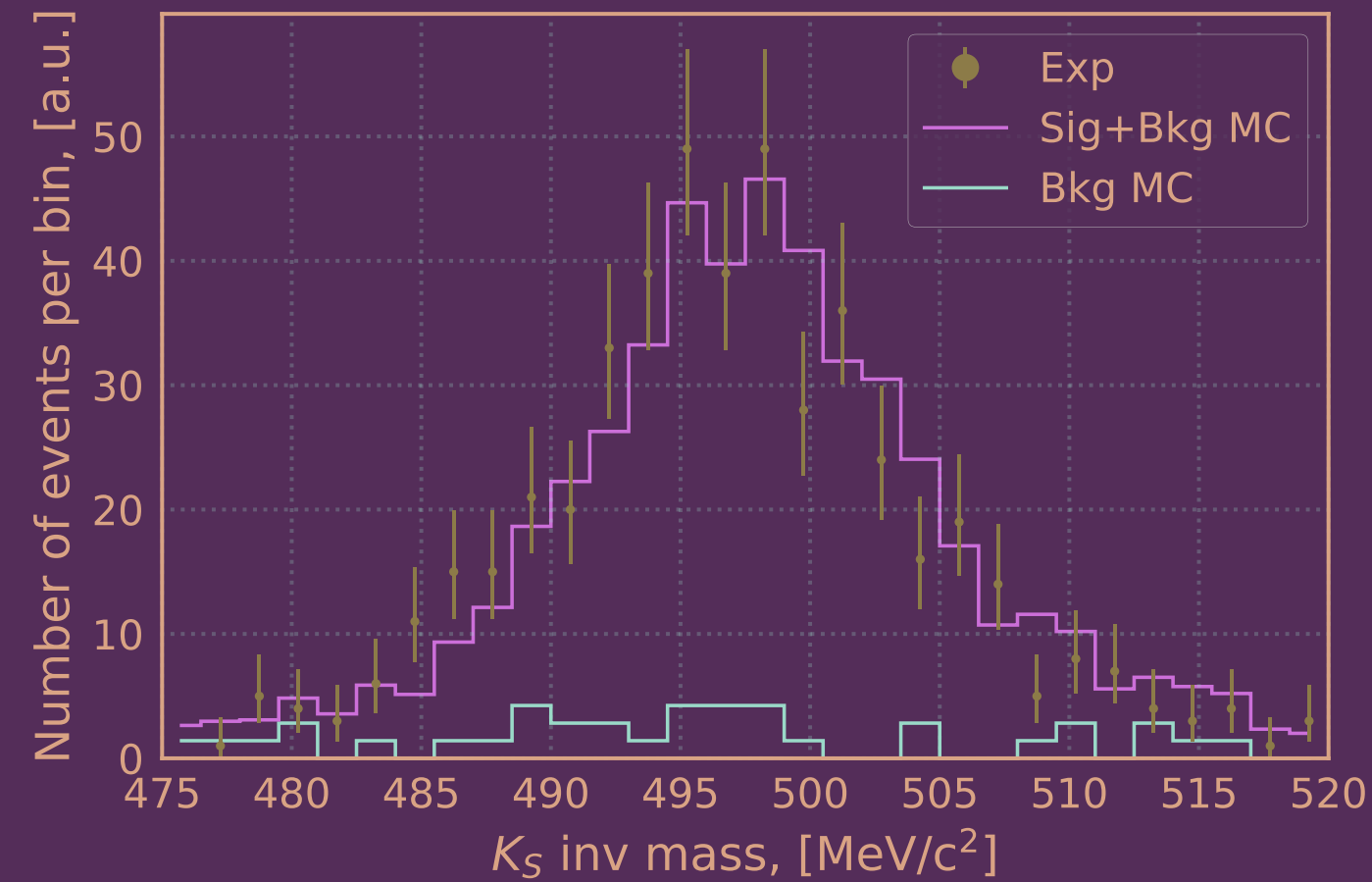
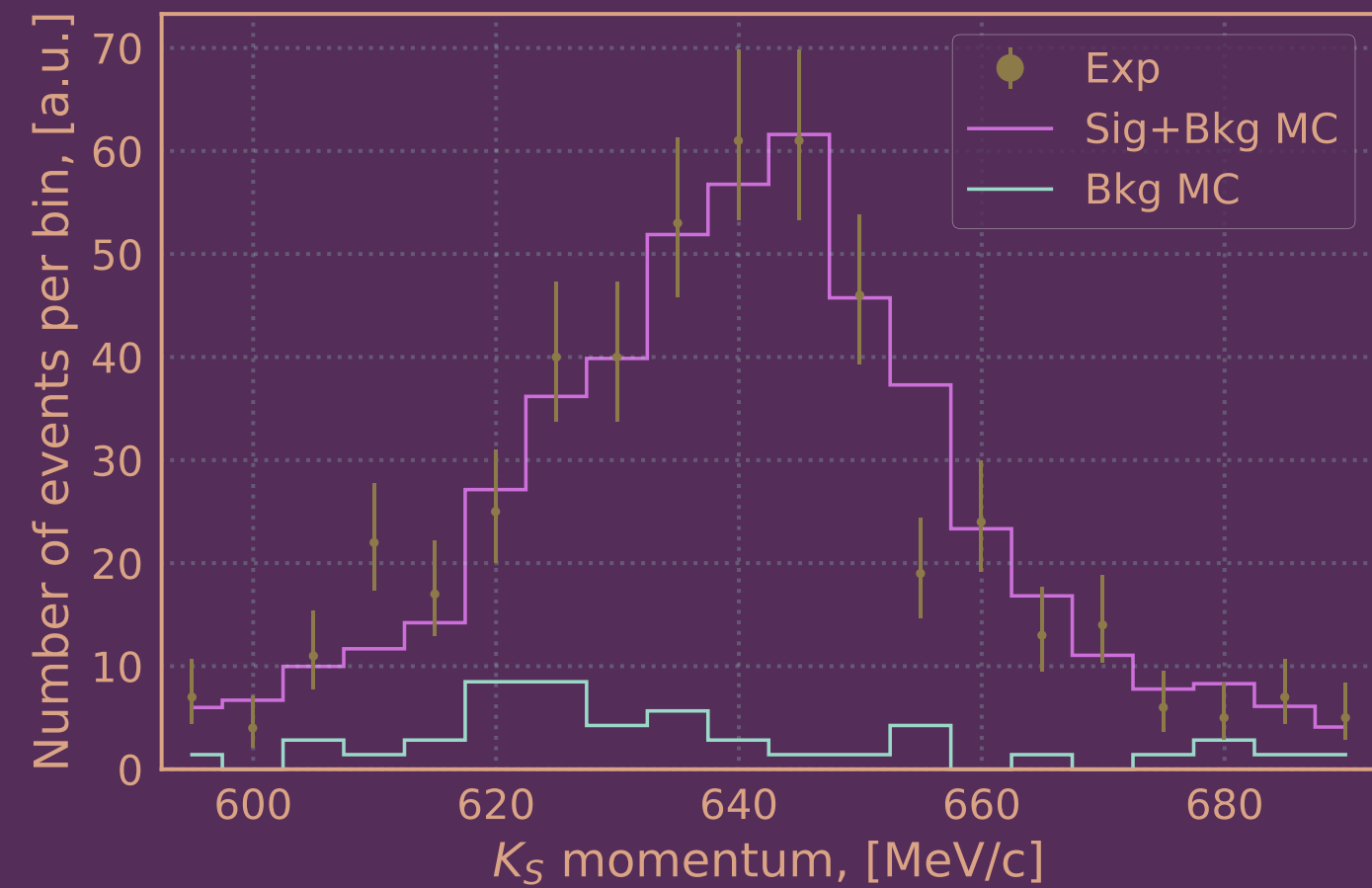
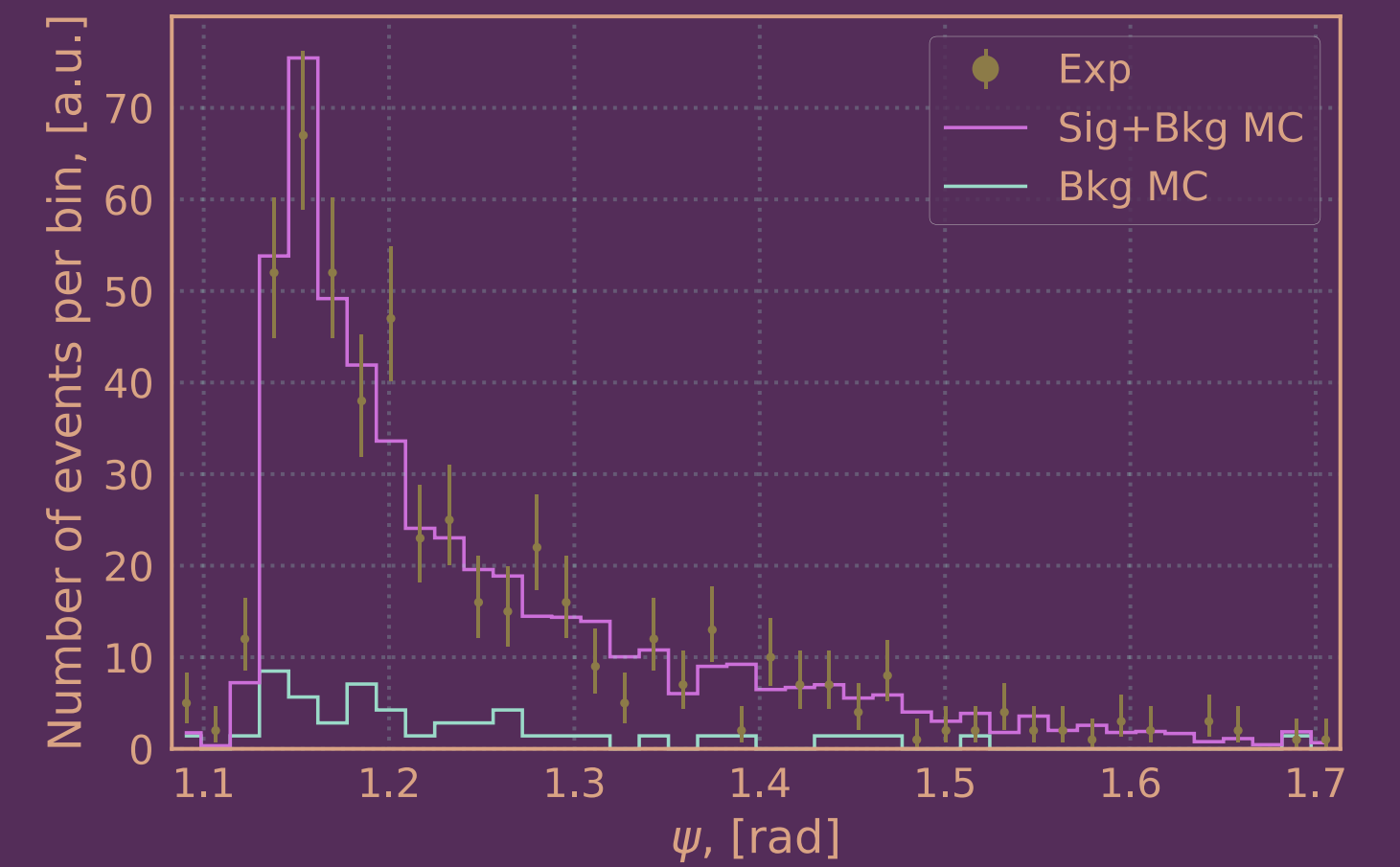
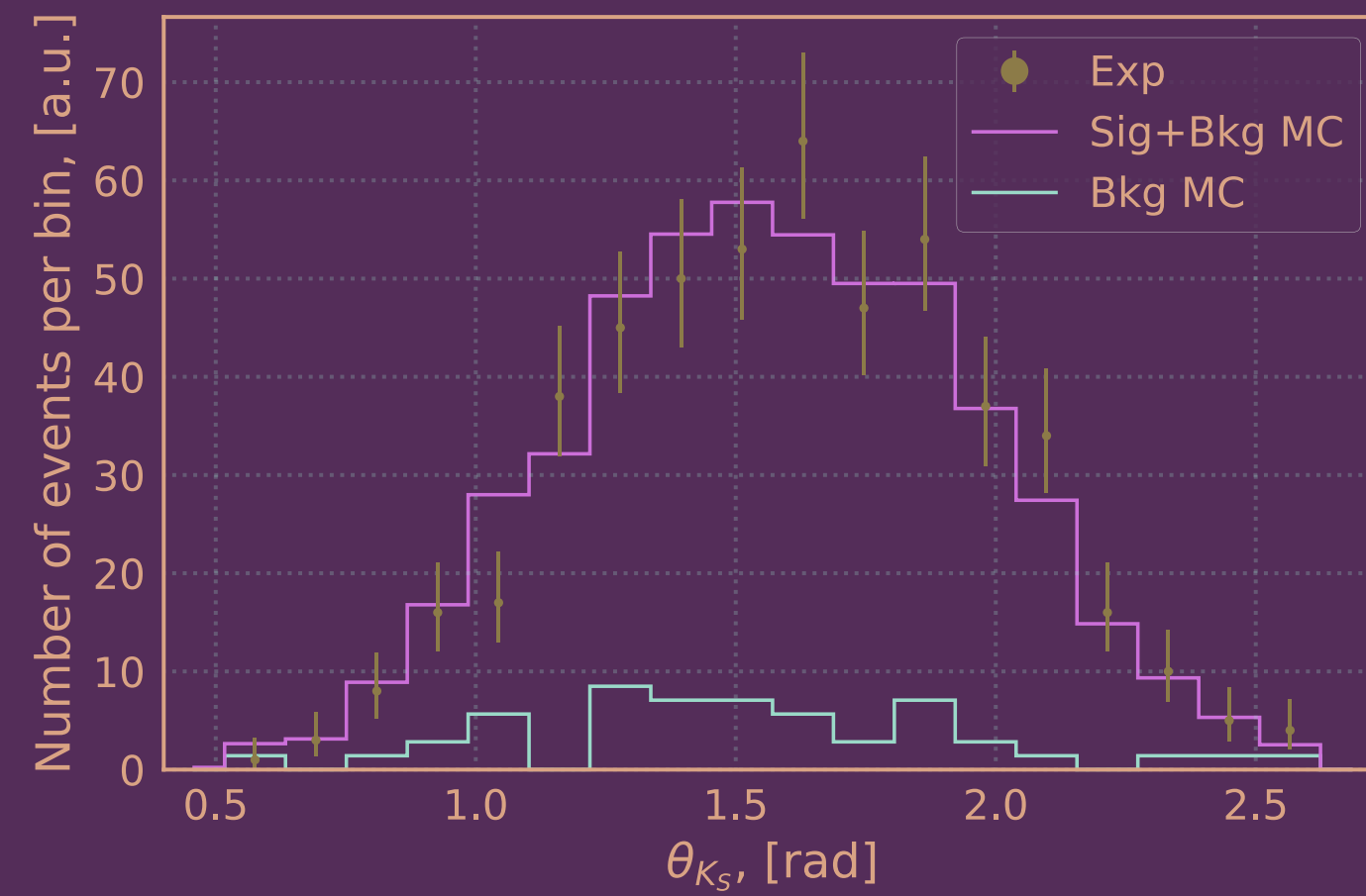
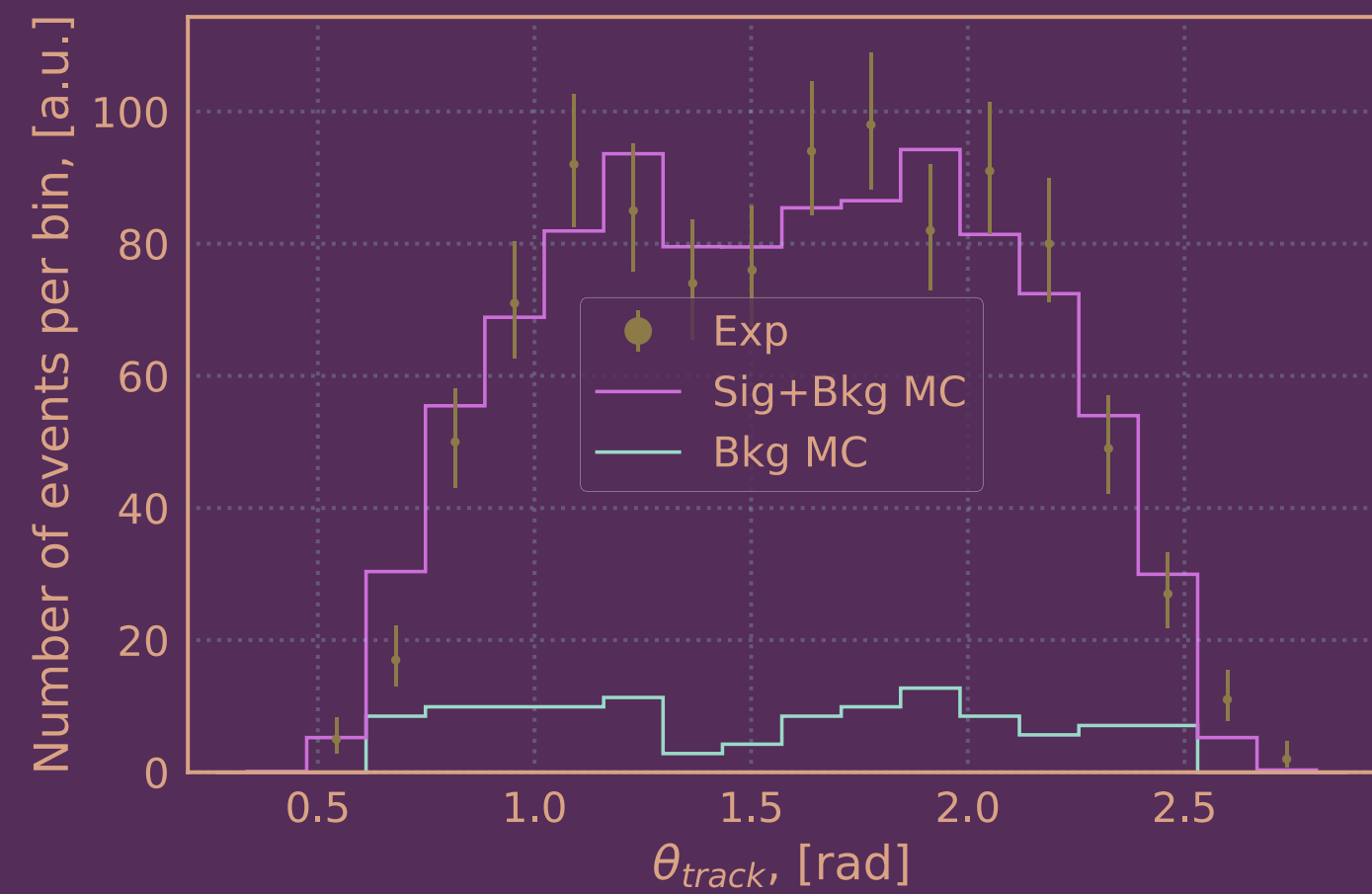
Инв.масса vs импульс KS

Поворачиваю оси, чтобы минимизировать корреляцию



Распределение событий по инв.массе KS в зависимости от импульса KS для событий, прошедших все предыдущие отборы, в эксперименте (слева) и моделировании KSKL γ с фотоном мягче 30 МэВ. Чёрным обозначены оси x1/x2. HIGH19, 1.825 GeV

Сравнение распределений



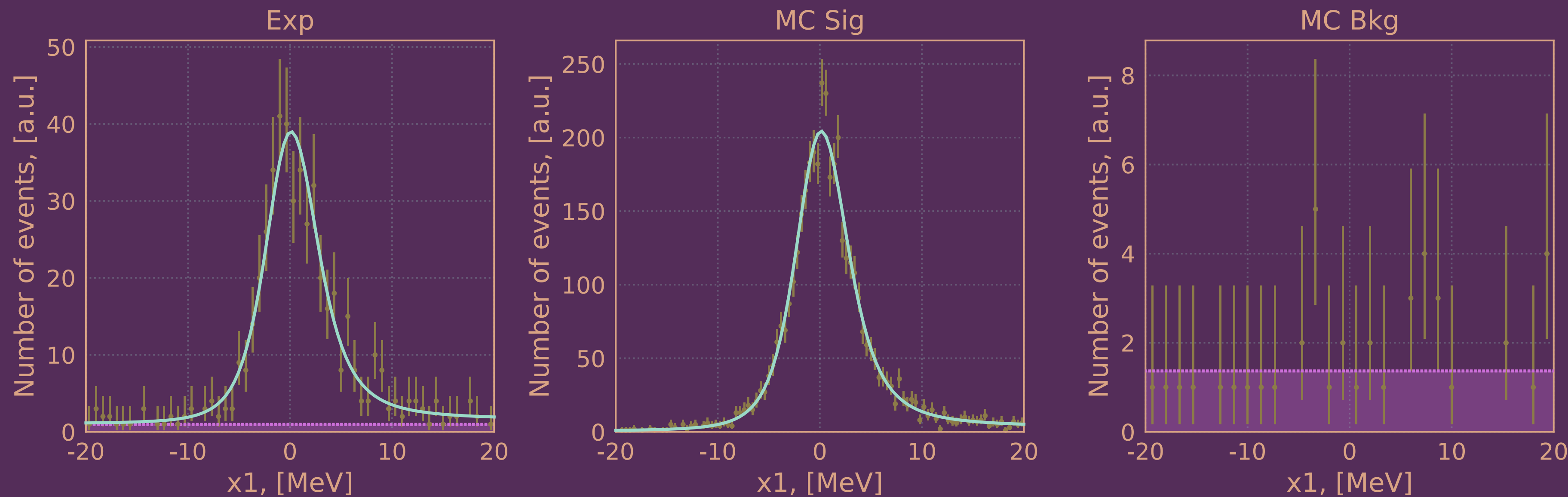
Сравнение различных распределений после применения критериев отбора в эксперименте и MC сигнала и фона.
HIGH19, 1.825 GeV

Поиск сигнальных событий

Для этого фитирую распределение x_1

Сигнал: функция Кройфа, фон: константа

Одновременный фит эксперимента и МС (unbinned LL)



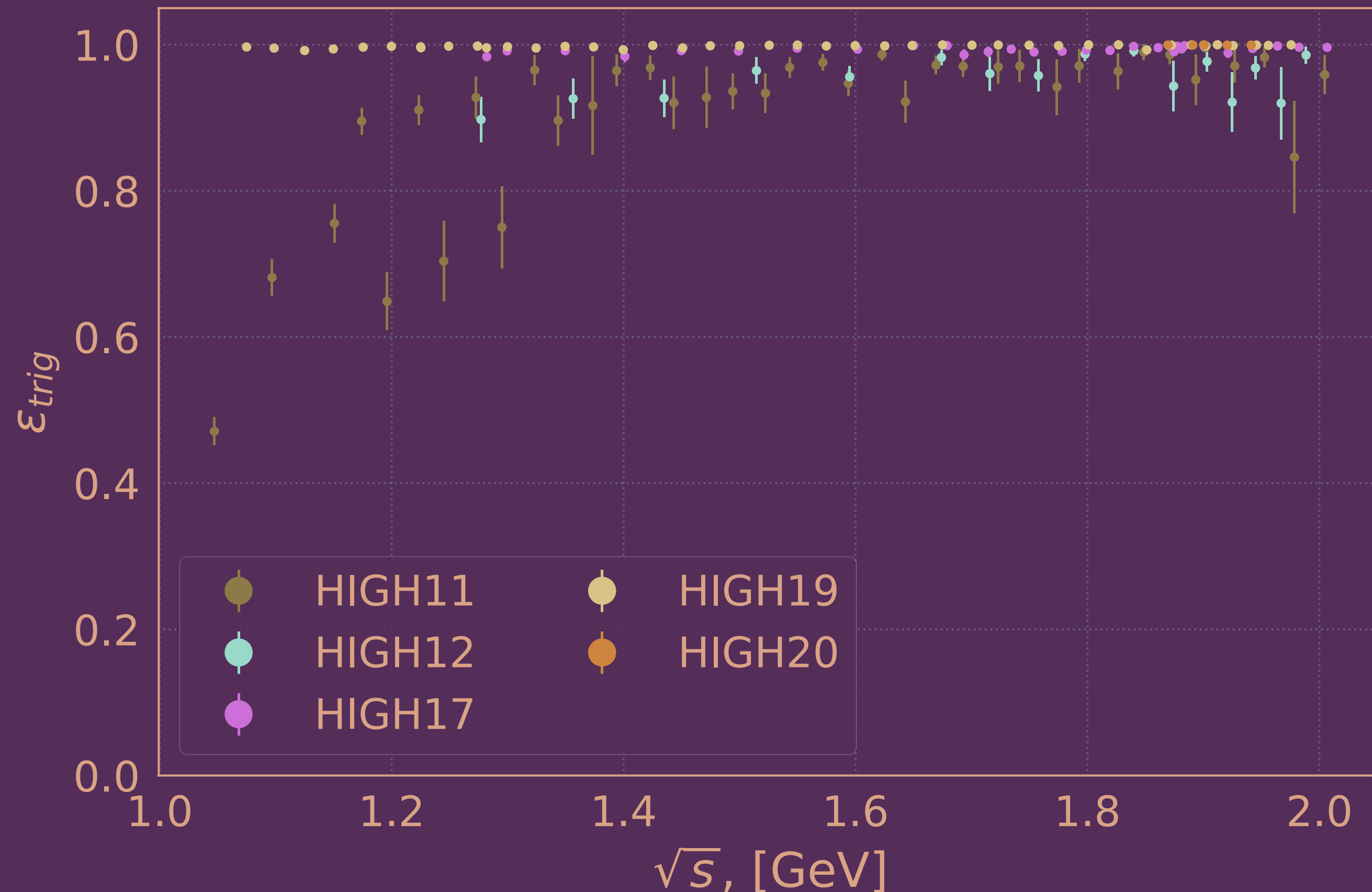
$-2\ln \mathcal{L}/\text{ndf} = 147.74/175$
Prob: 0.9337

$N_{sig} = 444.080 \pm 24.242$
 $\mu = 0.090 \pm 0.195$
 $\sigma_L = 2.344 \pm 0.100$
 $\sigma_R = 2.527 \pm 0.114$
 $\alpha_L = 0.081 \pm 0.004$
 $\alpha_R = 0.120 \pm 0.004$
 $N_{bkg} = 58.010 \pm 14.199$
 $N_{sig}(\text{MC}) = 3976.997 \pm 63.062$
 $\mu(\text{MC}) = 0.130 \pm 0.126$
 $N_{bkg}(\text{MC}) = 41.003 \pm 6.402$

Пример аппроксимации в точке HIGH 19, 1.825 GeV

Эффективность триггеров

В предположении независимости TF и CF



Эффективность срабатывания хотя бы одного триггера в зависимости от энергии в с.ц.м. по изучаемым сезонам

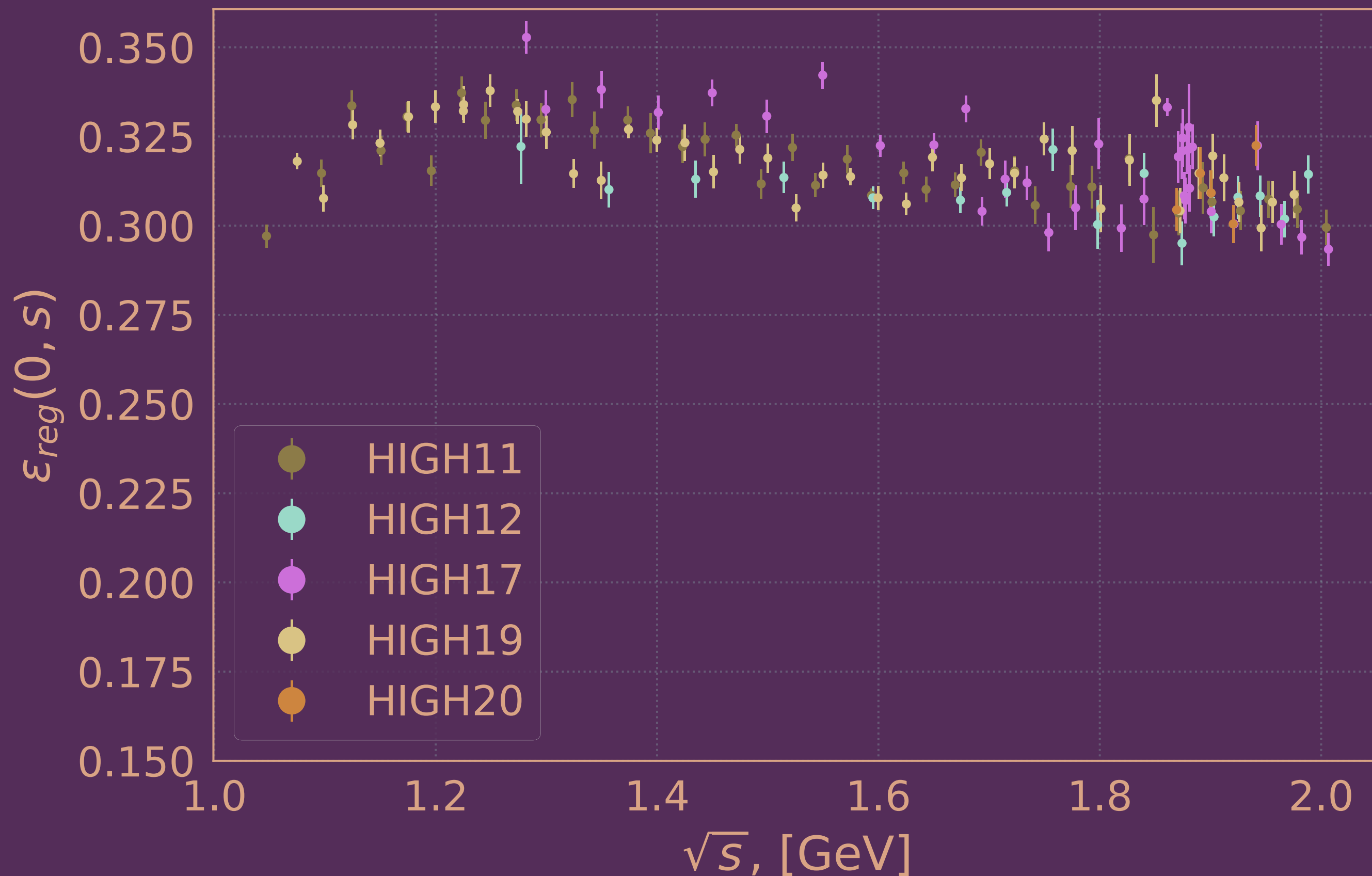
Эффективность срабатывания хотя бы одного триггера:

$$\epsilon_{trig} = 1 - (1 - \epsilon_{TF})(1 - \epsilon_{CF})$$

Эффективность срабатывания TF/CF триггера:

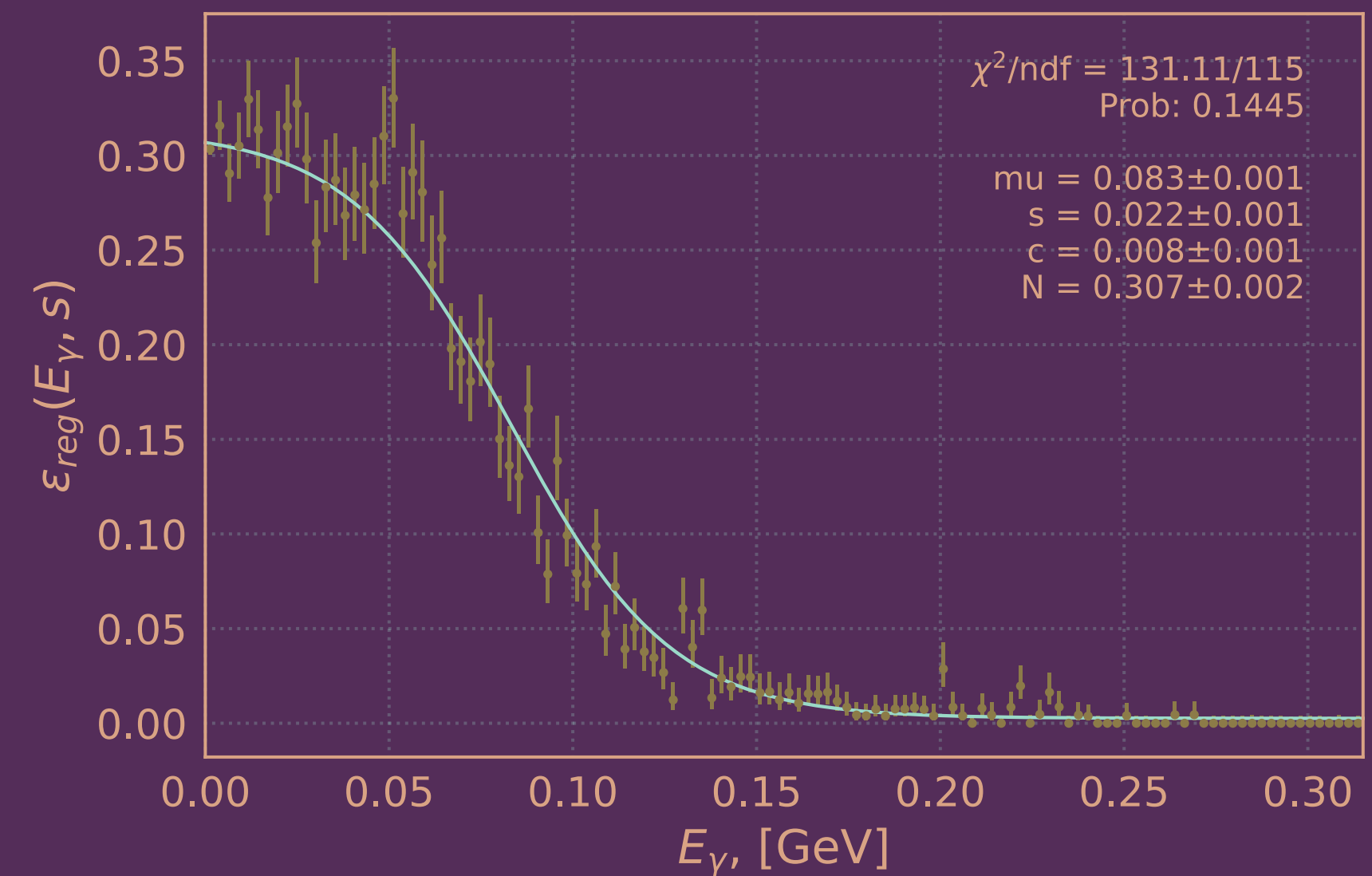
$$\epsilon_{T/CF} = \frac{N_{T\&C}}{N_{T\&C} + N_{C/T \text{ \{only\}}}}$$

Эффективность регистрации



Эффективность регистрации сигнального процесса без радиационного фотона в зависимости от энергии в с.ц.м. по всем изучаемым сезонам

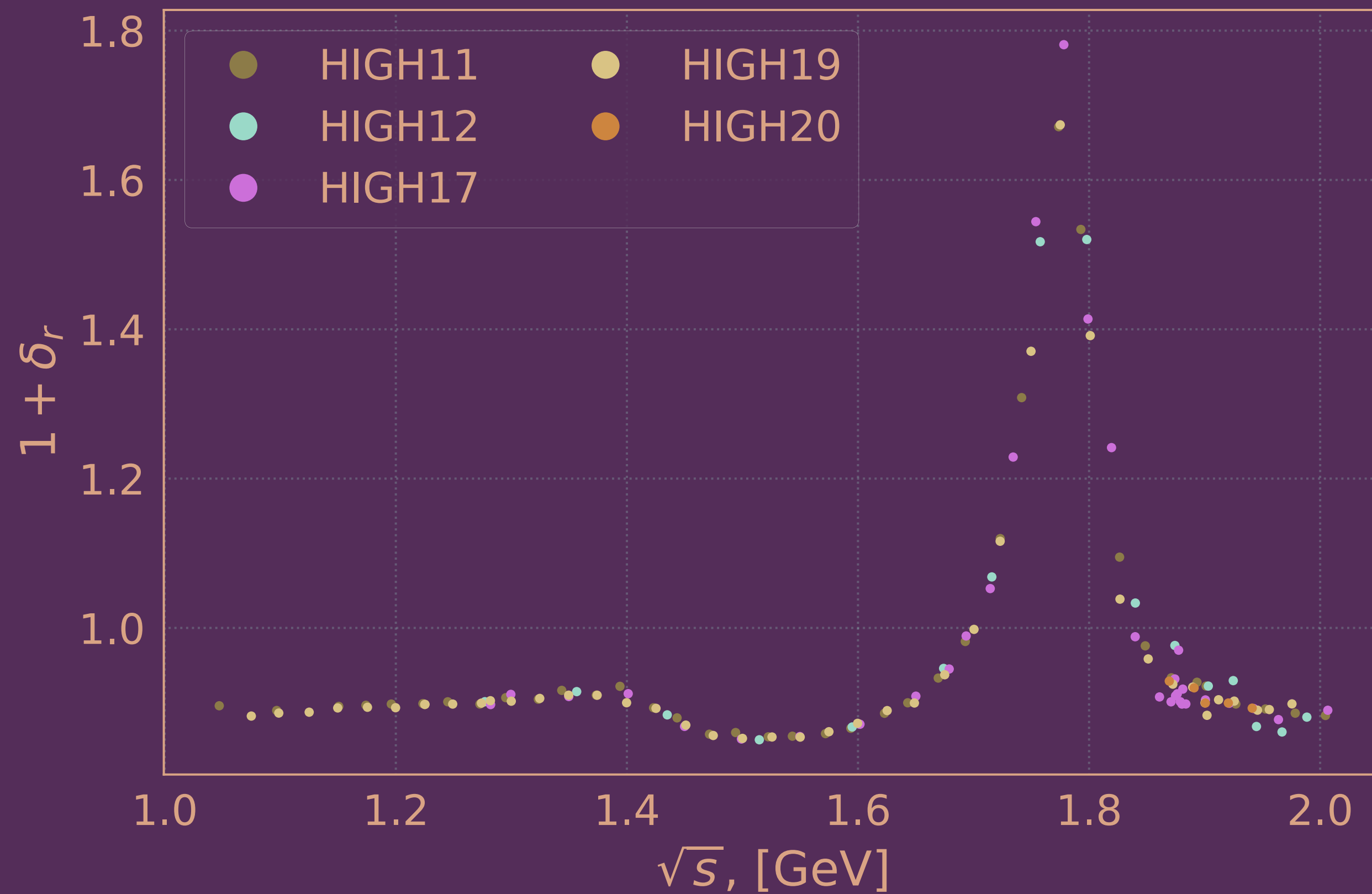
Фитирую эфф. регистрации от энергии рад.фотона сигмной, чтобы использовать для расчёта рад. поправки



Аппроксимация эффективности регистрации в зависимости от энергии рад.фотона HIGH19, 1.625 GeV

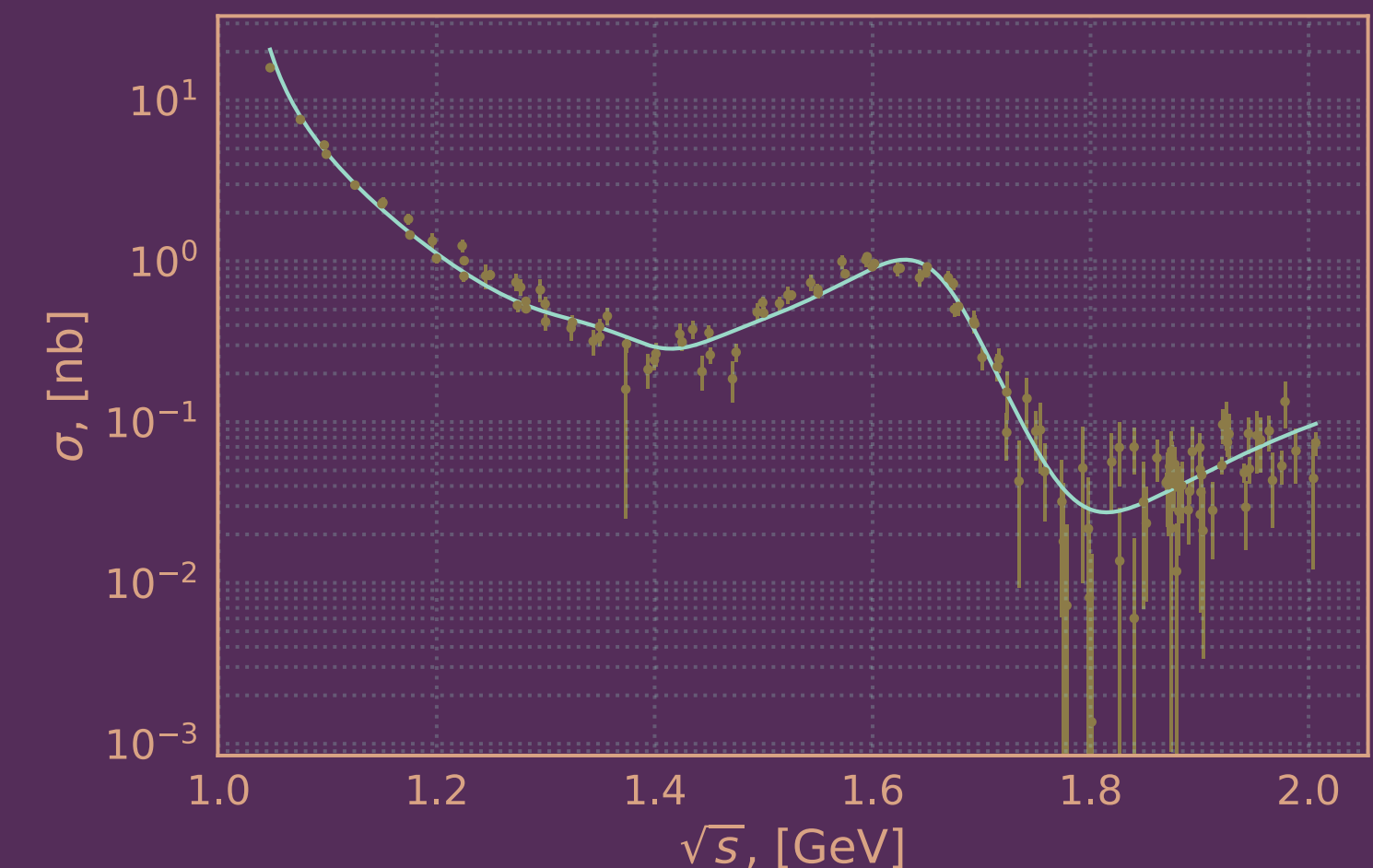
Радиационная поправка

Вычисляю поправку итерационным методом



Зависимость радиационной поправки от энергии в с.ц.м. для всех изучаемых сезонов

$$\frac{N_{\text{sig}}}{L} = \int_0^1 dx \sigma_b(s[1-x])\varepsilon(x,s)F(x,s)$$



Зависимость борновского сечения от энергии фитируется с помощью МДВМ

Поправка на эффективность ДК

Поправка на ДК / определение

Смотреть на распределение по θ для $\pi^{+/-}$, если $\pi^{+/-}$ полетел в центральную часть ДК

Определение эффективности рек. 2 треков в ДК:

$$\varepsilon_{DC} = P(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) = \sum_{i,j} P(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2 | \theta_1^i, \theta_2^j) P(\theta_1^i, \theta_2^j)$$

- $r_{1/2}$ - трек 1/2 реконструирован
- $\theta_{1/2}$ - полярный угол 1/2 треков
- θ^c - центральный угол ($\pi/2 \pm 0.4$)

$$1 + \delta_{DC} = \frac{P_{\text{exp}}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)}{P_{\text{MC}}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)} = \dots = \sum_{i,j} \Delta_{ij} P_{\text{MC}}(\theta_1^i, \theta_2^j | \mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)$$

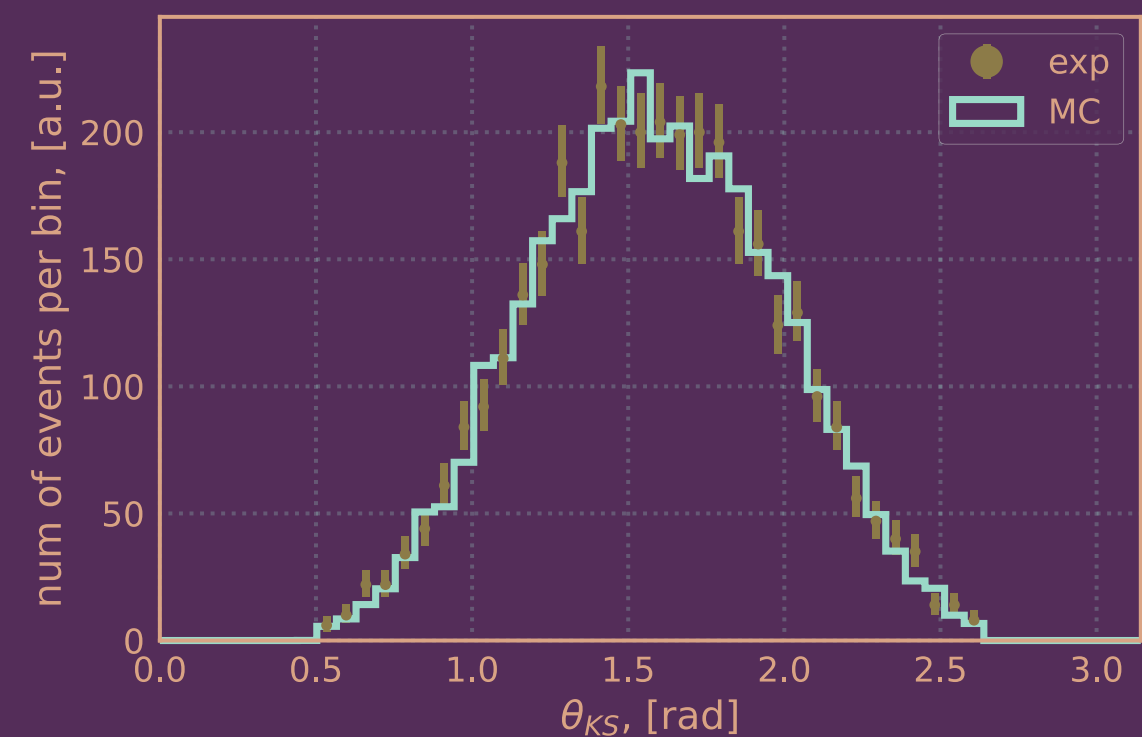
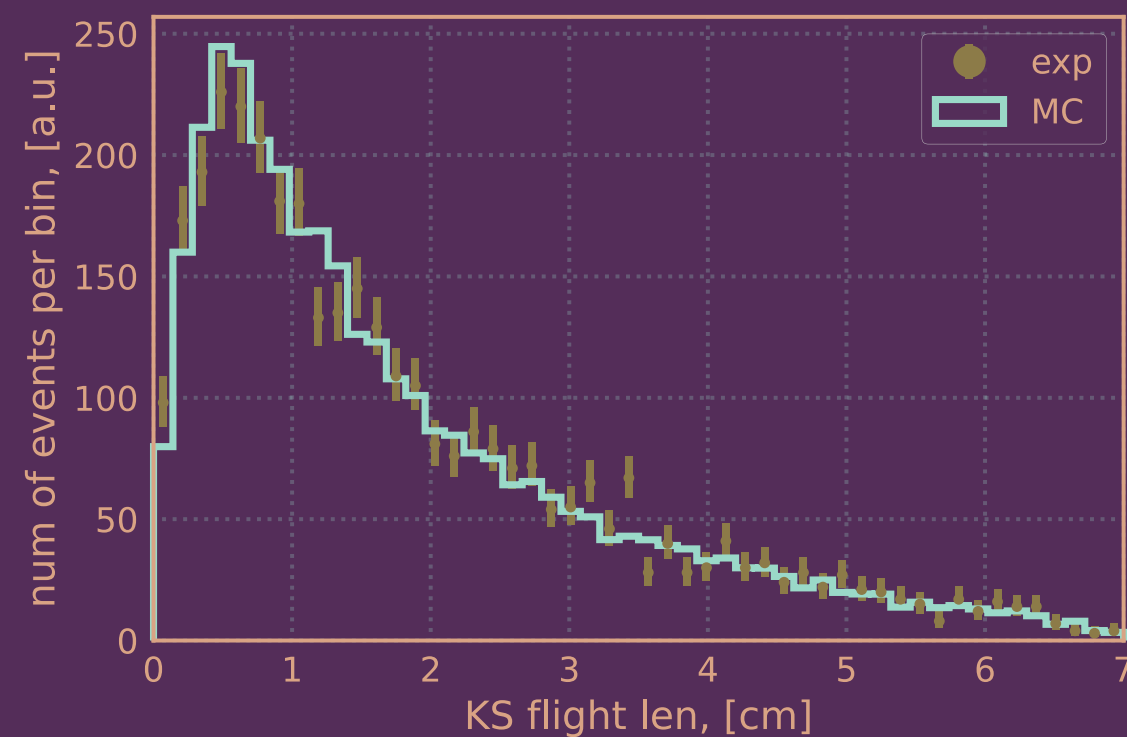
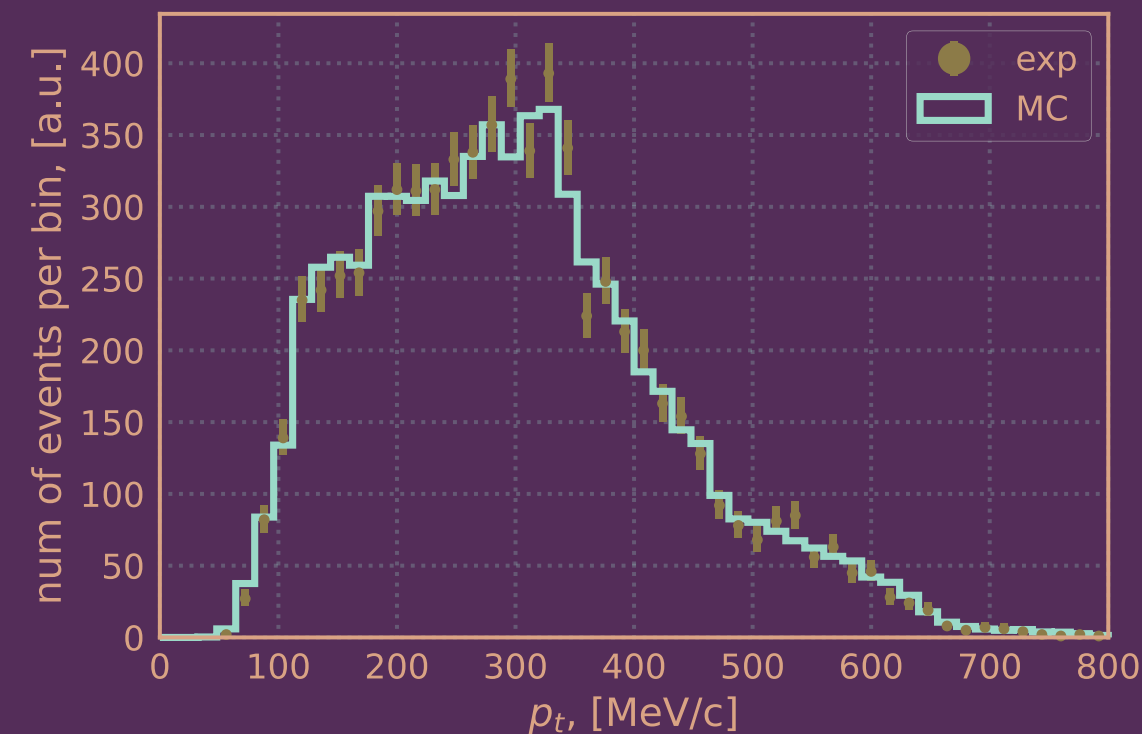
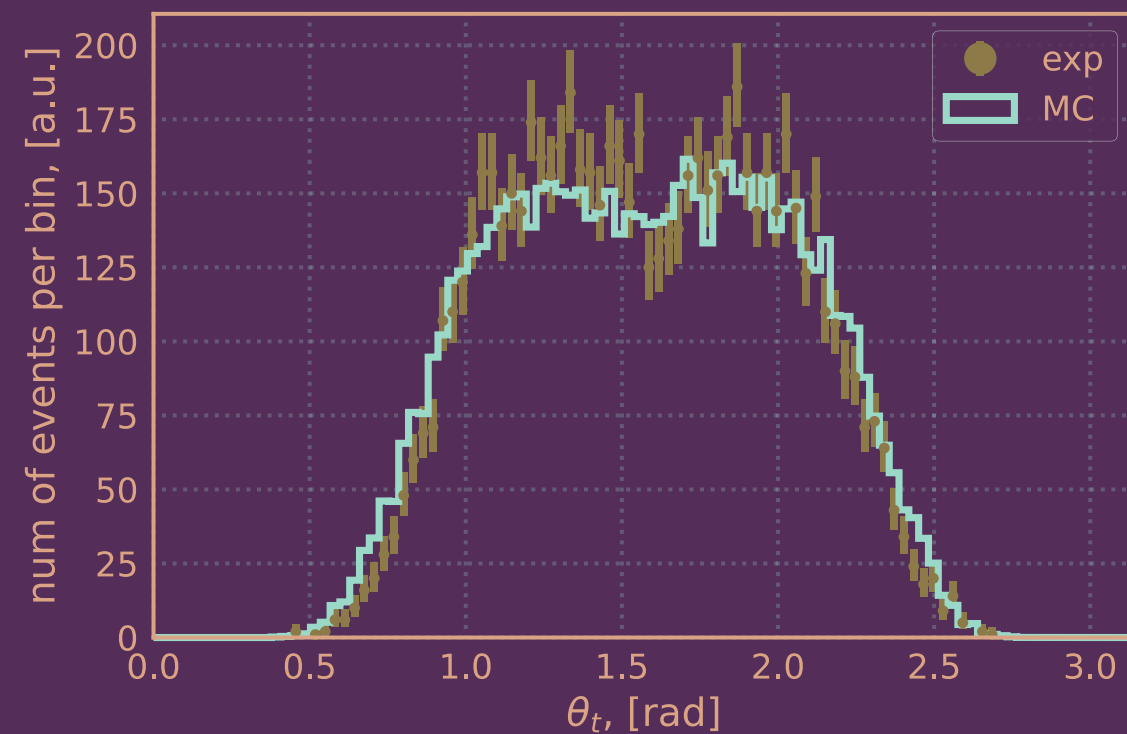
$$\Delta_{ij} = \frac{P_{\text{exp}}(\theta_1^i, \theta_2^j | \mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)}{P_{\text{MC}}(\theta_1^i, \theta_2^j | \mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)} \frac{P_{\text{MC}}(\theta_1^c, \theta_2^c | \mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)}{P_{\text{exp}}(\theta_1^c, \theta_2^c | \mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)}$$

Заложены предположения:

- равенство эффективностей в эксп и МС в центральной части ДК
- Δ_{ij} не меняется в течение сезона

Поправка на ДК / подготовка данных

Получаю сэмплы чистых событий, ужесточая отборы



Отборы:

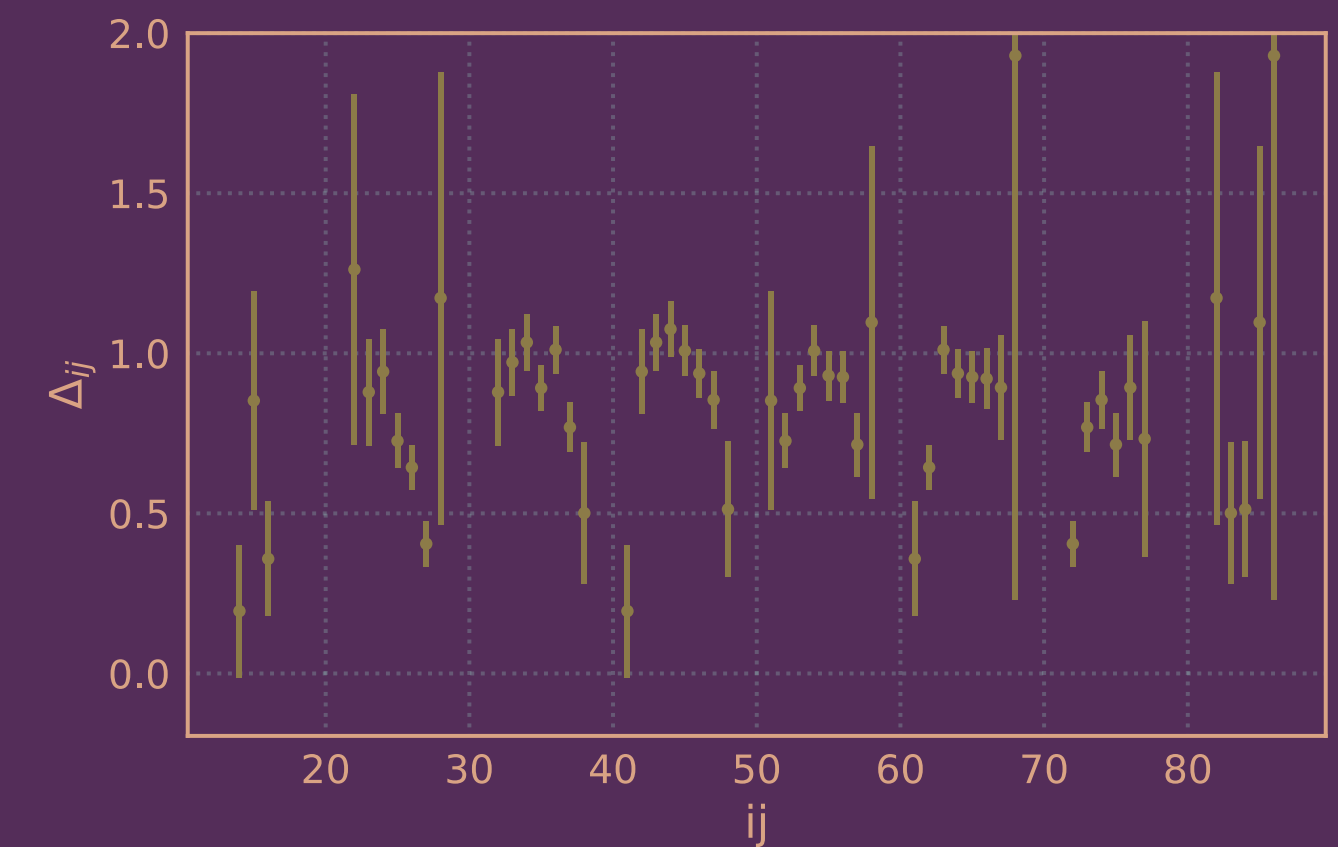
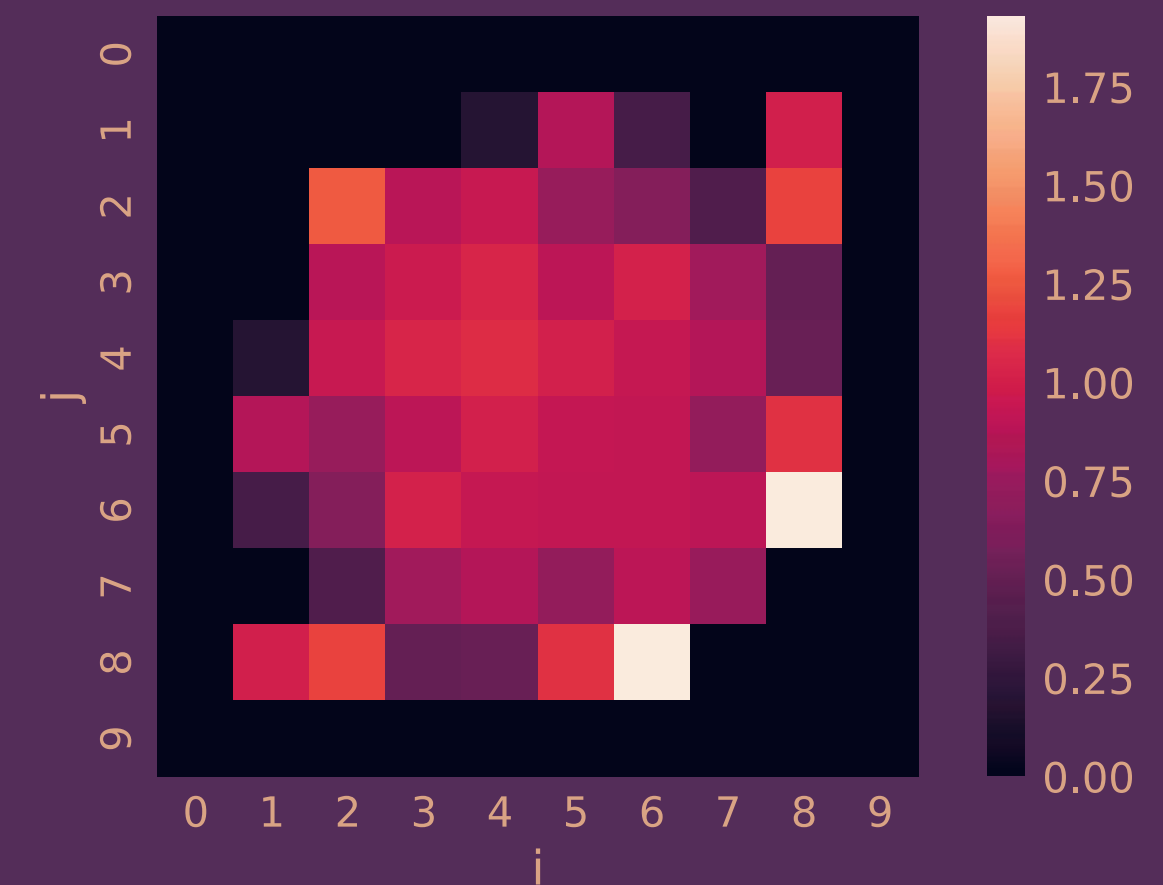
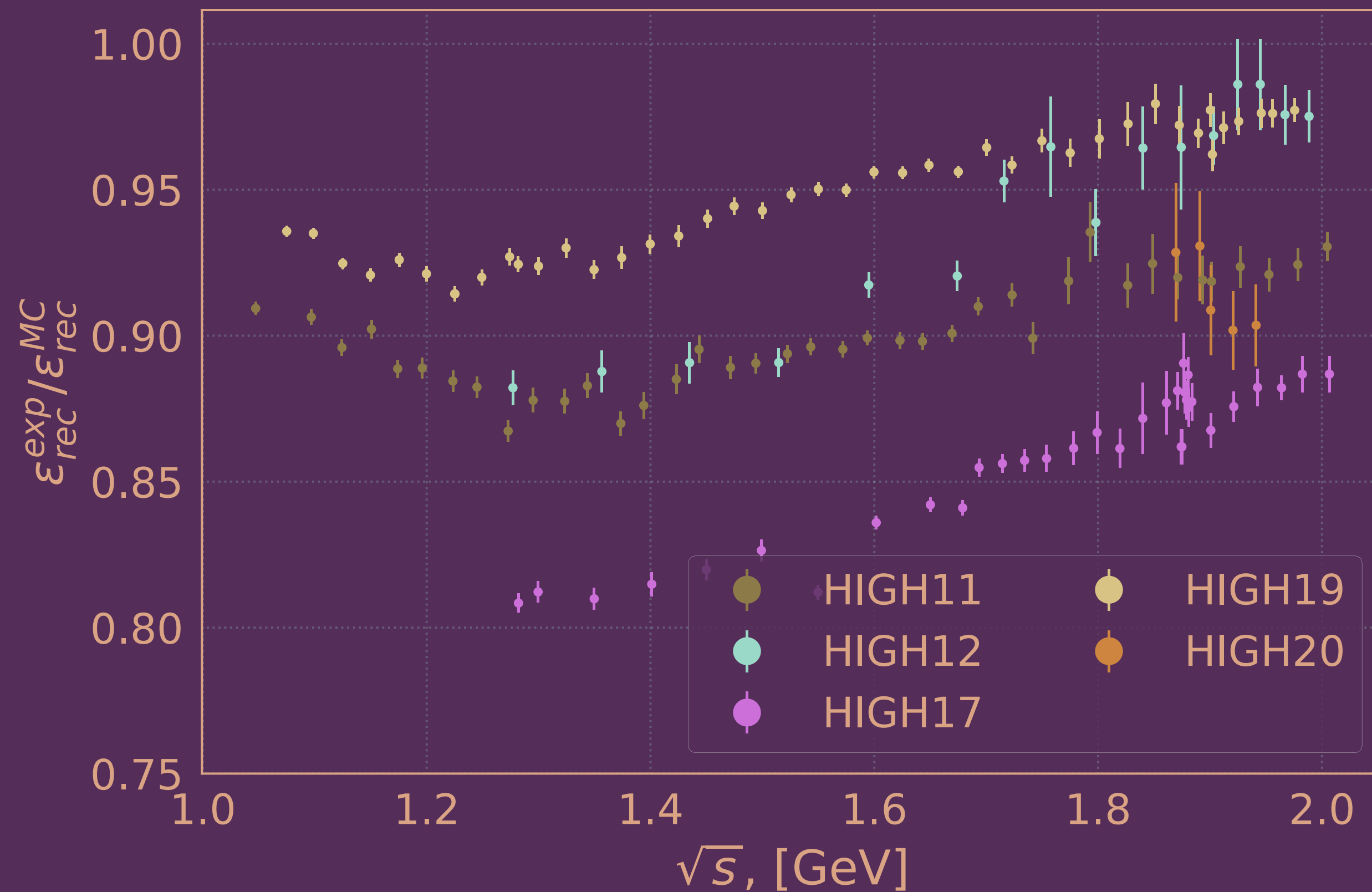
- dE/dx ($2e3 \rightarrow 500$)
- α ($0.64 \rightarrow 0.2$)
- $p\text{-}\psi$ ($0.07 \rightarrow 0.03$)
- $E(K_S)$ ($3\sigma \rightarrow 1\sigma$)
- x_1 ($20 \rightarrow 7$)

Доля фона $< 2\%$
(согласно mlthad)

Сравнение распределений в эксперименте и MC KSKL в более строгих катах (на слайде) для параметров: полярный угол трека и KS, импульс трека, отлёт KS. Объединены все точки сезона HIGH19

Поправка на ДК / результат

Вычисляю элементы матрицы Δ_{ij} для каждого сезона



Поправка на эффективность реконструкции треков в ДК
в зависимости от энергии в с.ц.м. по всем изучаемым сезонам

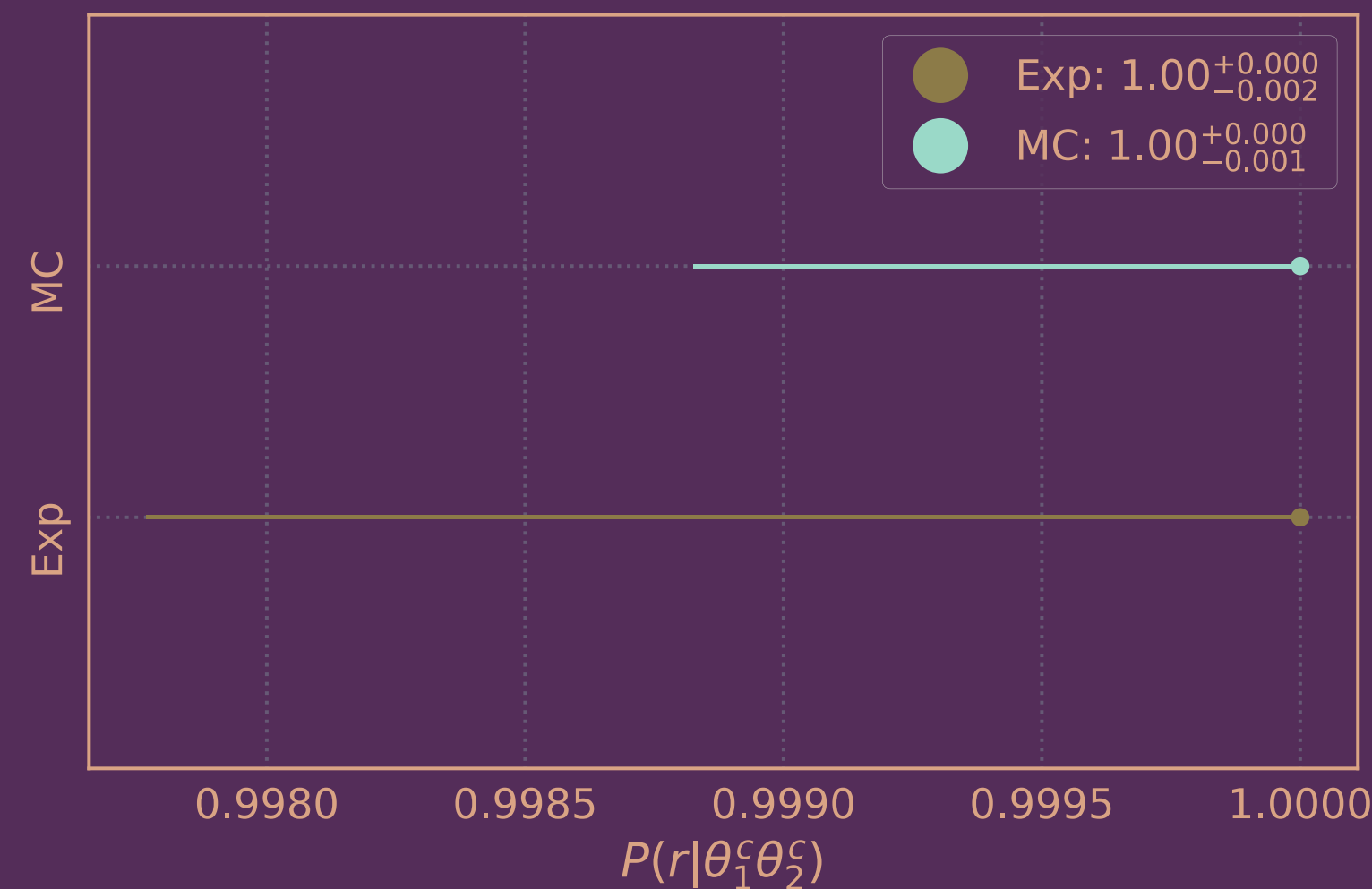
Матрица Δ_{ij} для сезона HIGH19

Поправка на ДК / центральная область

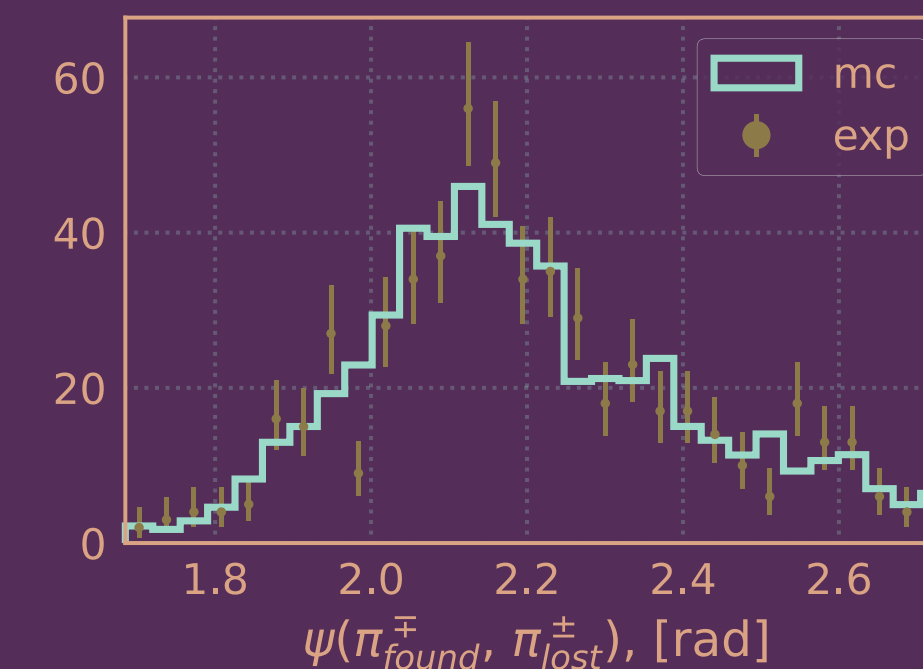
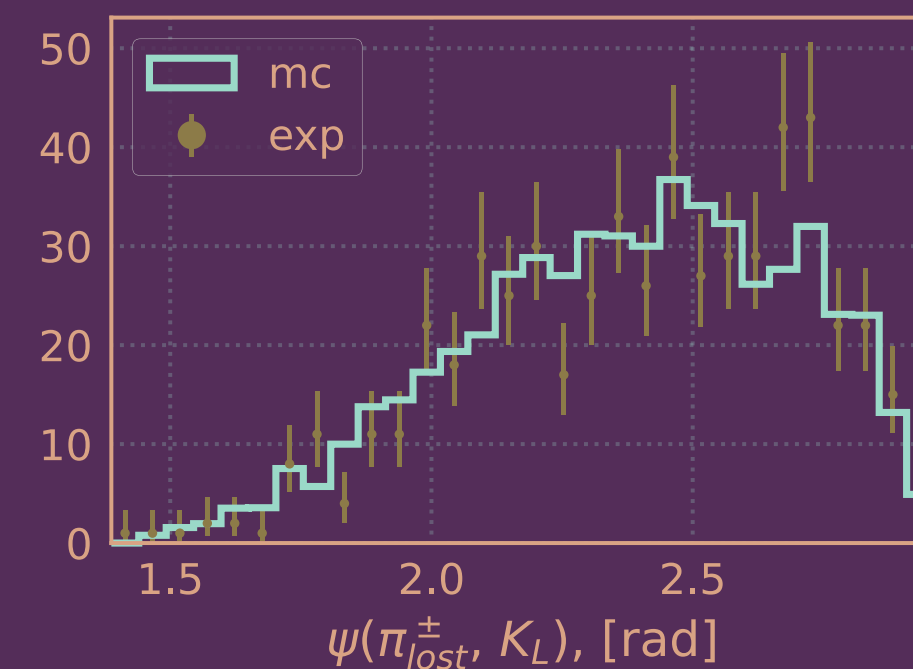
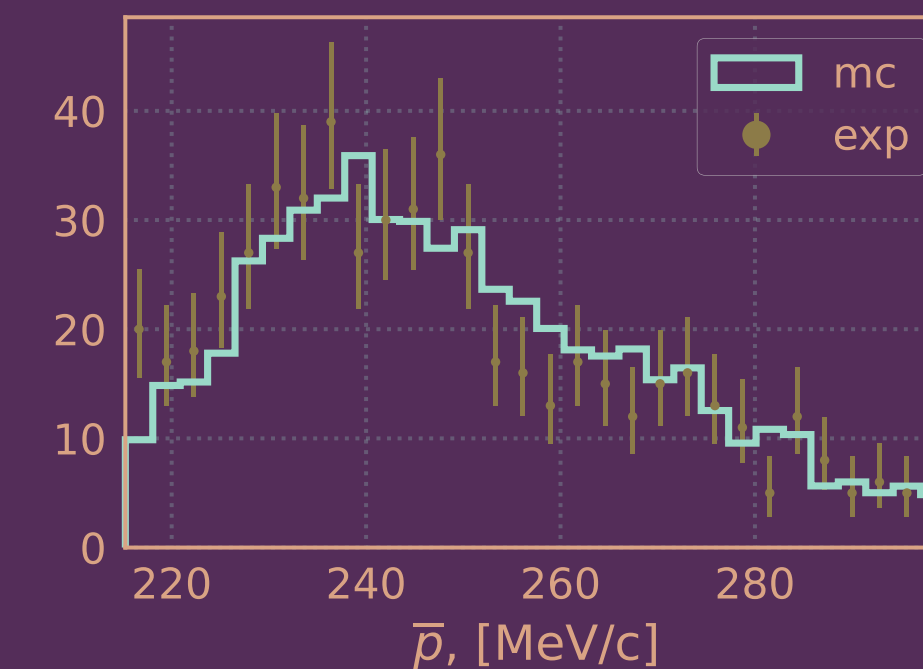
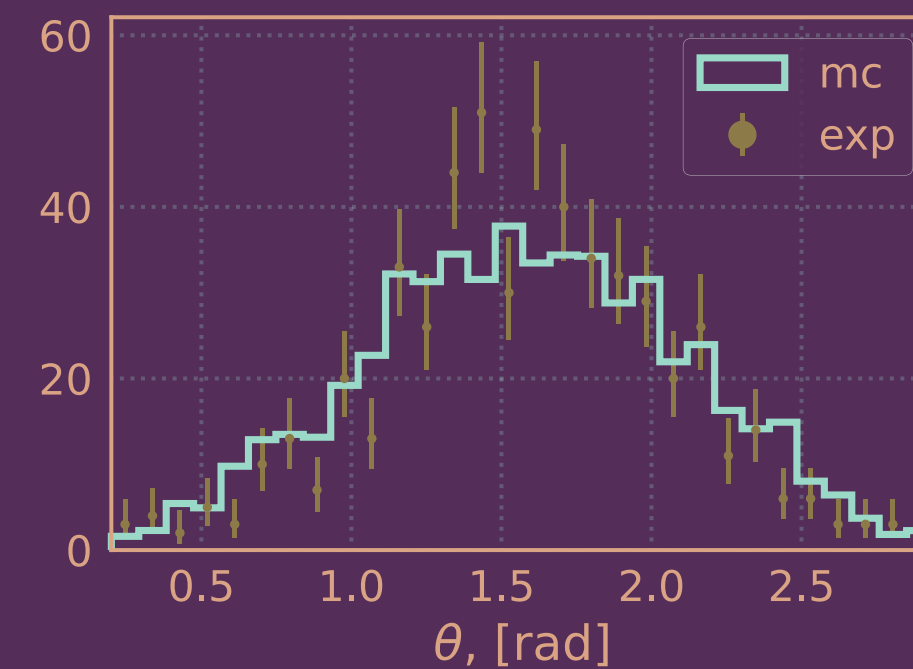
Ищу события с KL кластером и в т.ч. с одним треком

Ужесточаю отборы, использую только точки с энергиями до 1.2 ГэВ, где минимум фона

$$P(r|\theta_1^c, \theta_2^c) = \frac{N_{2tr}}{N_{2tr} + N_{1tr}}$$



Сравнение эффективностей обнаружить 1 трек в центральной области ДК

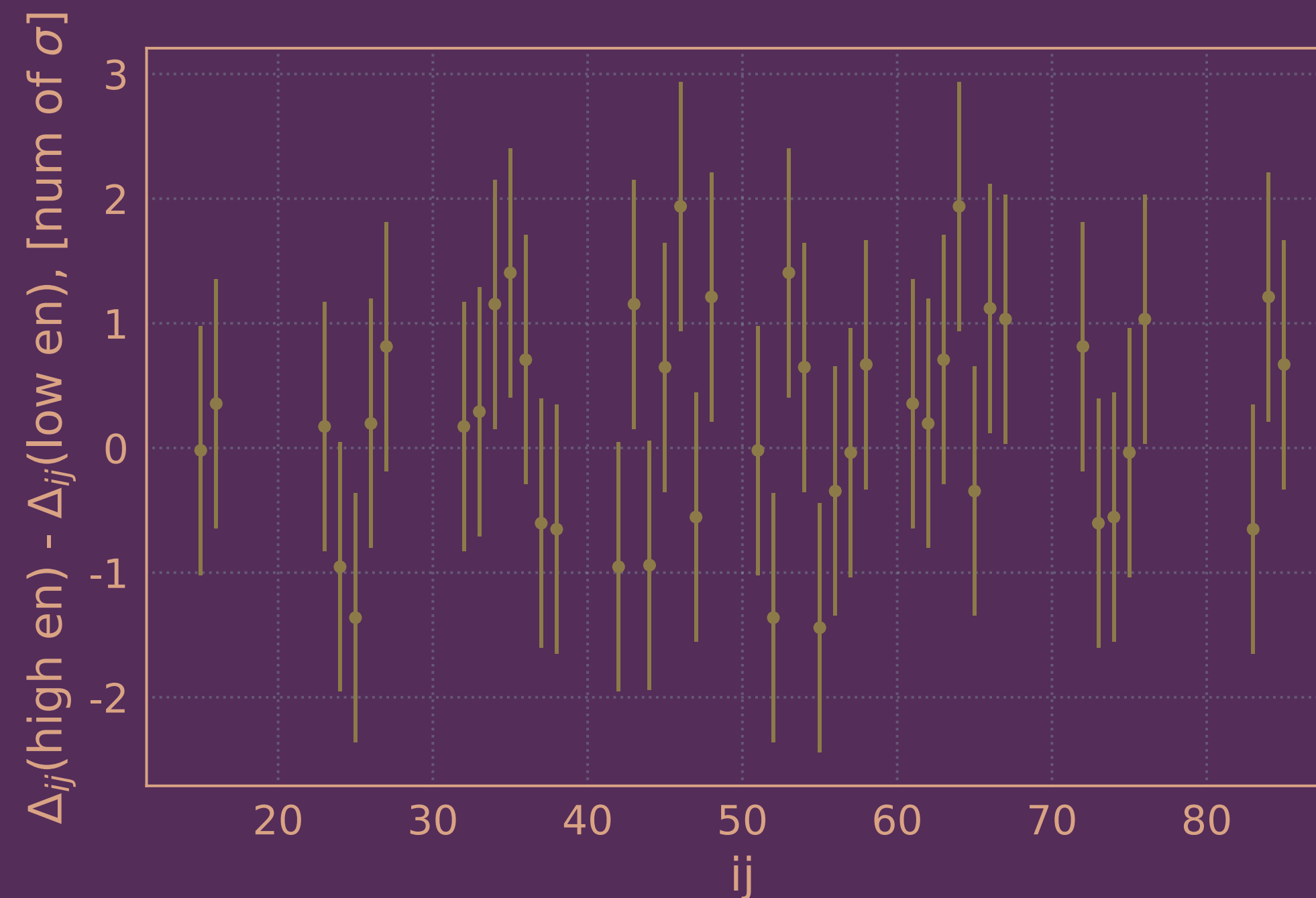


Распределения по параметрам: полярный угол второго (возможно потерянного) пиона, средний импульс пионов (импульс потерянного вычисляется из ЗСИ $e+e- \rightarrow KSKL$), пространственные углы между потерянным пионом и KL, найденным и потерянным пионами. Объединены данные точек от 1.1 до 1.2 ГэВ в сцм, HIGH19

Поправка на ДК / влияние времени

Проверка предположения, что Δ_{ij} в течение сезона не поменялась

Вычисляю Δ_{ij} на двух временных интервалах и сравниваю

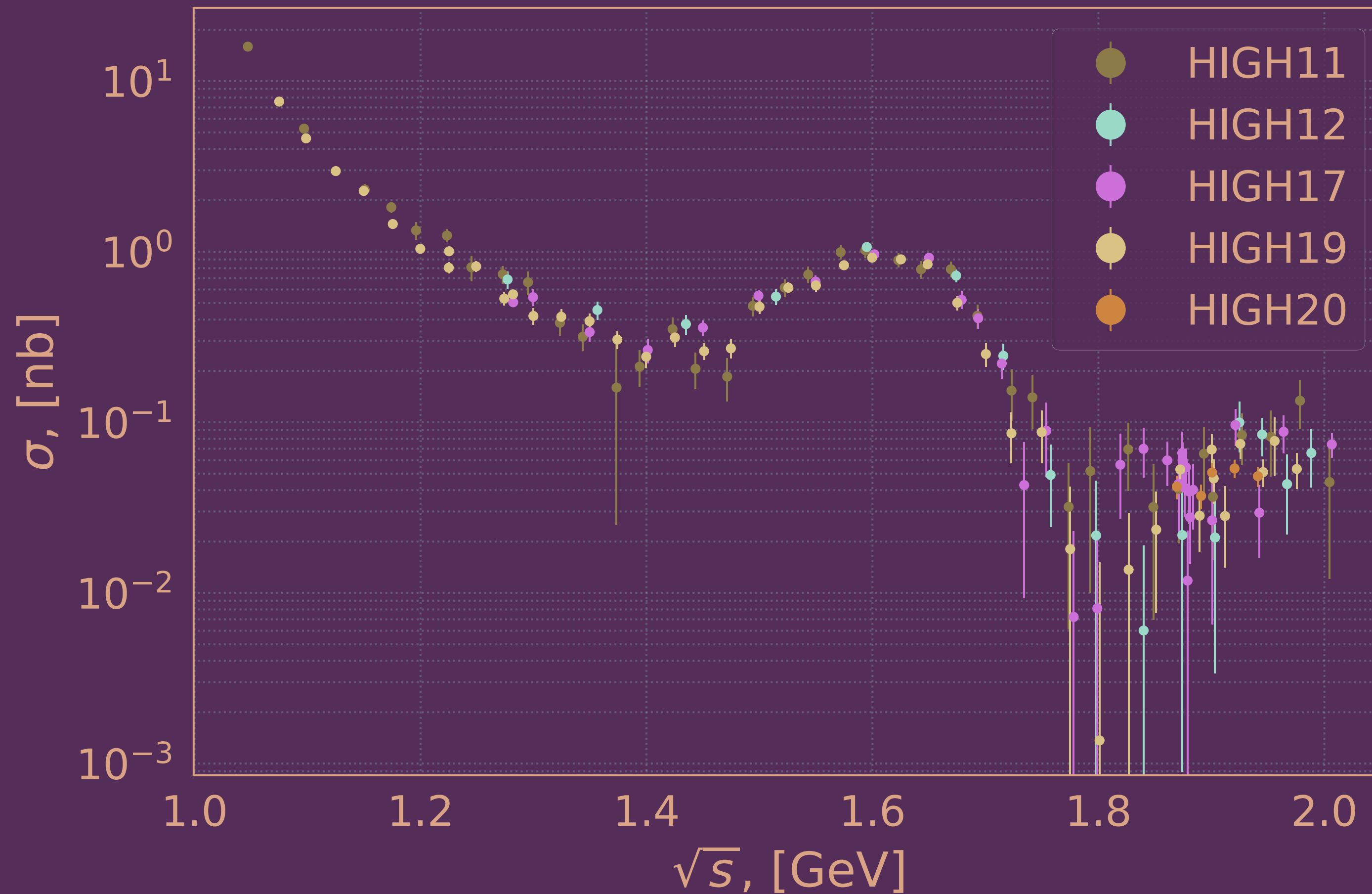


Разница элементов матрицы Δ_{ij} , полученных из данных на разных временных интервалах сезона HIGH19

Борновское сечение

Извлекаю сечение процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$

$$\sigma = \frac{N}{L\varepsilon(1 + \delta)}$$



Зависимость борновского сечения процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$ от энергии в с.ц.м. по всем изучаемым сезонам.

Систематические ошибки

Систематические ошибки / каты

Сравнить результаты с критерием отбора и без него

$$P(C_1, \dots, C_n) = P(C_n | C_{n-1}, \dots) \cdot P(C_{n-1} | C_{n-2}, \dots) \cdot \dots \cdot P(C_1)$$

Необходимо оценить погрешности от набора катов

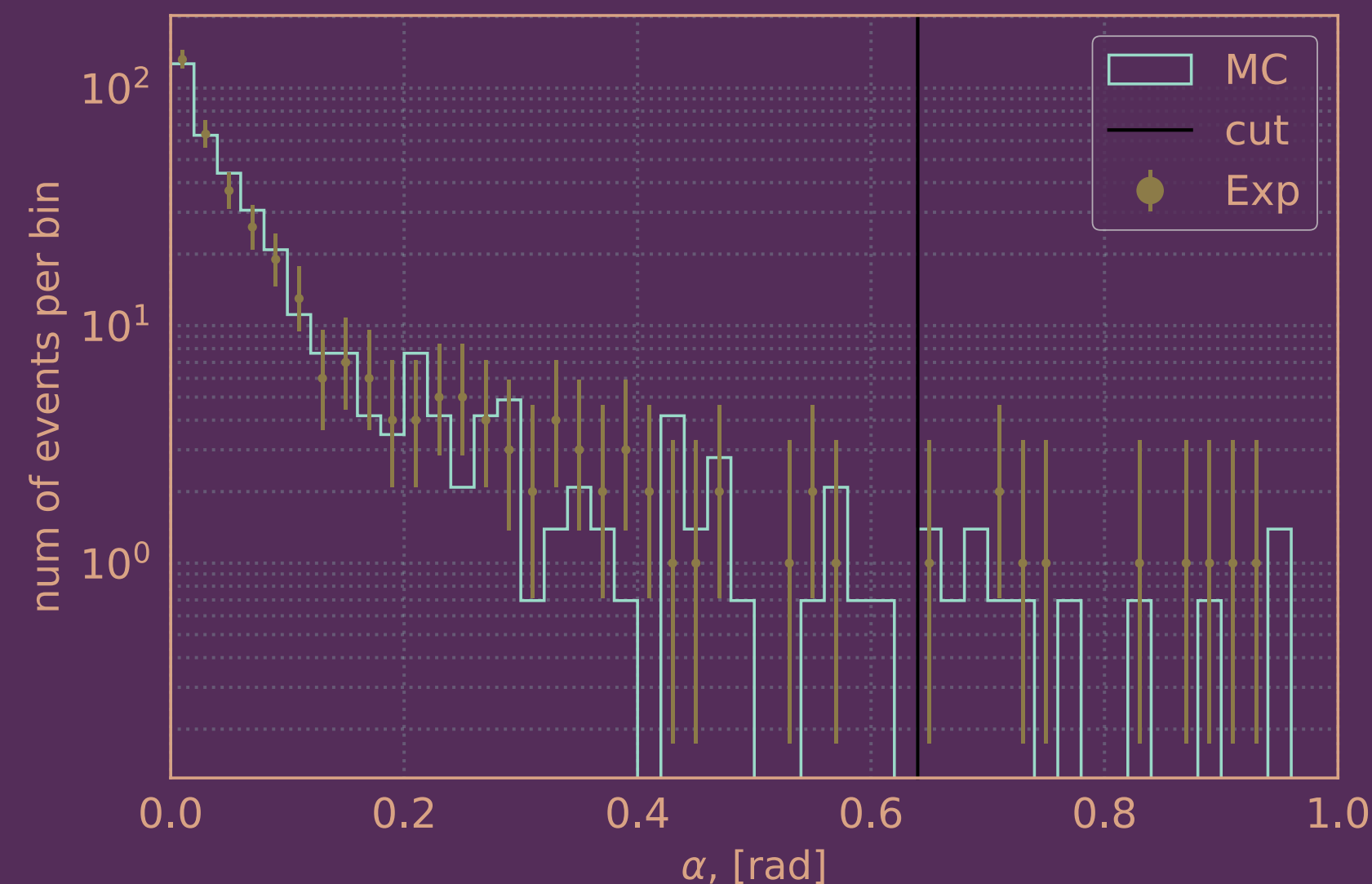
z	α	$E(KS)$	$m(\pi_0)$	x_1
dE/dx	p/ψ	$KSlen$	$\theta(KS)$	

Поочерёдно убираю отборы, независимые делаю строже, чтоб избавиться от фона, смотрю как меняется результат с и без отбора

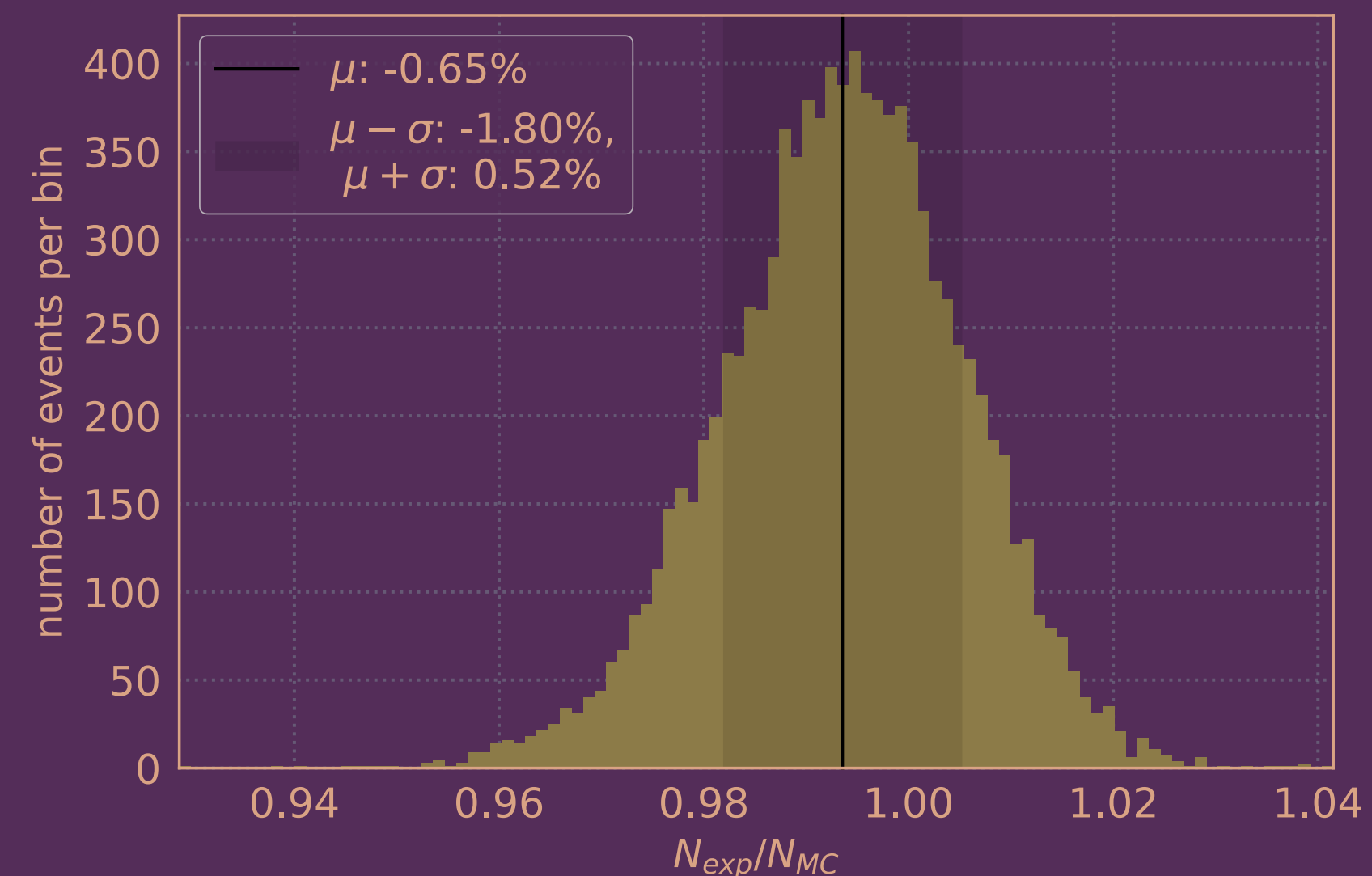
Систематические ошибки / каты

На примере критерия отбора по углу α

Делаю строже независимые отборы (p/ψ , $m(\pi^0)$, $\theta(KS)$, x_1) для уменьшения доли фона и сравниваю распределения:



Распределение по углу α для событий, прошедших строгие критерии отбора. Условие отбора показано линией. HIGH19, 1.1 GeV (доля фона mlthad gen 0.6%)



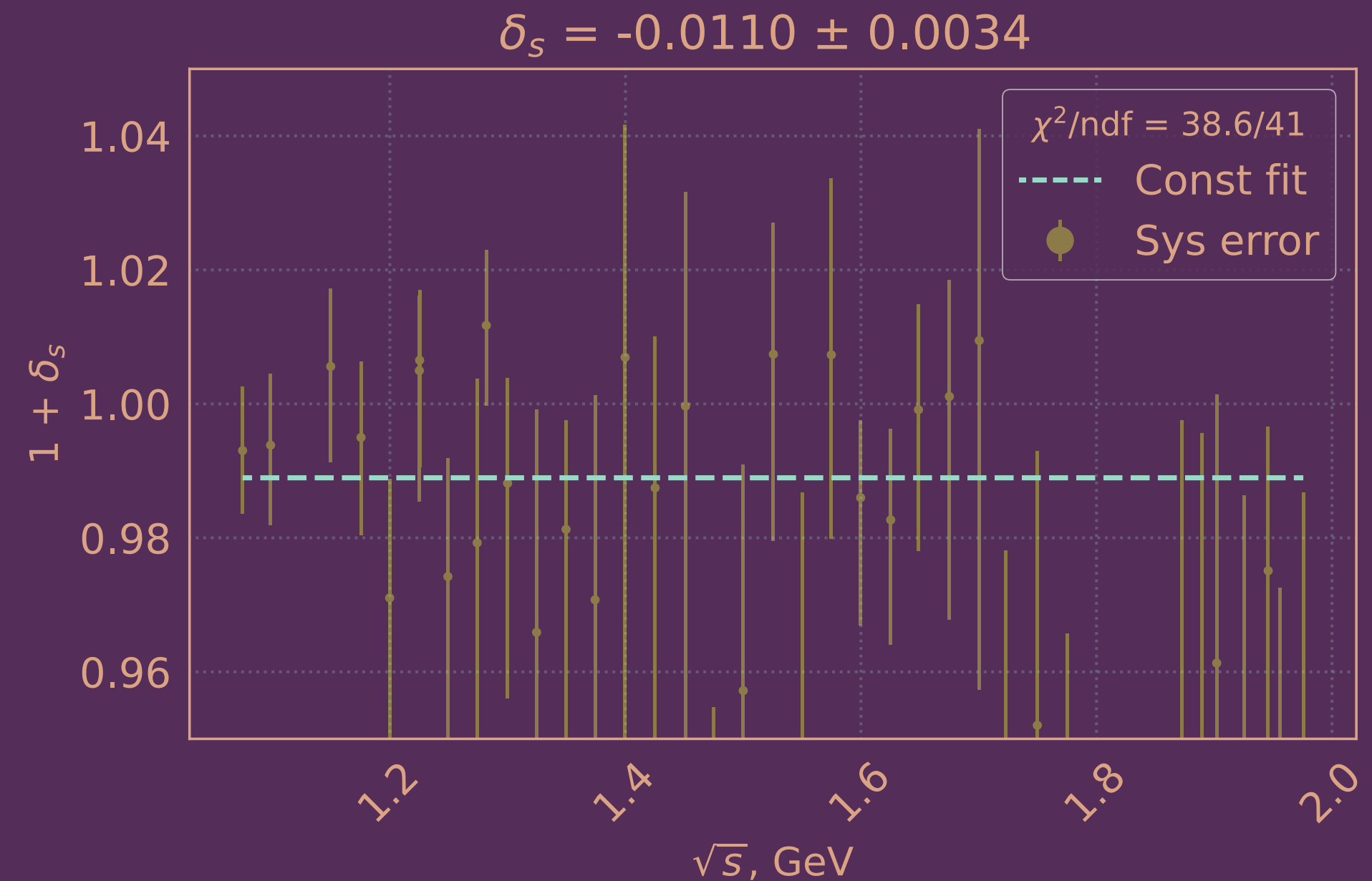
Результат оценки средней систематической ошибки по α для HIGH19, 1.1 GeV

Систематические ошибки / каты

Таблица с влиянием отборов

z	0.1%	KSlen	0.7%
dE/dx	0.5%	m(π^0)	0.6%
α	1%	$\theta(KS)$	0.7%
E(KS)	0.5%	x1	0.7%
p/ ψ	0.2%		

Суммарно: 1.8%



Зависимость сист.погрешности для отбора по углу α в зависимости от энергии в с.ц.м. для сезона HIGH19. Усреднение показано на рис., результат усреднения в заголовке рис.

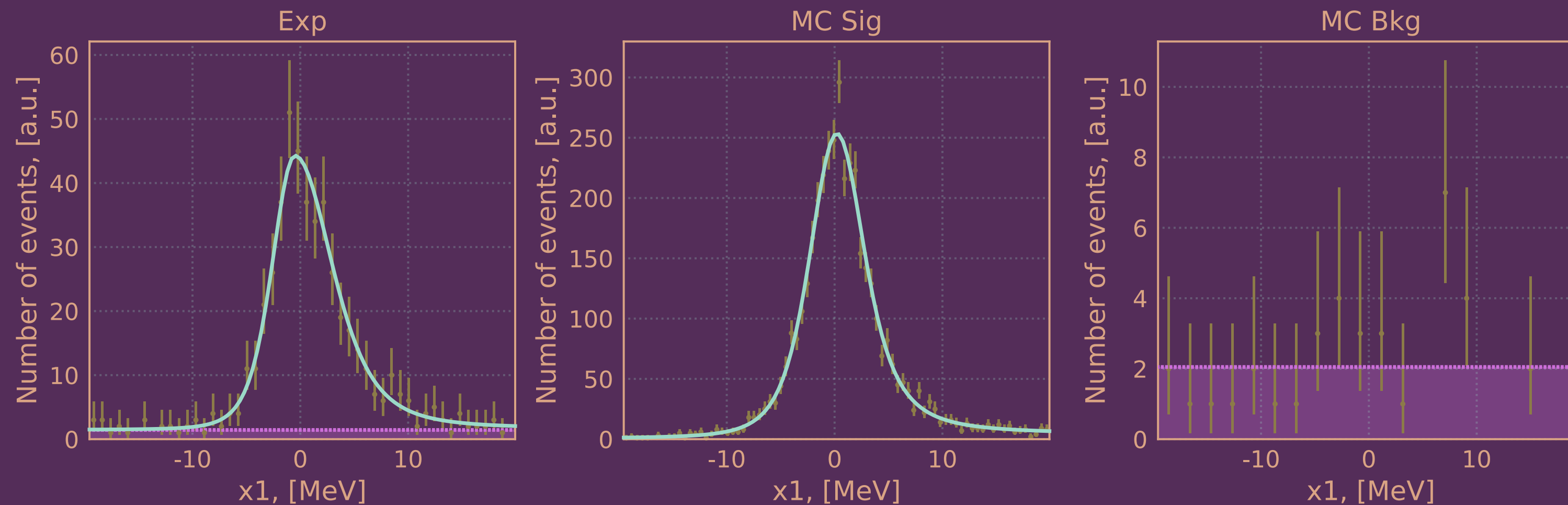
Систематики / аппроксимация событий

Неопределённость формы фона (константа → линейная)

0.1%

Общая форма сигнальной функции в эксперименте и МС (освобождаю)

0.2%



$-2\ln \mathcal{L}/\text{ndf} = 115.85/131$
Prob: 0.8247

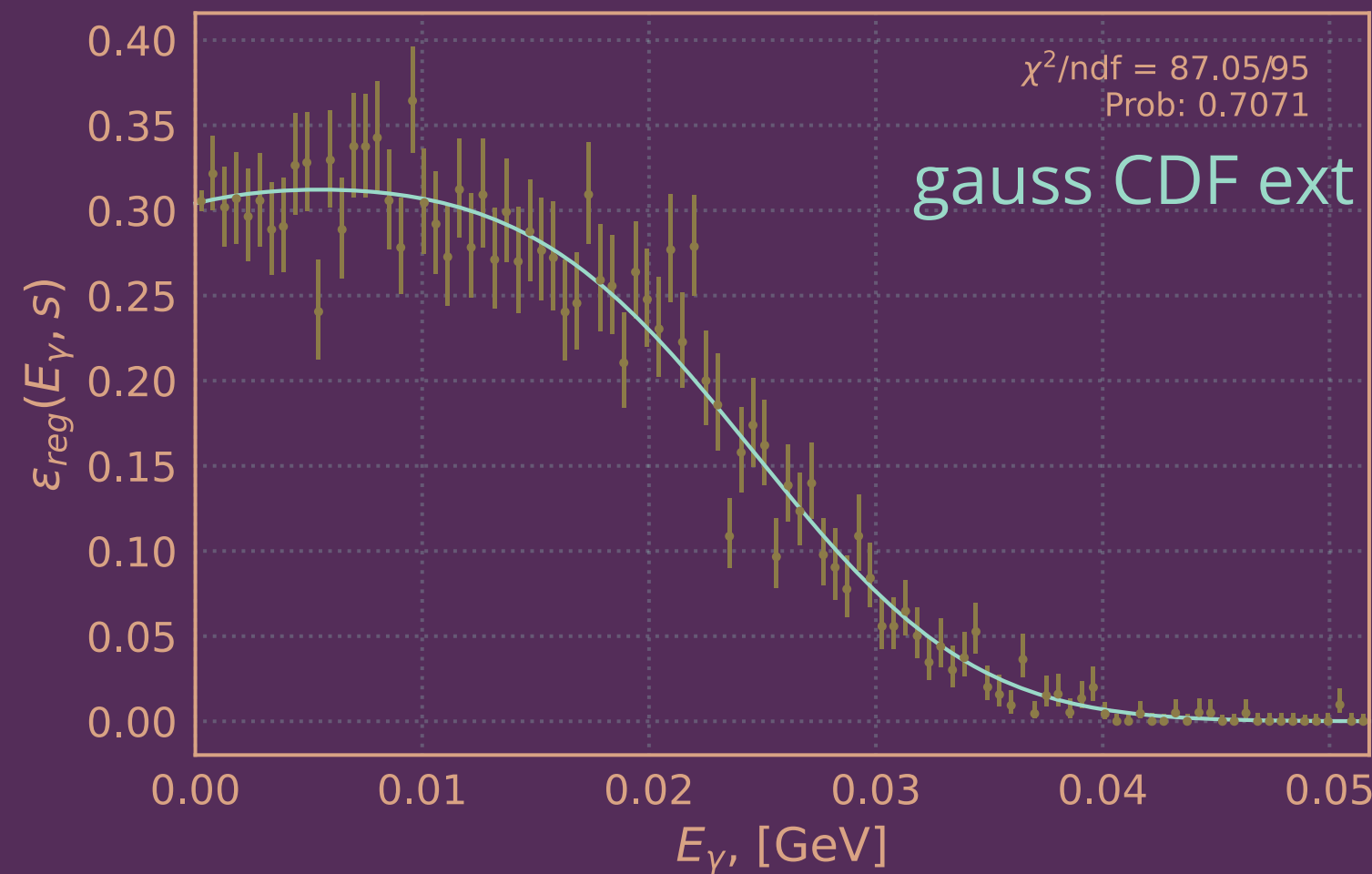
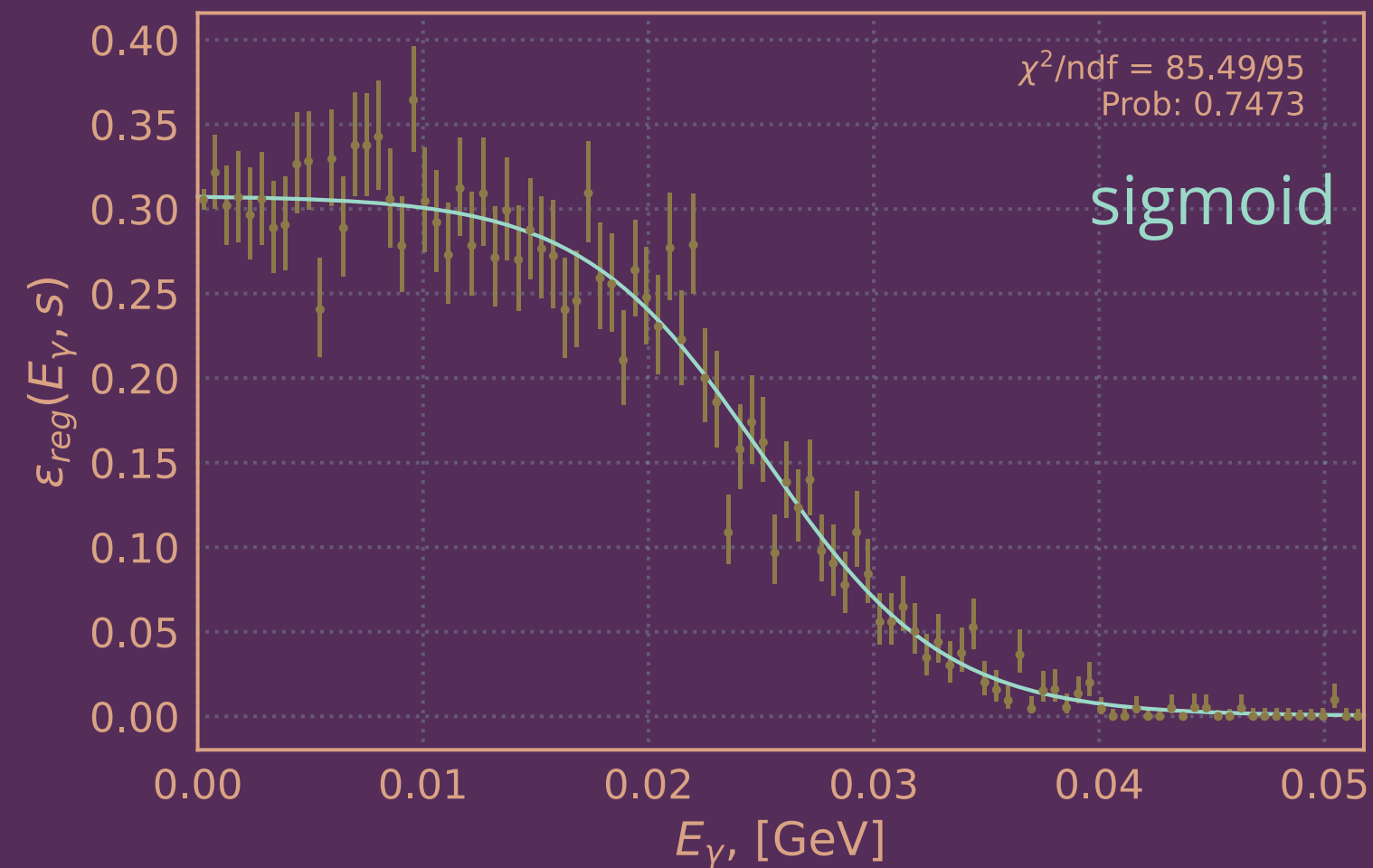
$N_{sig} = 428.095 \pm 35.912$
 $\mu = -0.509 \pm 0.383$
 $\sigma_L = 2.021 \pm 0.448$
 $\sigma_R = 3.285 \pm 0.423$
 $\alpha_L = 0.066 \pm 0.058$
 $\alpha_R = 0.092 \pm 0.025$
 $N_{bkg} = 71.877 \pm 30.150$
 $N_{sig} \text{ (MC)} = 3977.062 \pm 63.064$
 $\mu \text{ (MC)} = 0.219 \pm 0.132$
 $\sigma_L \text{ (MC)} = 2.393 \pm 0.106$
 $\sigma_R \text{ (MC)} = 2.438 \pm 0.117$
 $\alpha_L \text{ (MC)} = 0.081 \pm 0.004$
 $\alpha_R \text{ (MC)} = 0.122 \pm 0.004$
 $N_{bkg} \text{ (MC)} = 40.991 \pm 6.402$

Пример аппроксимации, HIGH19 1.625 GeV с освобождённой формой фита эксперимента

Систематики / эфф. регистрации

Систематика из-за формы фита (меняю сигмоиду на CDF Гаусса, сравниваю)

1.7%

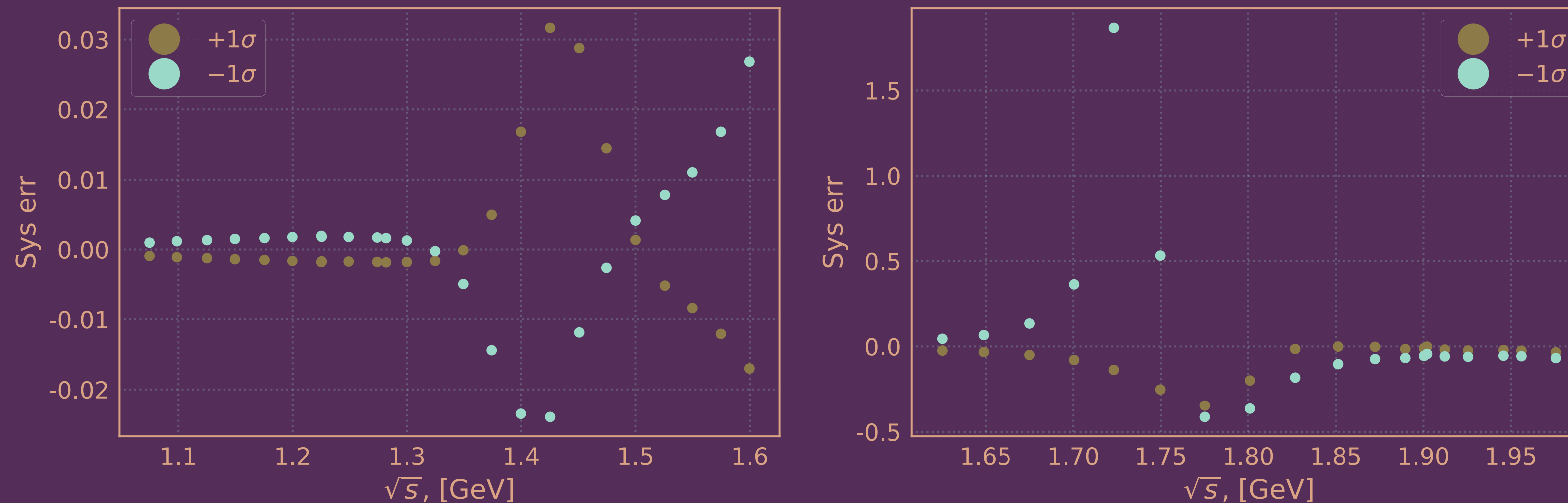


Зависимость эфф. регистрации от энергии рад. фотона и две различных формы аппроксимации. HIGH19, 1.1 GeV

Несоответствие регистрации фотона в эксп. и MC. (?)

Систематики / рад. поправка

Систематика из-за аппроксимации сечения (варьирую на $\pm 1\sigma$)



Зависимость сист. ошибки, связанной с вариацией формы аппроксимации сечения, от энергии в с.ц.м для сезона HIGH19 (в области до 1.6 ГэВ слева, выше 1.6 ГэВ справа)

Систематика из-за формы сечения (?)

Систематики / эфф. триггеров

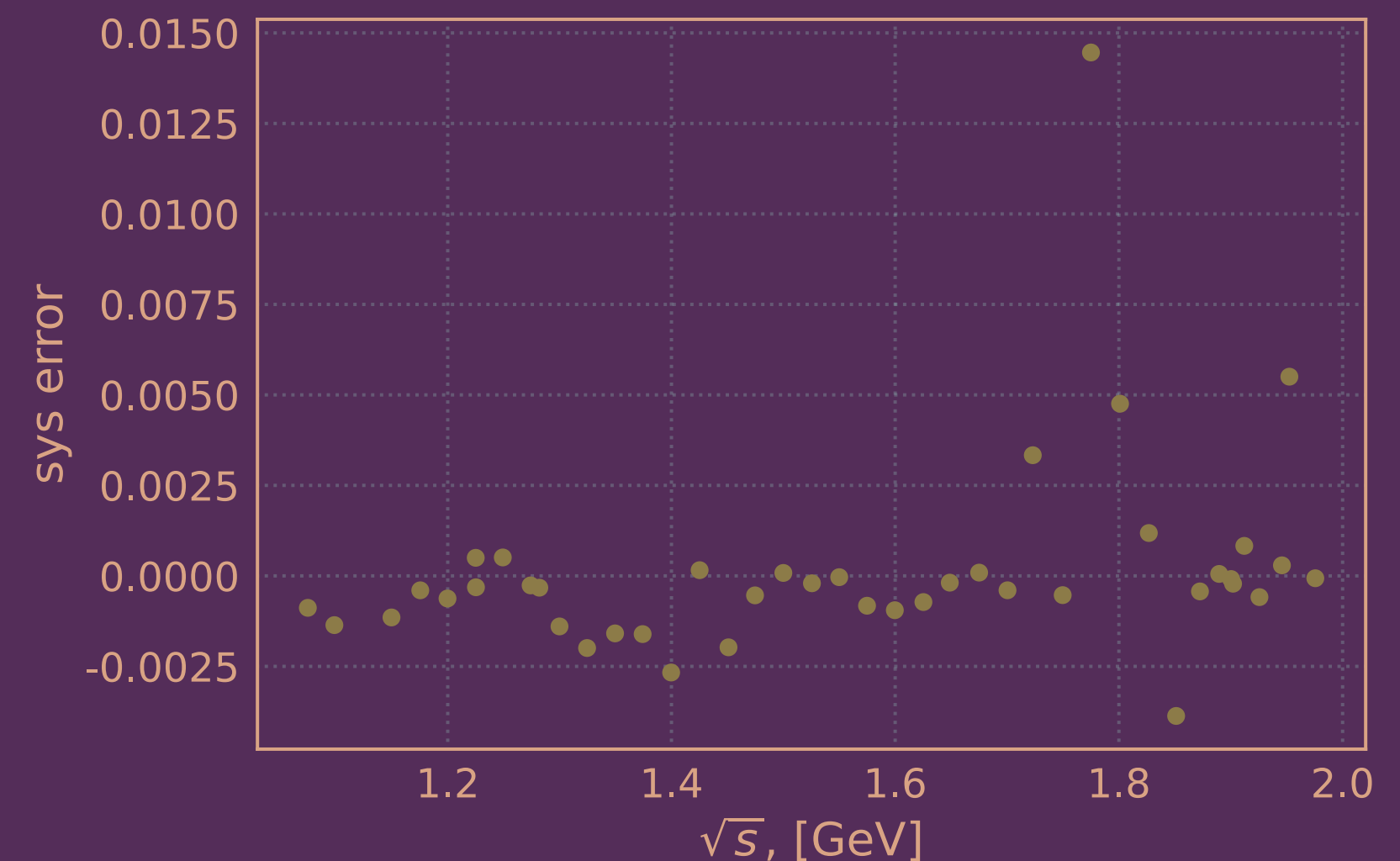
Влияние фона на эффективность

делаю отборы строже для подавления фона и сравниваю

Систематика из-за независимости

проверить предположение о независимости TF/CF

на следующем слайде...



Зависимость сист.ошибки эфф. триггеров, связанной с влиянием фона, от энергии, HIGH19. (Правильнее добавить стат.значимость, но пока так)

Систематики / эфф. триггеров

Проверяю независимость триггеров

Зависимость из срабатывания CF из-за π^\pm

Вытаскиваю сабсет содержащий “хороший”
KL-кластер | CF срабатывает из-за него

В этом сабсете TF и CF независимы

После вычислений получаю:

$$\delta_s = 1 - \frac{\alpha_T^{\text{subset}}}{\alpha_T^{\text{total}}} \quad \alpha_T = \frac{P(\text{TC})}{P(\text{C})} = \frac{N_{\text{TC}}}{N_{\text{C}}}$$

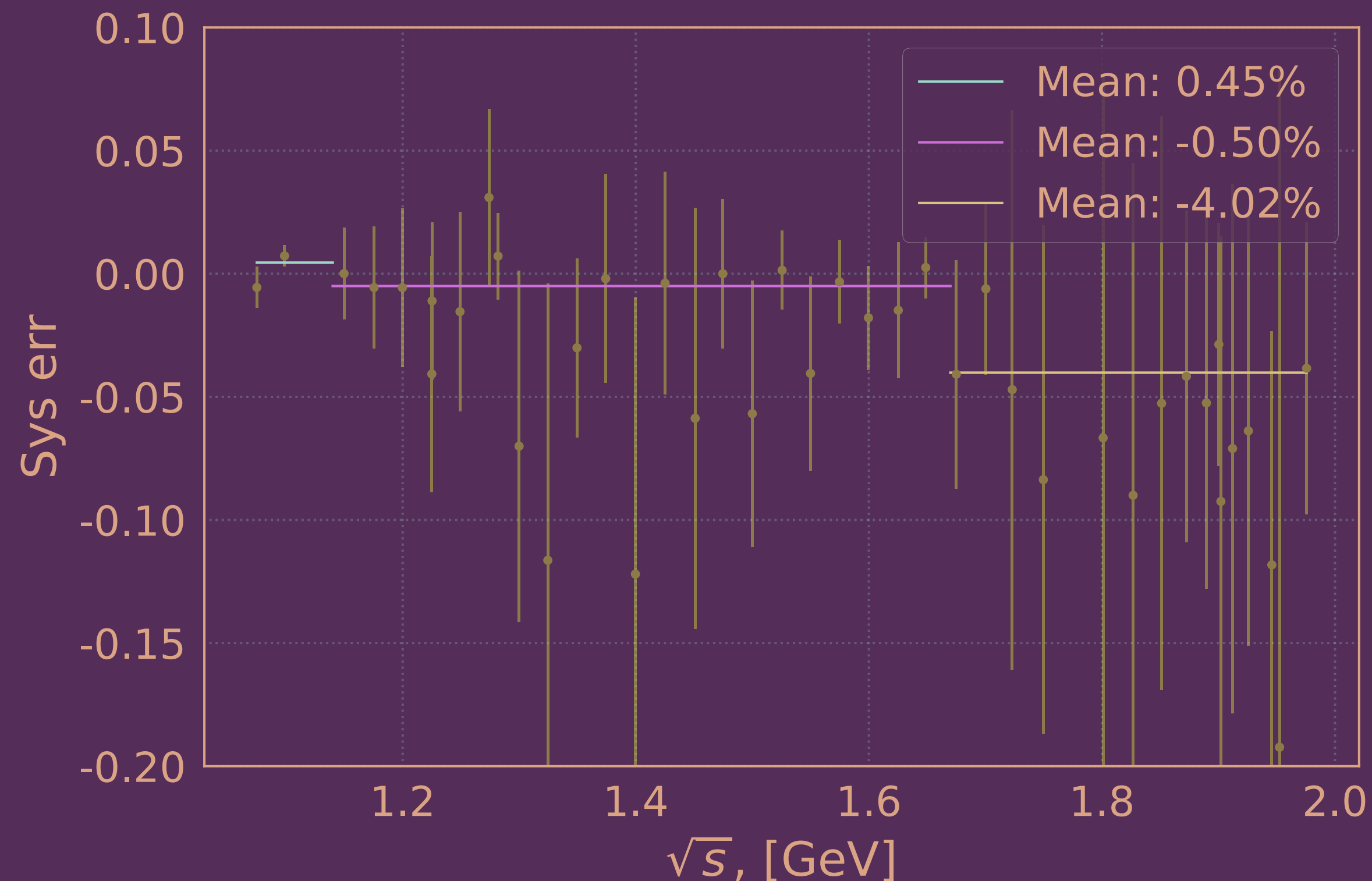


Good KL
subset

Total data

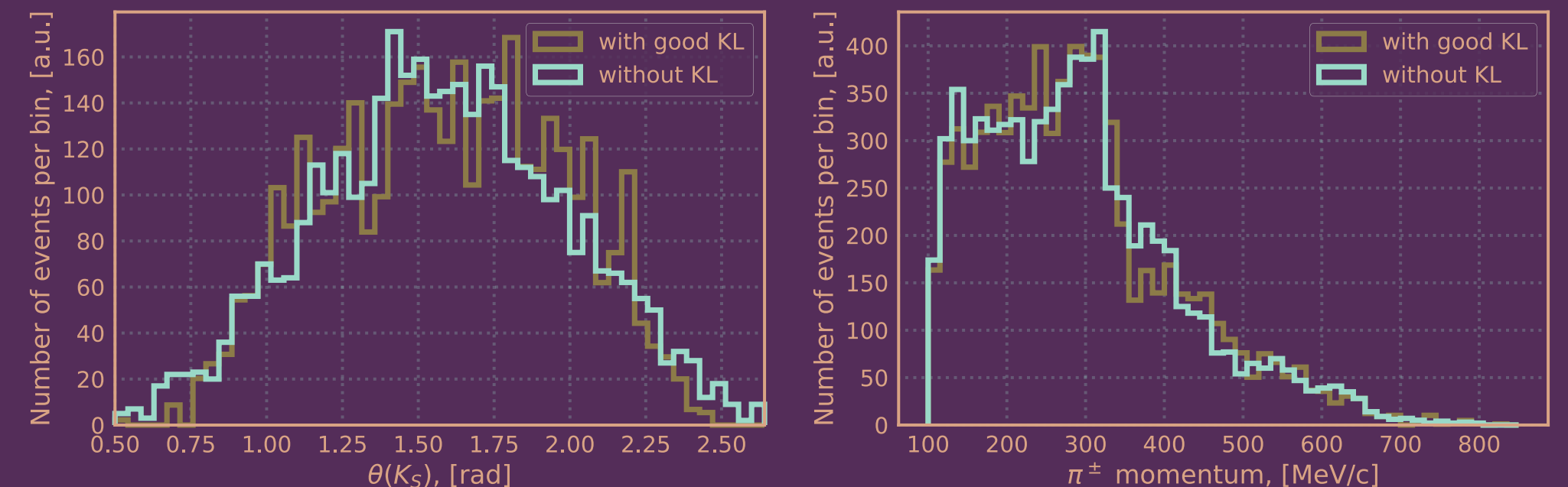
Систематики / эфф. триггеров

Вытаскиваю сабсет с хорошим KL-кластером



Усреднение сист.ошибки, связанной с предположением о независимости триггеров, HIGH19

KL subset: $\Delta\psi < 0.5$ rad,
 $E(\text{LiXe}) > 80$ MeV, $E(\text{total cal}) > 180$ MeV



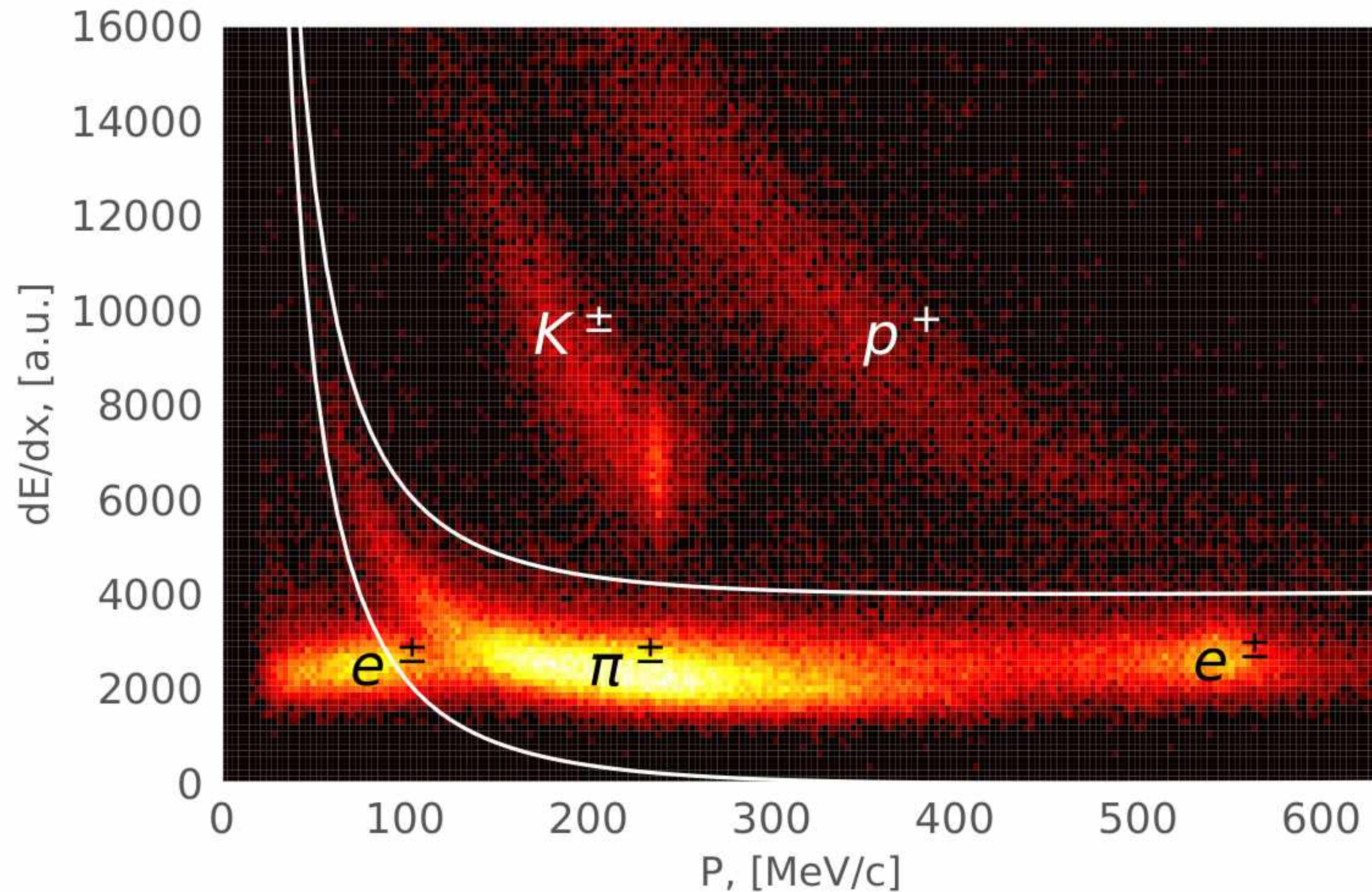
Распределения по полярным углам K_S и по импульсам треков для событий из сабсета с хорошим кластером KL и без кластера KL в эксперименте, HIGH19. Видно, что KL не влияет на распределения (как и должно быть)

Планы

- Доработать систематики
- Писать текст

Спасибо за внимание!

Критерии отбора / предотборы



Зависимость dE/dX от импульса трека.

Белыми линиями показано условие отбора. HIGH19, 1.1 GeV

Backup slide

Аппроксимация событий

$$f_{\text{sig}}(x, \mu, \sigma_{L/R}, \alpha_{L/R}) \sim \exp\left(\frac{-(x - \mu)^2}{2\sigma_{L/R}^2 + (x - \mu)^2 \alpha_{L/R}}\right)$$

Функция Кройфа

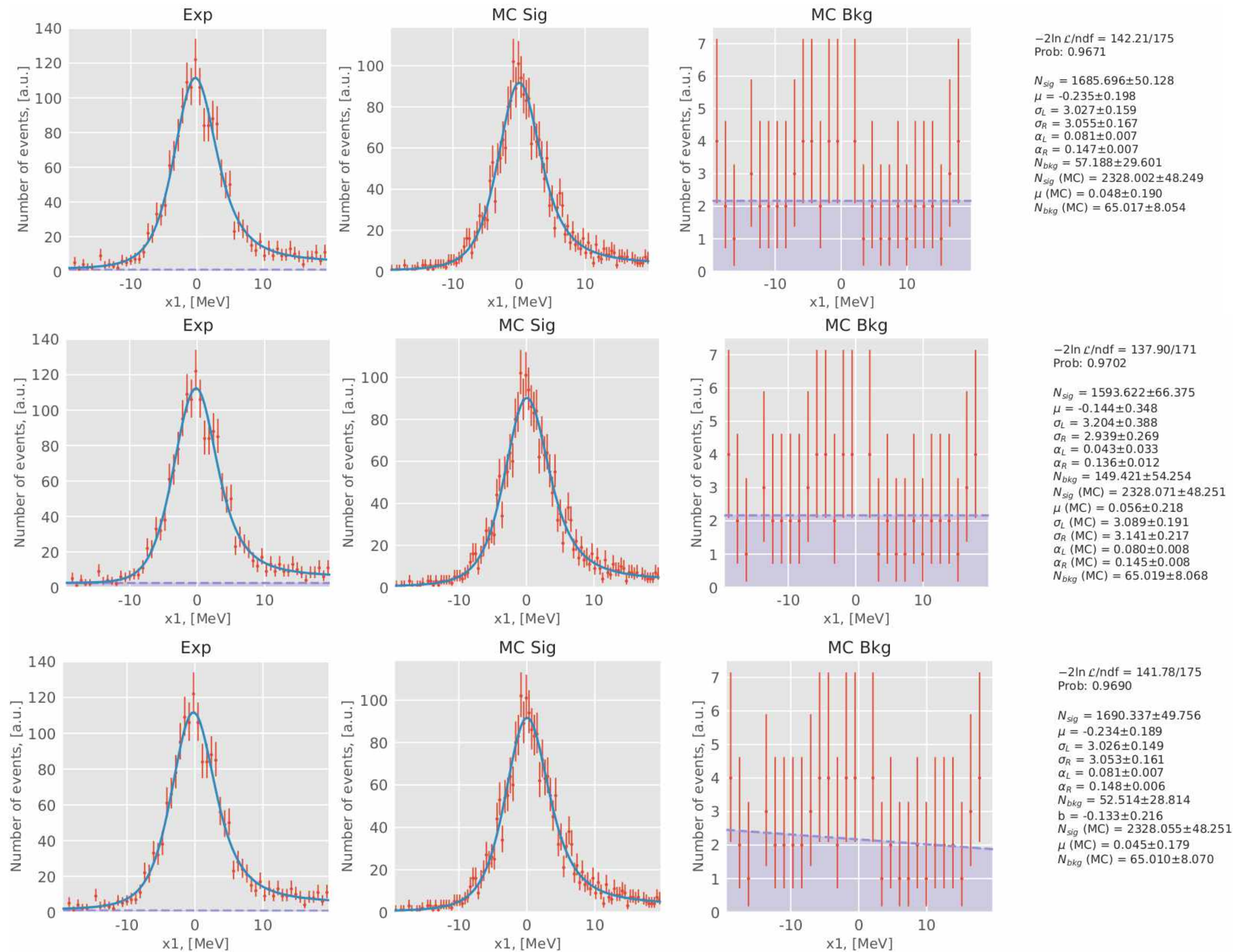
Поправка на эффективность ДК

Условия на события с KL-кластером

- для треков
 - $nt \leq 2$
 - $n_{\text{hits}} > 8$
 - $\chi_{r/z}^2 < 30$
 - $40 < P_{\text{track}} < 300$, [MeV/c]
 - $|z| < 10$, [cm]
 - $|\rho| > 0.2$, [cm]
 - $f(dE/dX) < 500$,
- для K_L -кластера
 - $\text{phen0} > 200$
 - $\text{ph1xe} > 70$
 - $n_{\text{ph}} = 1$
- ограничения, учитывающие второй пион (даже если он не был найден в событии, используя восстановленные из первого пиона и KL-кластера параметры для него)
 - $215 < p_{\text{mean}} < 300$, [MeV/c]
 - $(\pi_{\text{miss}}, K_L) > 0.7$ — условие на угол между вторым (возможно потерянным) пионом и K_L ,
 - $(\pi_{\text{miss}}, \pi) < 2.75$ — условие на угол между вторым (возможно потерянным) пионом и найденным π .

Эти условия намного более строгие, чем стандартные критерии отбора, однако с их помощью удаётся держать долю фоновых процессов на низком уровне, так например, согласно мультиадронному генератору, доля фона после отборов в точке 550_70260 сезона HIGH19 составила менее 3%.

Систематики / аппроксимация



Пример аппроксимации (сверху вниз): стандартная, с отпущенными относительно MC параметрами формы сигнала, с линейным фоном, HIGH19 1.1 GeV