

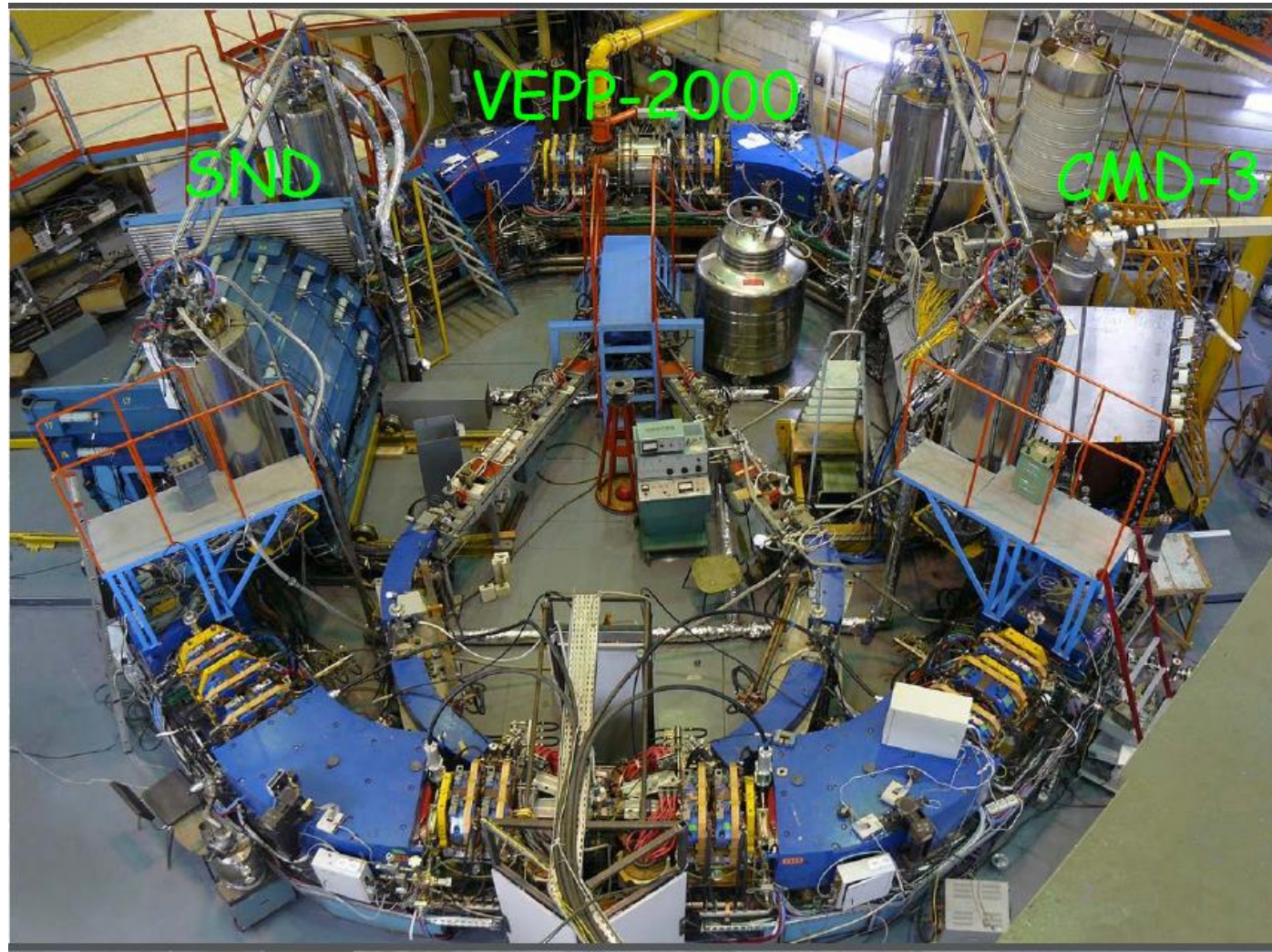
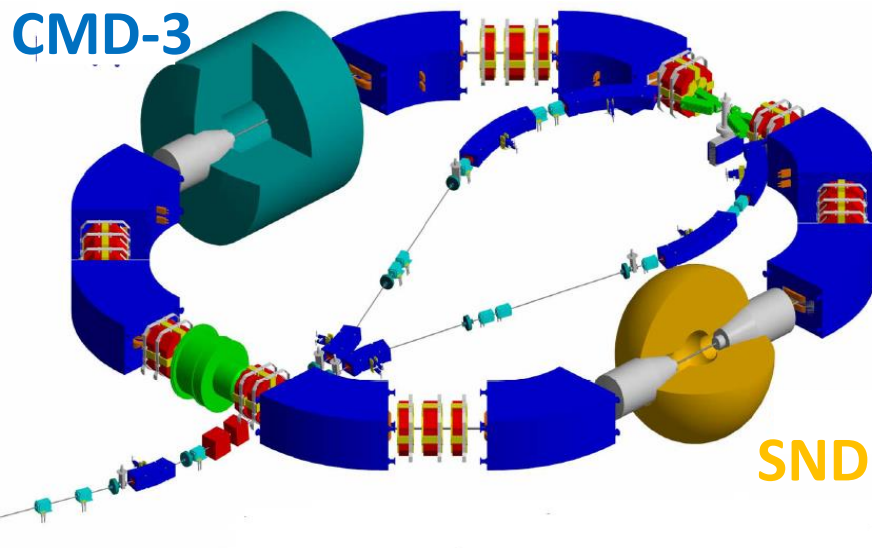


Изучение процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$
при $1.075 \text{ GeV} < \sqrt{s} < 2.0 \text{ GeV}$
с детектором КМД-3

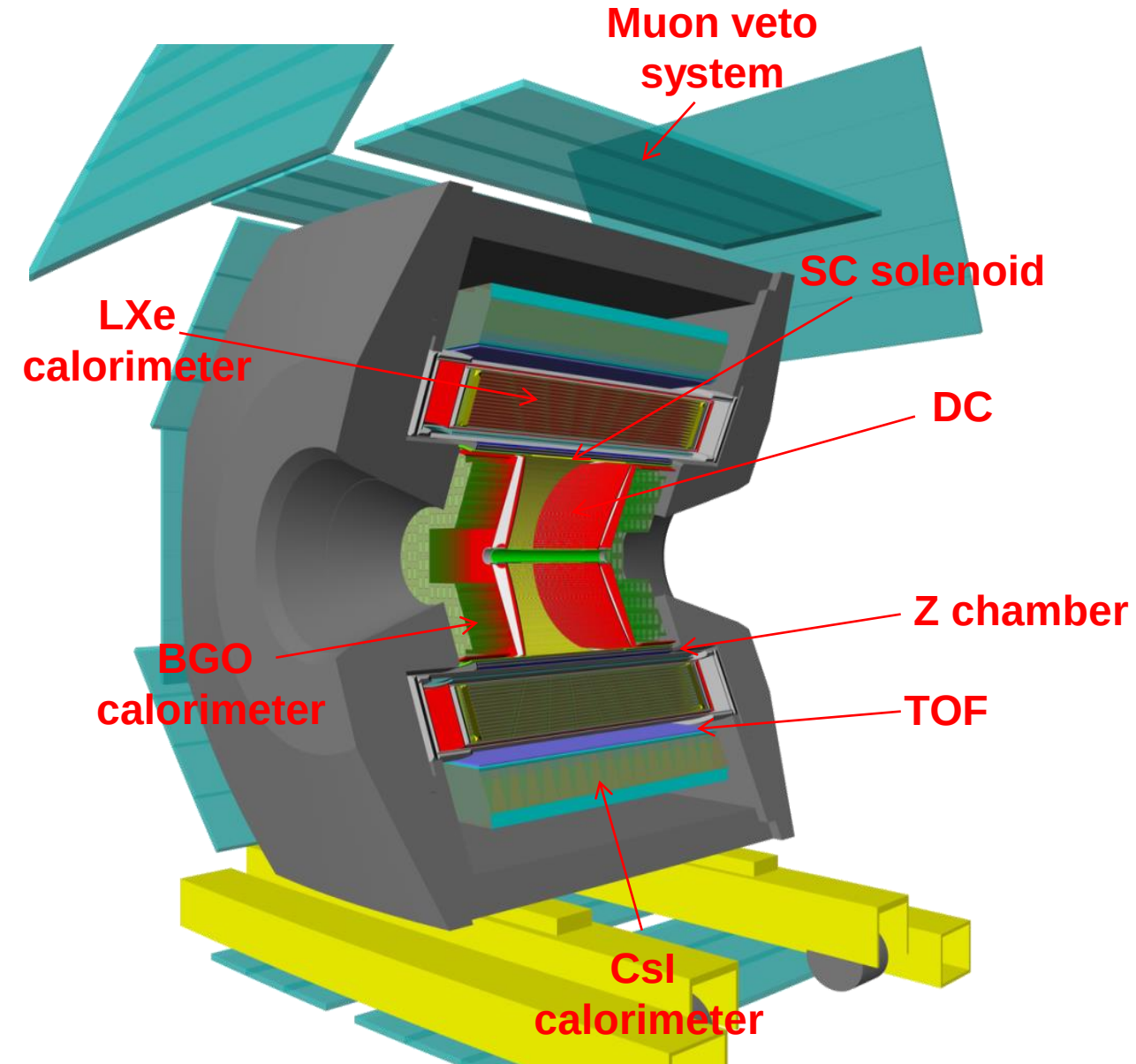
Иванов В.Л.
СЯФ ОНФ РАН
11.03.2020

Коллайдер ВЭПП-2000

- e^+e^- - коллайдер ВЭПП-2000 сканирует $\sqrt{s}$ в диапазоне от 0.32 до 2.01 ГэВ
- Энергия пучков измеряется методом обратного комптоновского рассеяния с точностью ~ 50 кэВ
- Для повышения светимости используется техника «круглых пучков»
- Максимальная достигнутая светимость - $4 \times 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Детекторы КМД-3 и СНД расположены в двух местах встречи пучков



Детектор КМД-3



Физическая программа

- Точное измерение $R = \frac{\sigma(e^+e^- \rightarrow hadrons)}{\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)}$ ($<1\%$ систематика для главных каналов)
- Изучение эксклюзивных адронных каналов e^+e^- аннигиляции, тест изотопических соотношений
- Измерение параметров промежуточных векторных мезонов: $\rho', \rho'', \omega', \phi' \dots$
- Измерение G_E/G_M нуклонов и изучение поведения адронных сечений вблизи порога $N\bar{N}$
- Тест CVC: сравнение изовекторной части $\sigma(e^+e^- \rightarrow hadrons)$ с спектральными функциями из распадов τ
- Двухфотонная физика (напр., рождение η)

Процесс $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$ выше $\phi(1020)$

- Процесс изучался BaBar (Phys. Rev. D 88, 032013), SND (Phys. Rev. D 94, 112006) и BES (Phys. Rev. D 99, 032001). Систематика измерения сечения – 1-3%.
- Наш (**очень предварительный**) анализ проводится на основе 62.9 pb^{-1} данных, набранных в сезоне HIGH2019
- В **моделировании** используется простой генератор с излучением ISR-струй и угловым распределением $K^\pm$ по $\sin^2(\theta)$
- Фит сечения в анализе BaBar основан на параметризации формфактора из работы C. Bruch, A. Khodjamirian, and J. H. Kuehn, Eur. Phys. J. C 39, 41 (2005), все амплитуды действительные:

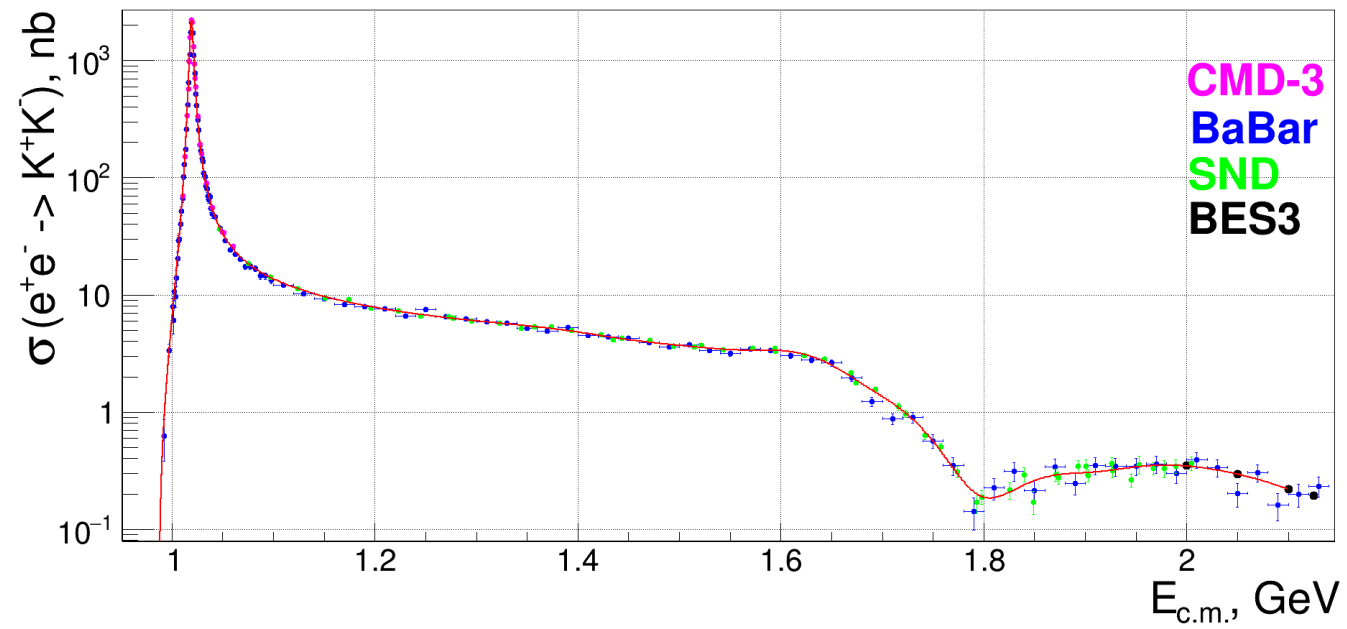
$$F_K(s) = (a_\phi BW_\phi + a_{\phi'} BW_{\phi'} + a_{\phi''} BW_{\phi''})/3 \\ + (a_\rho BW_\rho + a_{\rho'} BW_{\rho'} + a_{\rho''} BW_{\rho''} + a_{\rho'''} BW_{\rho'''})/2 \\ + (a_\omega BW_\omega + a_{\omega'} BW_{\omega'} + a_{\omega''} BW_{\omega''} + a_{\omega'''} BW_{\omega'''})/6$$

$$a_\phi + a_{\phi'} + a_{\phi''} = 1, \\ a_\rho + a_{\rho'} + a_{\rho''} + a_{\rho'''} = 1, \\ a_\omega + a_{\omega'} + a_{\omega''} + a_{\omega'''} = 1.$$

- В анализе SND амплитуды берутся комплексными:

$$\sigma_0(s) = \frac{\pi\alpha^2\beta^3}{3s} |F_K(s)|^2 (1 + C_{\text{FS}}), \\ F_K(s) = \sum_{V=\rho,\omega,\phi,\dots} a_V e^{i\phi_V} \frac{m_V^2}{m_V^2 - s - im_V\Gamma_V(s)}$$

- Этот анализ не претендует на измерение параметров промежуточных векторных мезонов, достаточно получить адекватное описание формы сечения



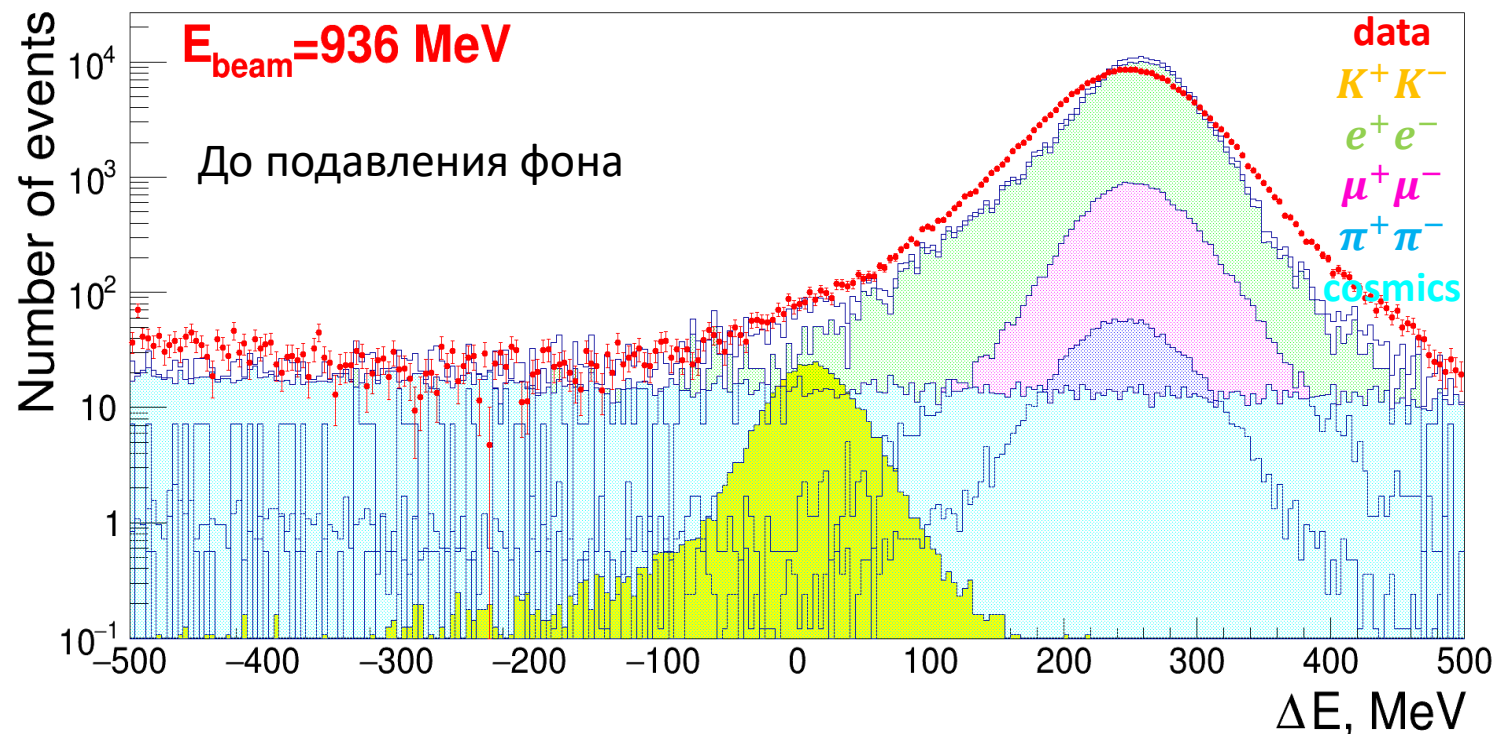
Отбор событий: «хорошие треки»

- Отбираются события с ровно двумя «хорошими» треками:
 1. С противоположными зарядами
 2. Вылетающими из области взаимодействия пучков $\rho < 0.6$ см, $|z| < 12$ см
 3. Полярным углом $1.0 < \theta < \pi - 1.0$
 4. Имеющими импульс > 65 МэВ/с
 5. Коллинеарные по φ : $|\varphi_1 - \varphi_2| < 0.4$

- Поскольку радиационный сброс очень сильный, отбор на коллинеарность по θ не накладывается
- Разделение сигнала и фона ведется по параметру

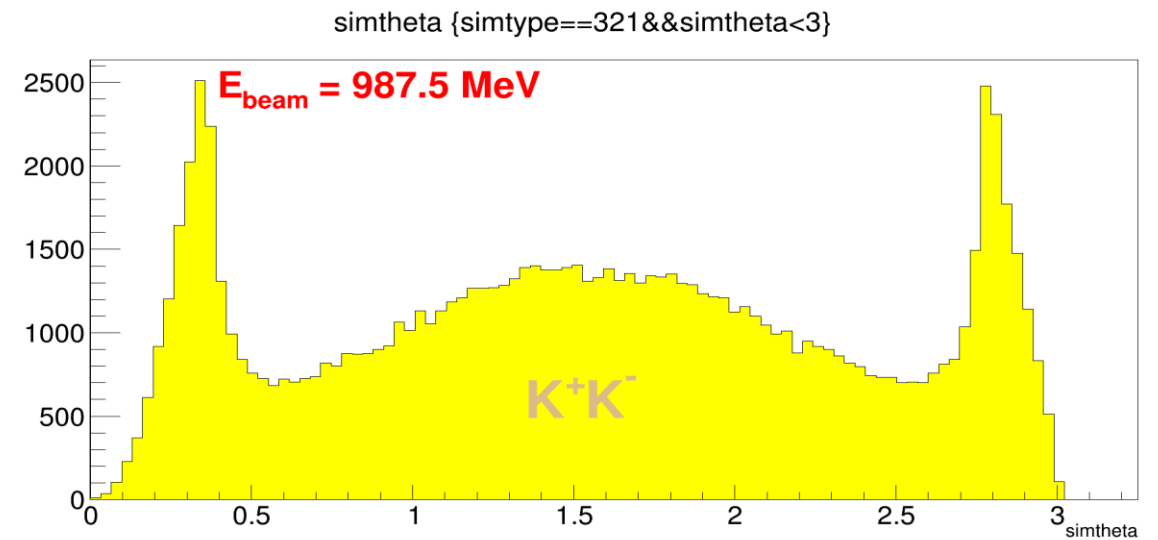
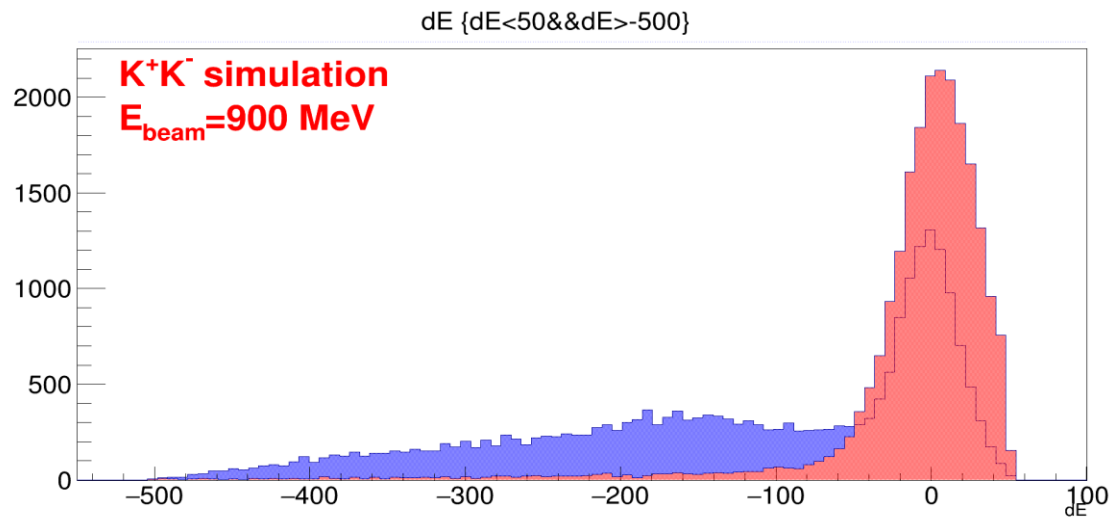
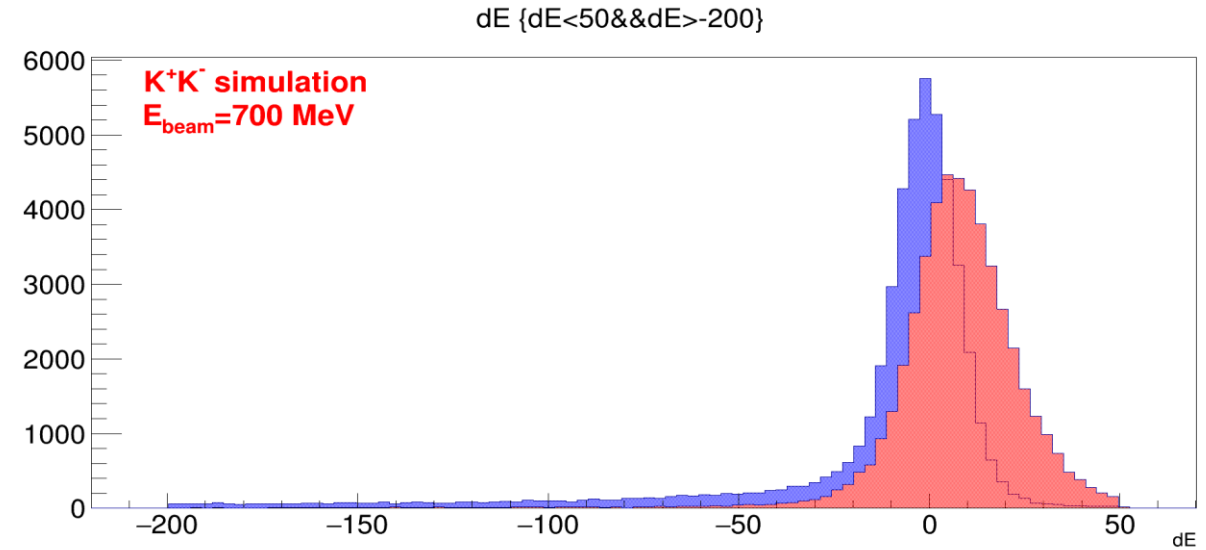
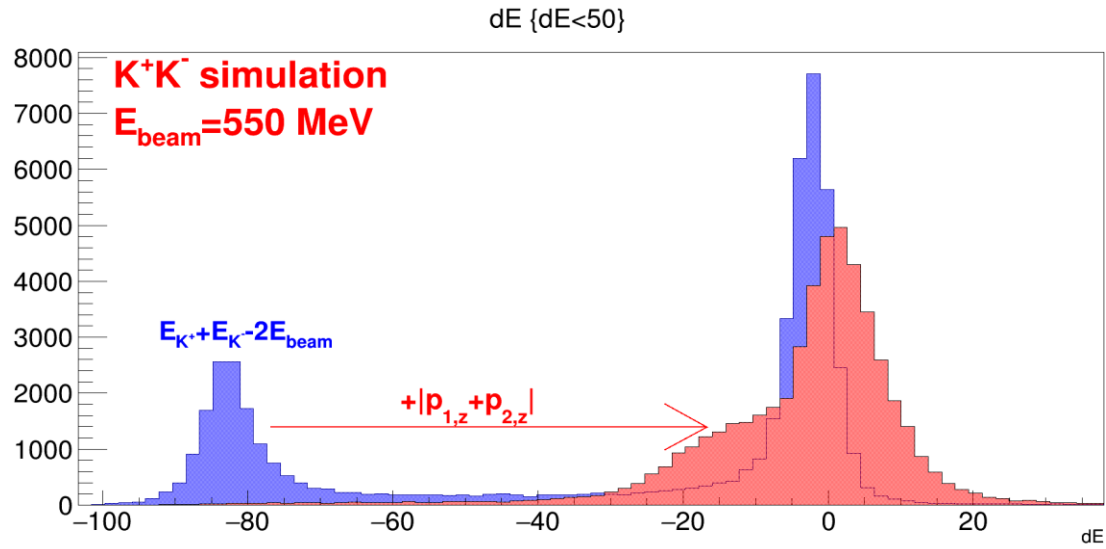
$$\Delta E = \sqrt{m_K^2 + p_1^2} + \sqrt{m_K^2 + p_2^2} + |p_{1,z} + p_{2,z}| - \sqrt{s}$$

- Основными фоновыми процессами являются $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$, $\mu^+\mu^-$, $\pi^+\pi^-$ и **космика**



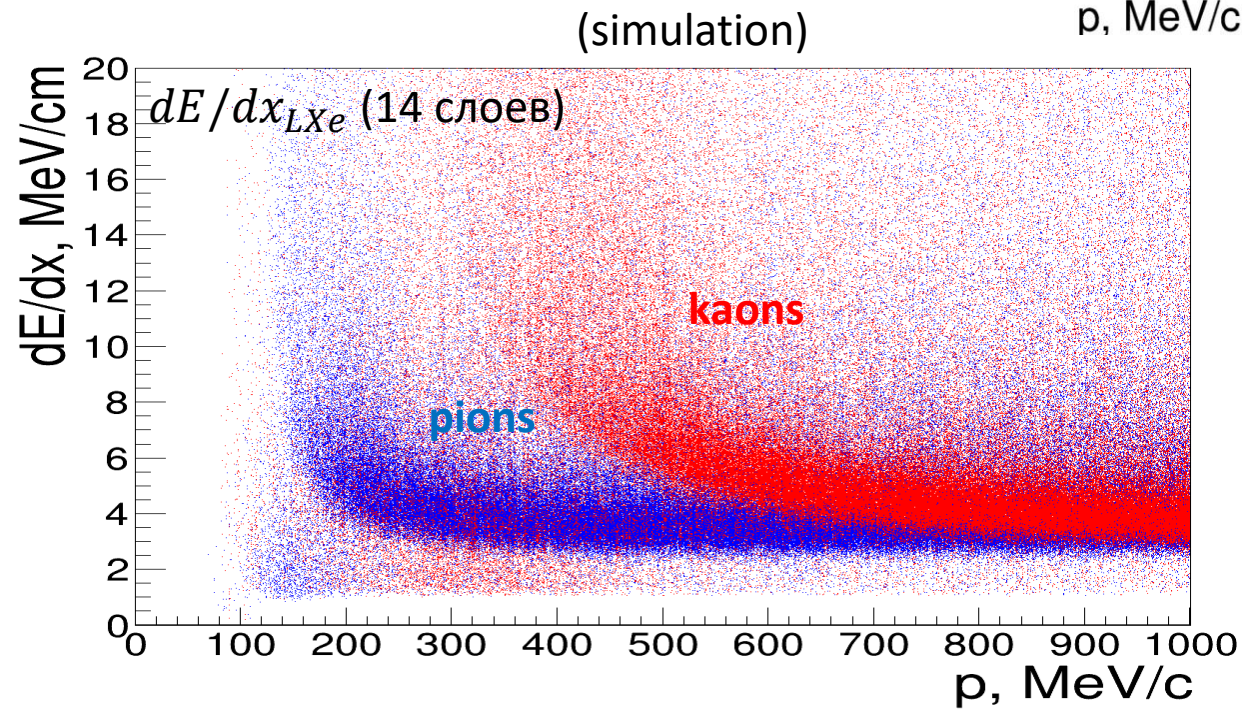
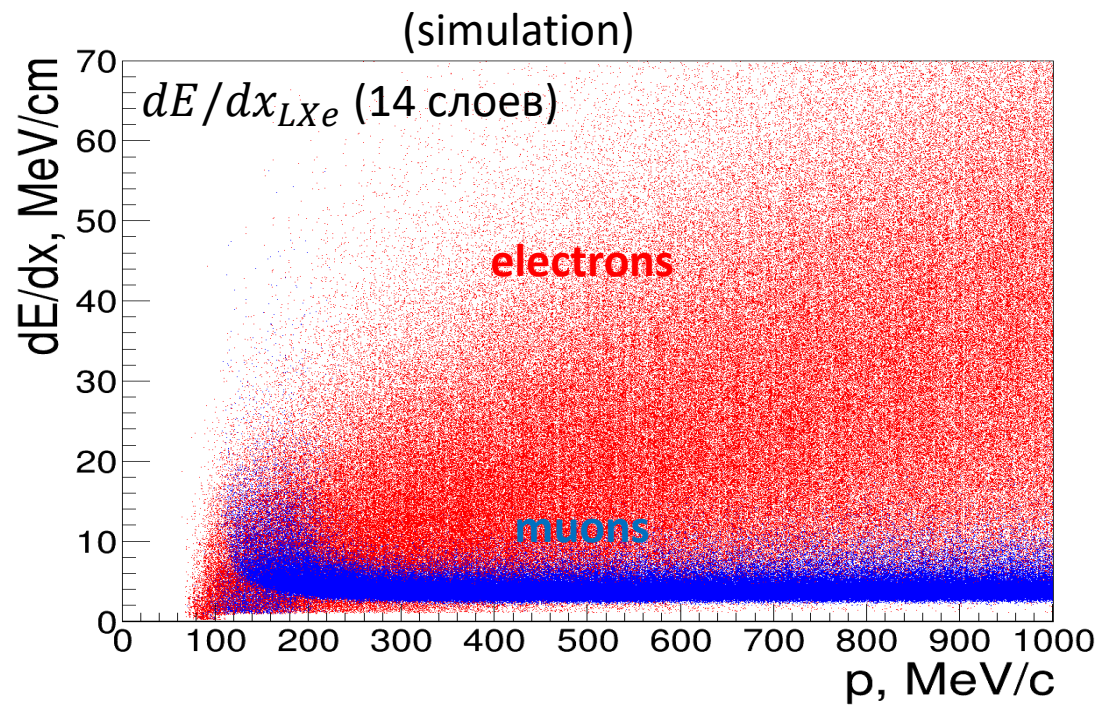
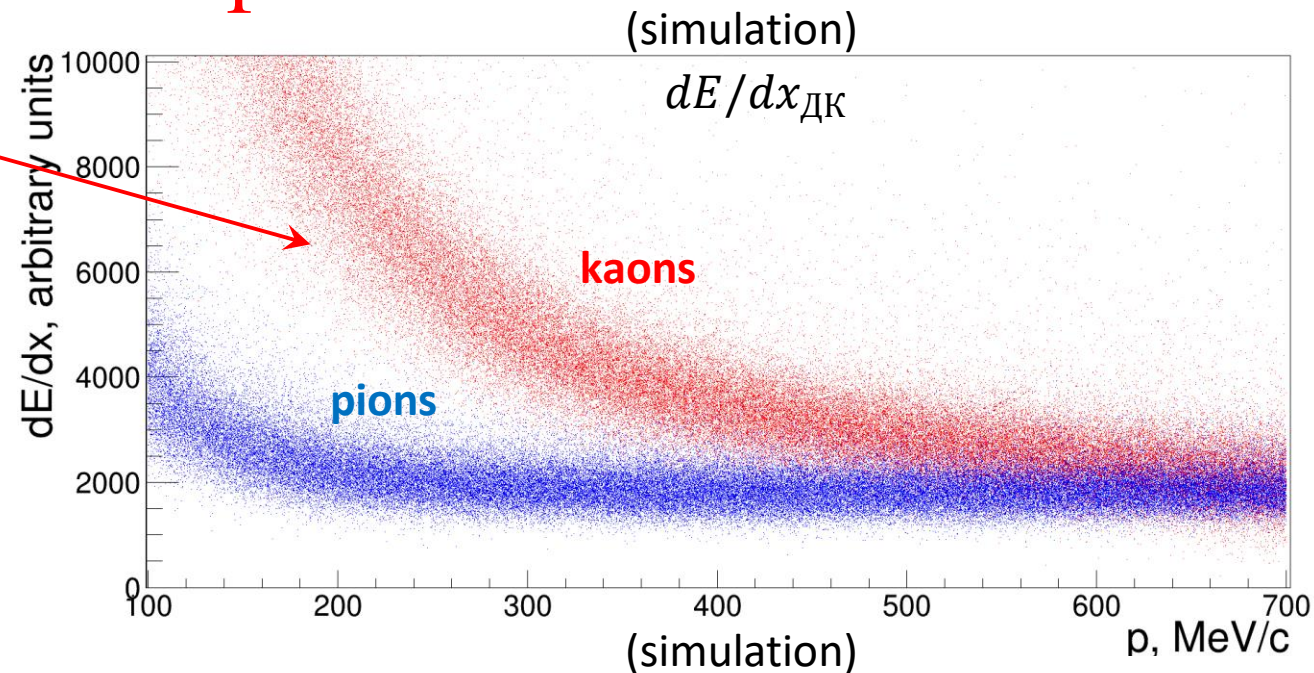
Отбор событий

- Добавка $|p_{1,z} + p_{2,z}|$ «отыгрывает» излучение струй – это упрощает фит



Подавление фона

- Для идентификации каонов в КМД-3 как правило используется измерение dE/dx в дрейфовой камере
- При импульсах выше 550 МэВ/с идентификация каонов по $dE/dx_{\text{ДК}}$ становится невозможной, в связи с этим была разработана методика идентификации по dE/dx в 14 слоях LXe-калориметра

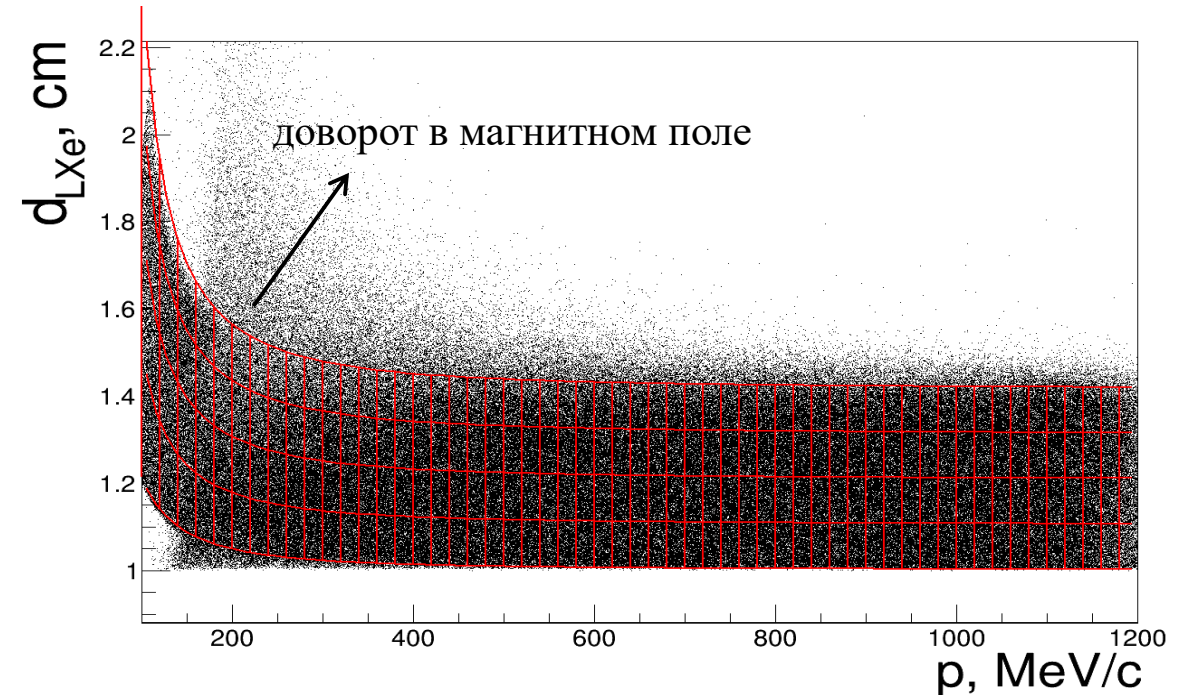


Идентификация частиц по dE/dx_{LXe}

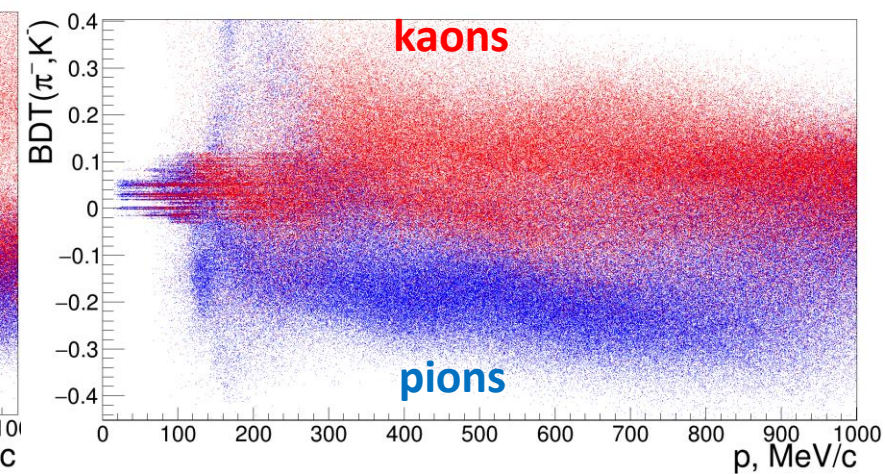
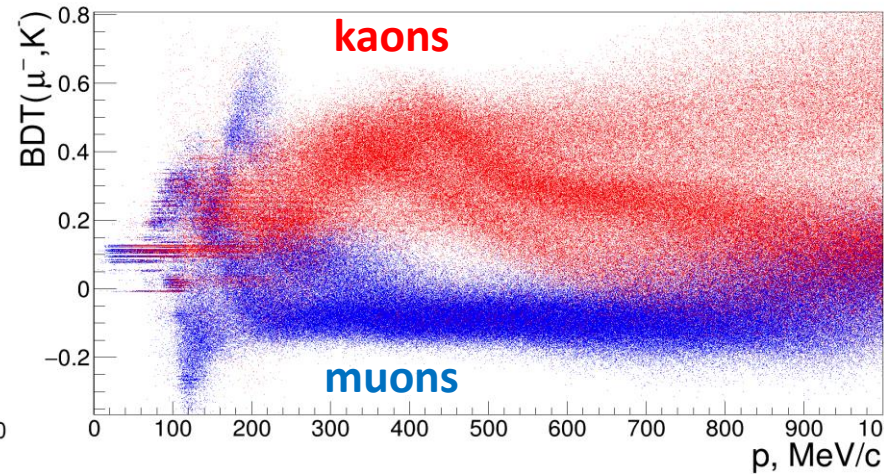
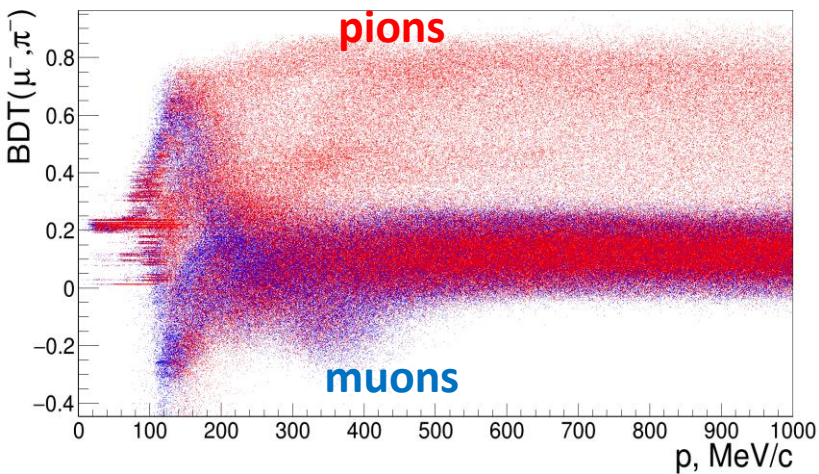
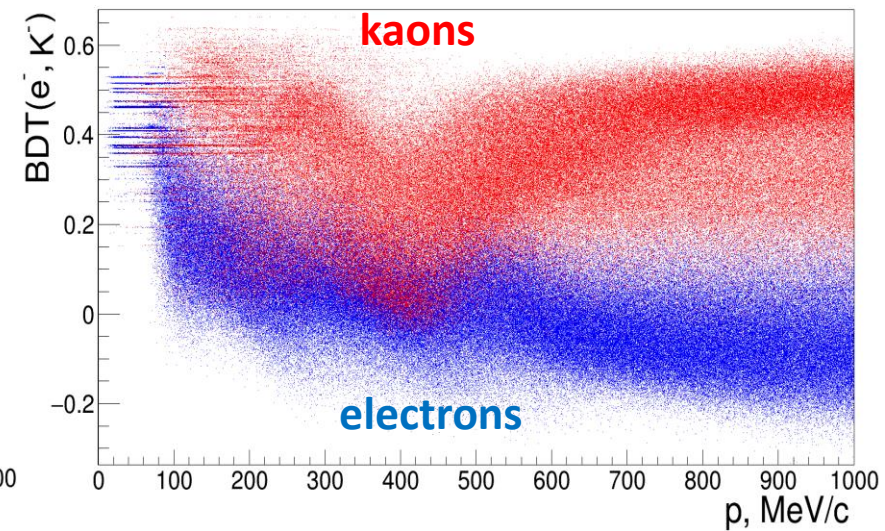
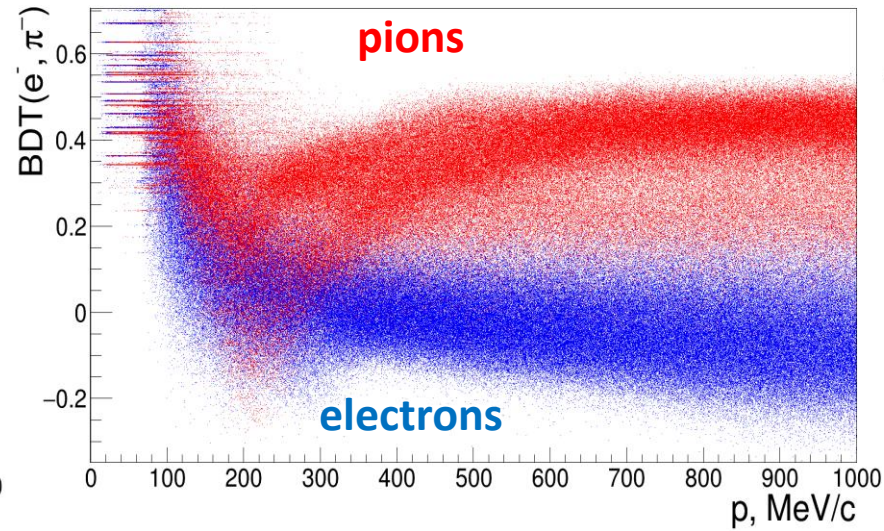
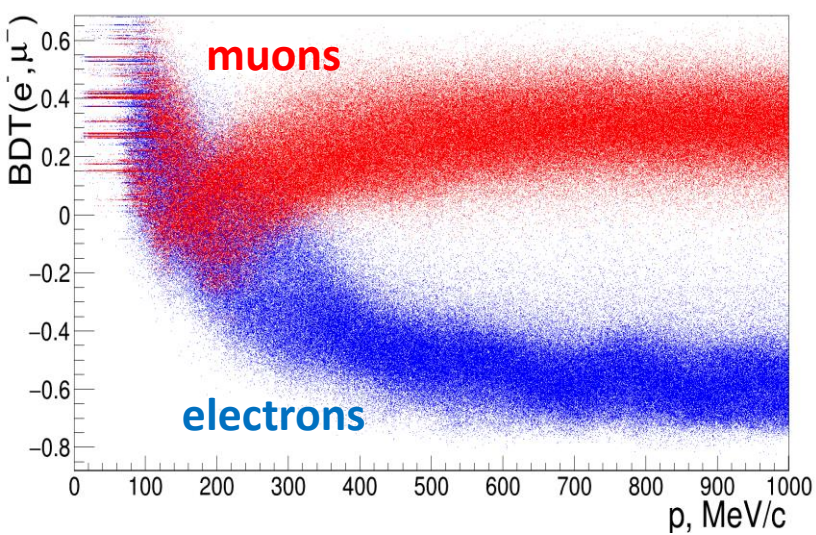
- Для каждого трека в ДК считаются 10 откликов классификаторов BDT (ROOT::TMVA), натренированных на разделение пар частиц определенных типов в определенных диапазонах импульсов Δp_i и ожидаемых длин пролета частицы в слое LXe Δd_j :

	$e^\pm$	$\mu^\pm$	$\pi^\pm$	$K^\pm$
$\mu^\pm$	$R_{i,j}(\mu^\pm/e^\pm)$	-	-	-
$\pi^\pm$	$R_{i,j}(\pi^\pm/e^\pm)$	$R_{i,j}(\pi^\pm/\mu^\pm)$	-	-
$K^\pm$	$R_{i,j}(K^\pm/e^\pm)$	$R_{i,j}(K^\pm/\mu^\pm)$	$R_{i,j}(K^\pm/\pi^\pm)$	-
$p^\pm$	$R_{i,j}(p^\pm/e^\pm)$	$R_{i,j}(p^\pm/\mu^\pm)$	$R_{i,j}(p^\pm/\pi^\pm)$	$R_{i,j}(p^\pm/K^\pm)$

- Для тренировки классификаторов **моделируются** заряженные частицы всех типов во всем диапазоне импульсов и длин пробега в ксеноне
- Входные переменные: 12 значений dE/dx_{LXe} (6 слоев), последний слой не используется из-за недолива ксенона
- Всего тренируется ~5000 классификаторов

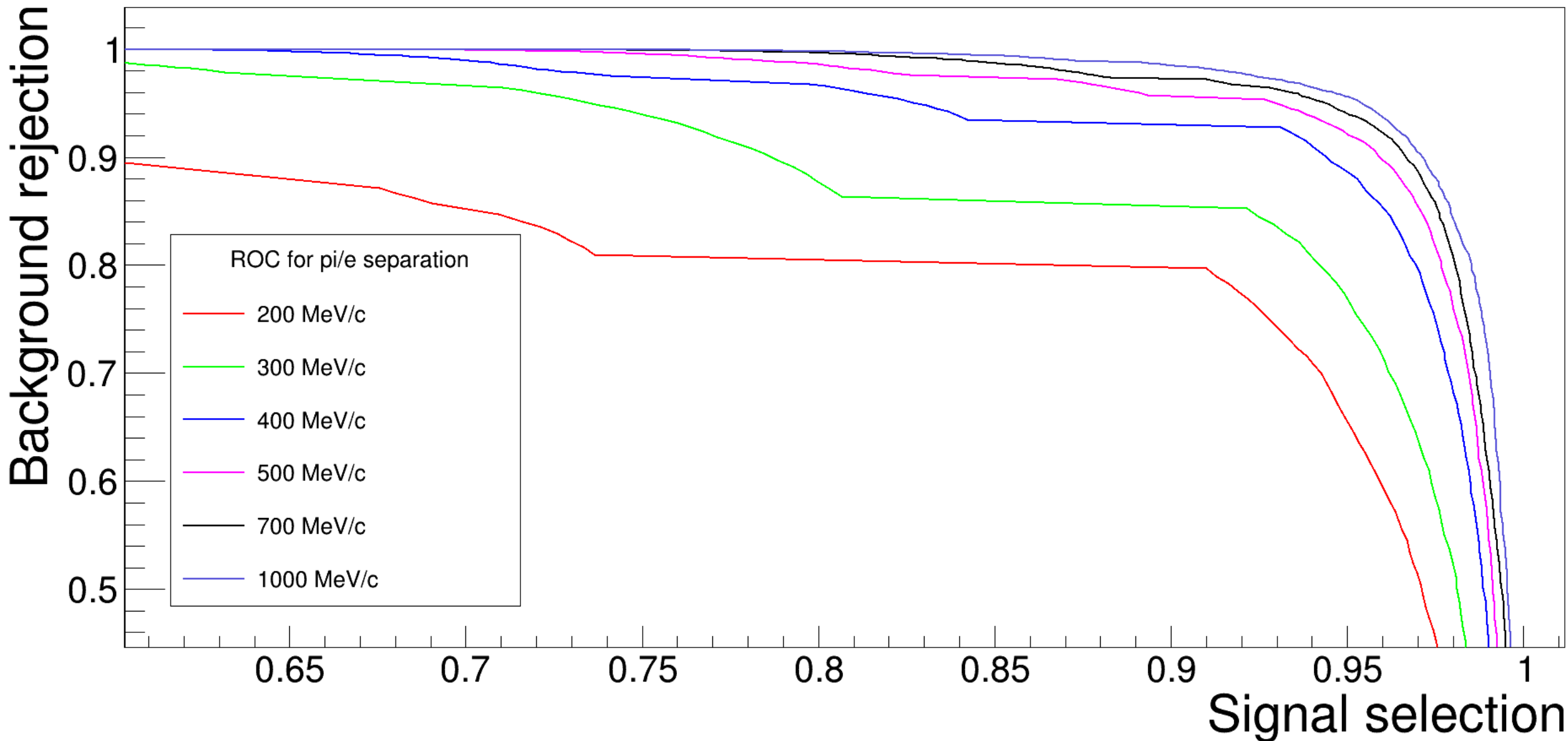


Отклики классификаторов



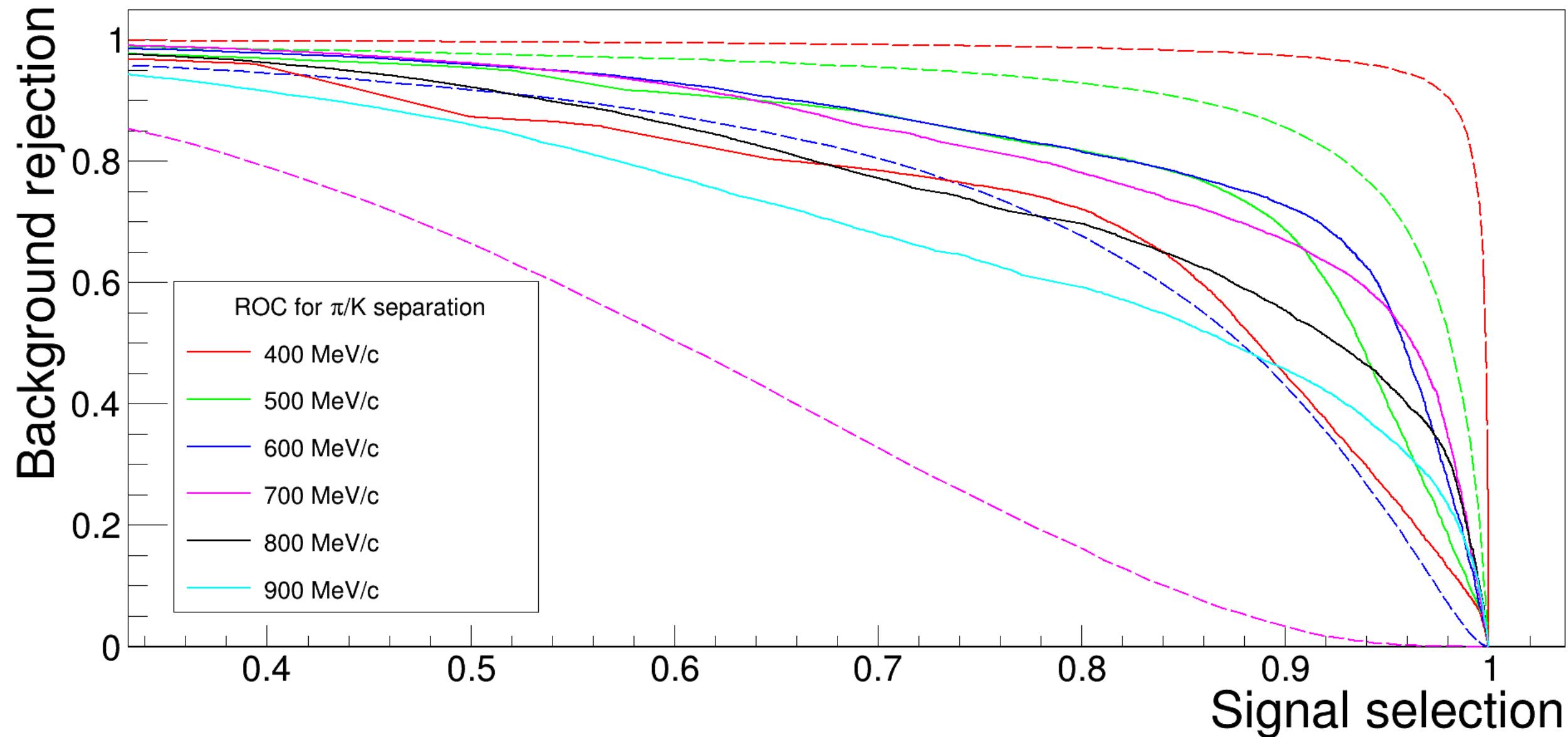
ROC-кривые e/π разделения

- Классификатор e/π может быть использован в задаче измерения формфактора пиона



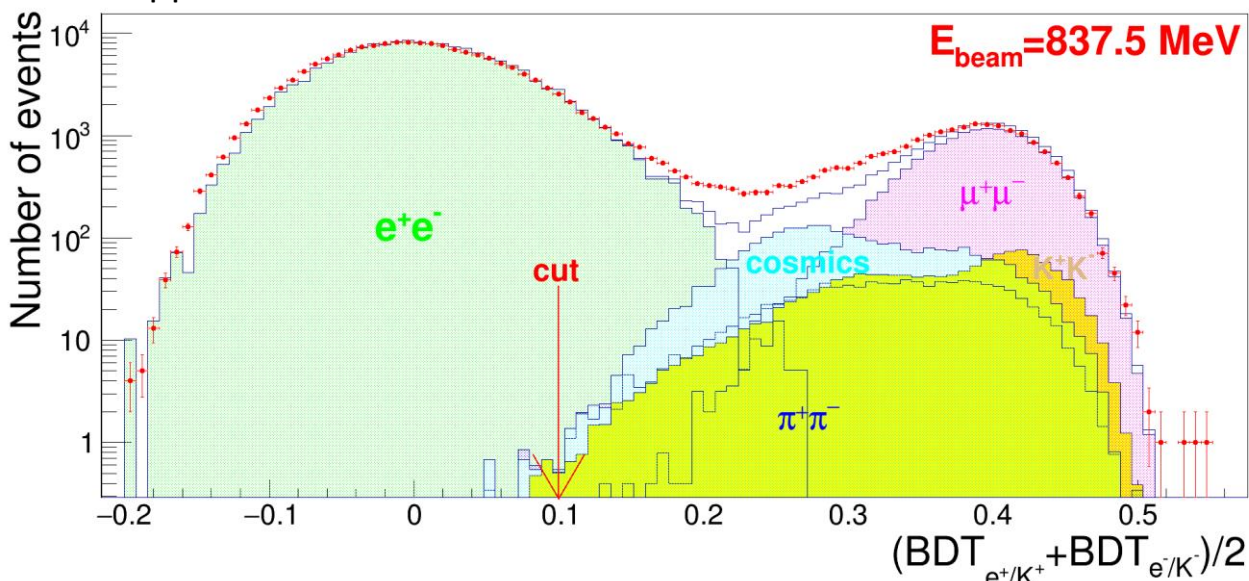
ROC-кривые π/K разделения

- Сплошная линия – разделение по LXe, штрихованная – по ДК

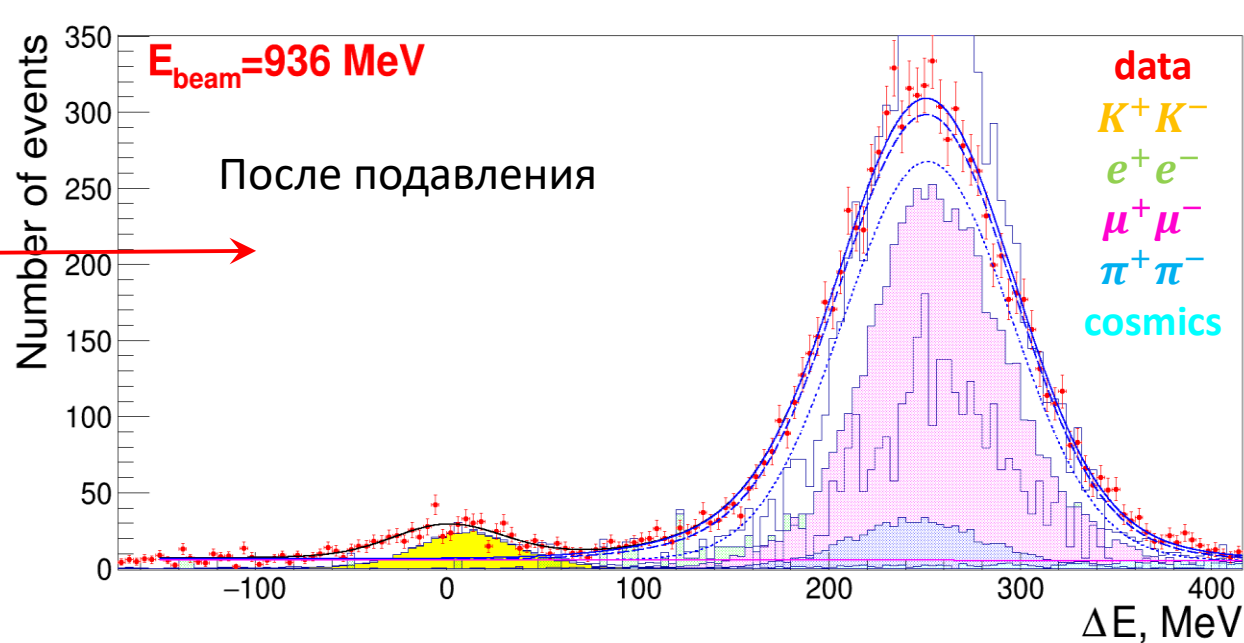
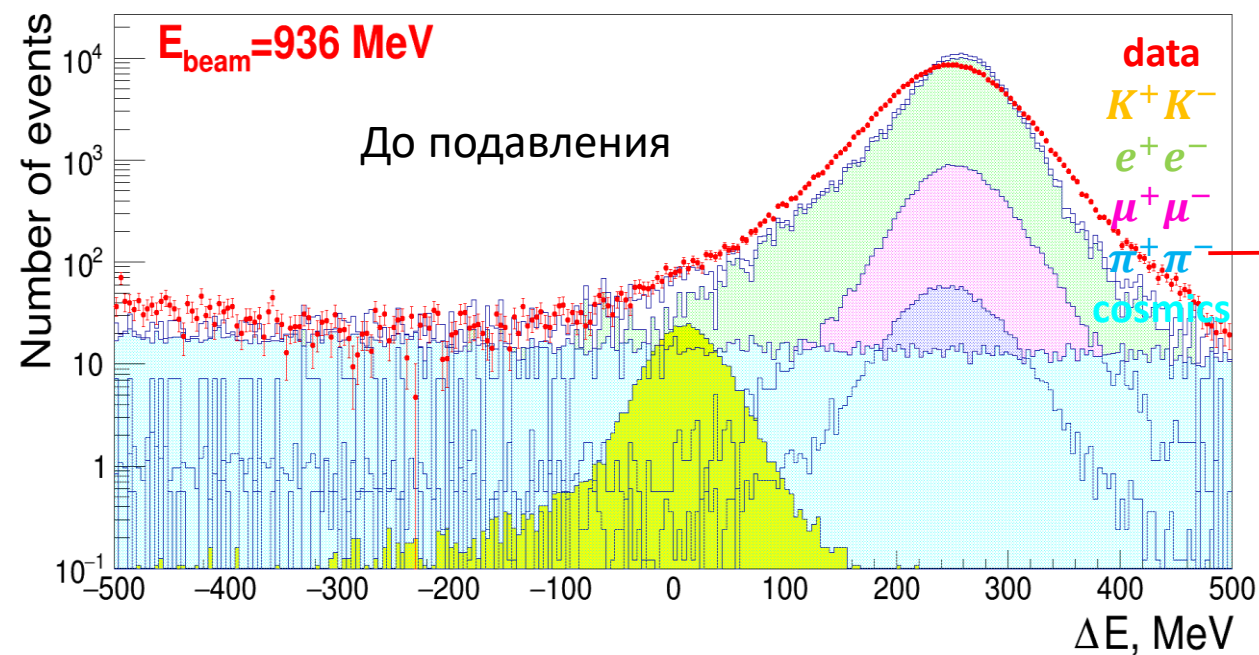
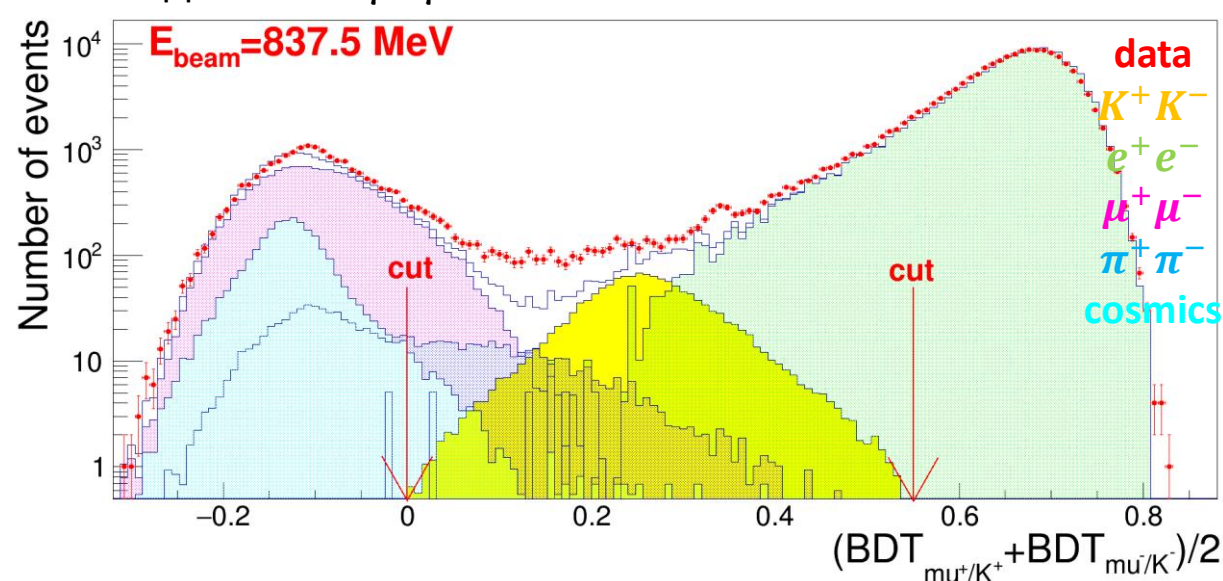


Подавление фона

Подавление e^+e^-

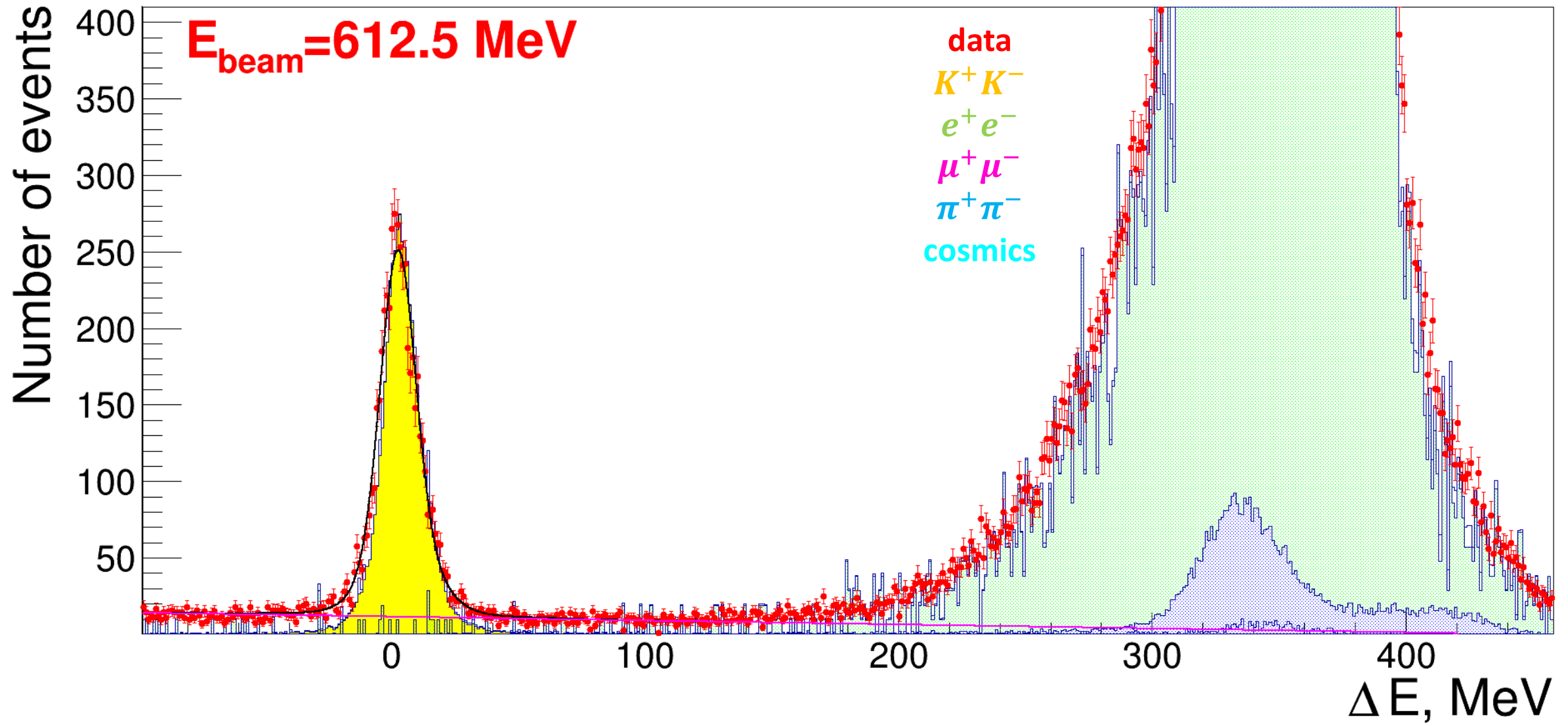


Подавление $\mu^+\mu^-$ и космики



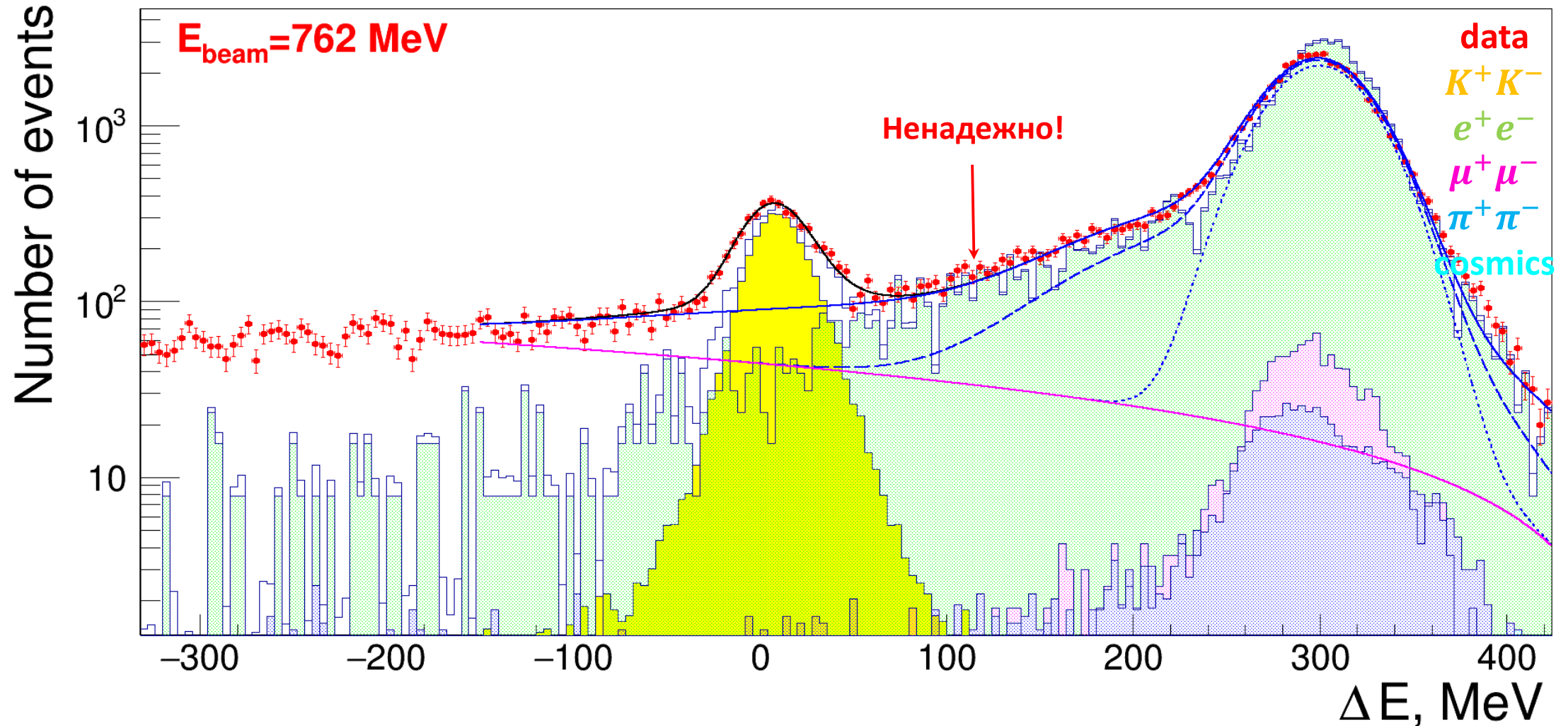
Разделение сигнала и фона, низкие энергии ($\sqrt{s} < 1.4$ GeV)

- При низких энергиях ($\sqrt{s} < 1.4$ GeV) фоновая подложка достаточно хорошо описывается линейной функцией:

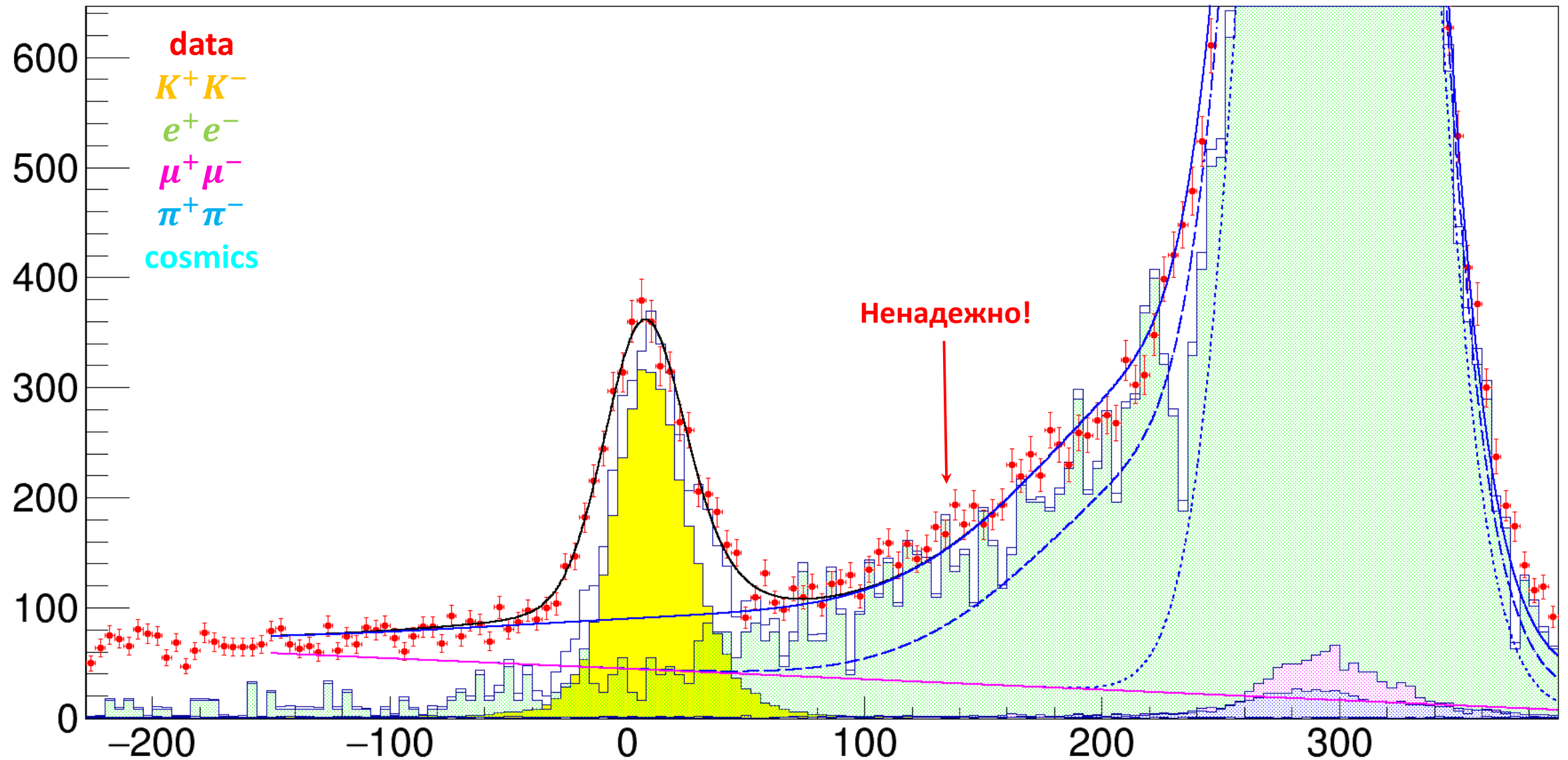


Разделение сигнала и фона, высокие энергии ($\sqrt{s} > 1.4$ GeV)

- При высоких энергиях ($\sqrt{s} > 1.4$ GeV) используются три гаусса для описания формы сигнала и три гаусса + линейная подложка для формы фона
- Однако без дополнительного подавления БаБы вычитание фона оказывается не очень надежным:

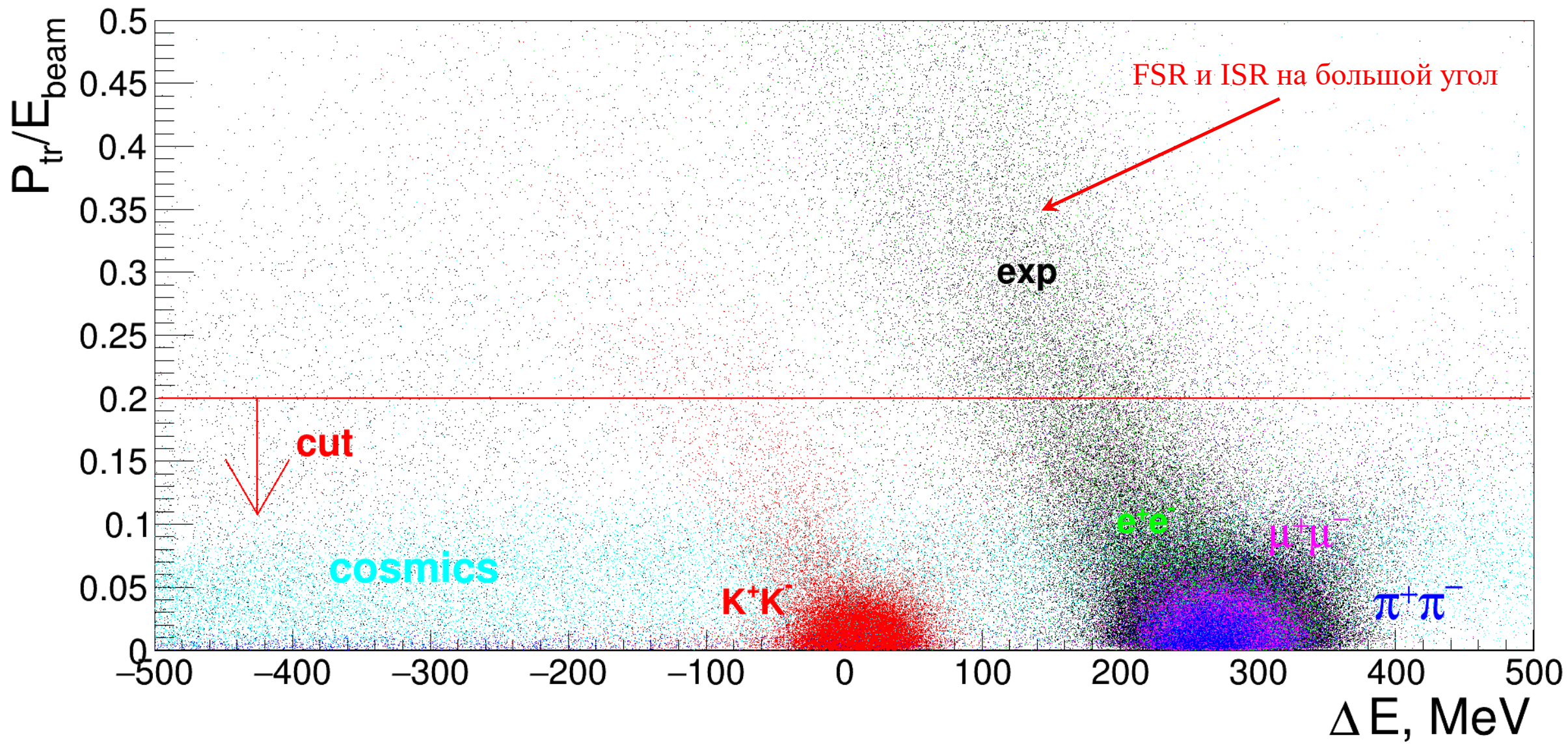


Разделение сигнала и фона, высокие энергии ($\sqrt{s} > 1.4$ GeV)



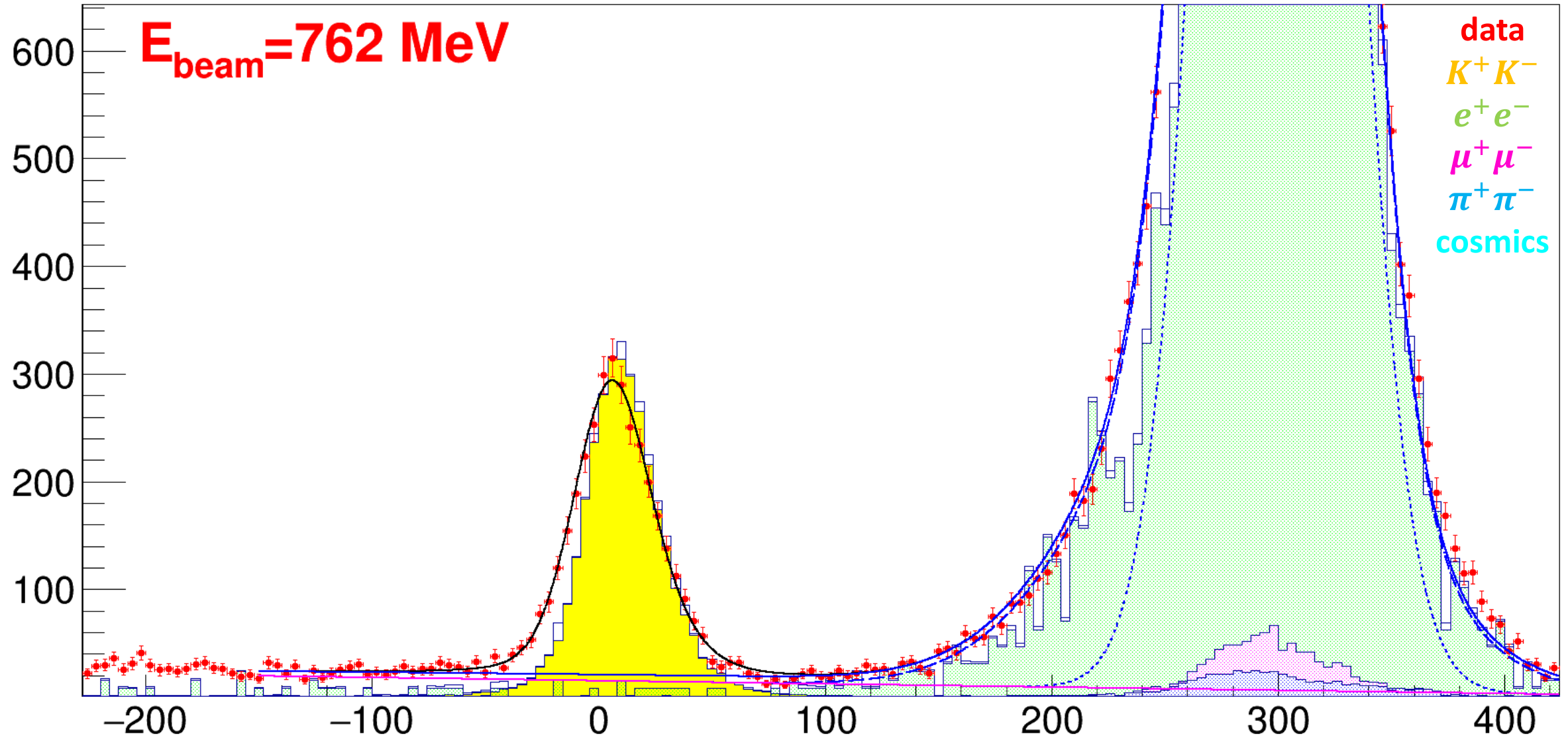
Дополнительное подавление БаБы

- Дополнительное подавление осуществляется отбором по суммарному поперечному импульсу двух частиц
- Эта проблема может быть сразу решена использованием вместо $|p_{1z} + p_{2z}|$ полного суммарного импульса $|\vec{p}_1 + \vec{p}_2|$



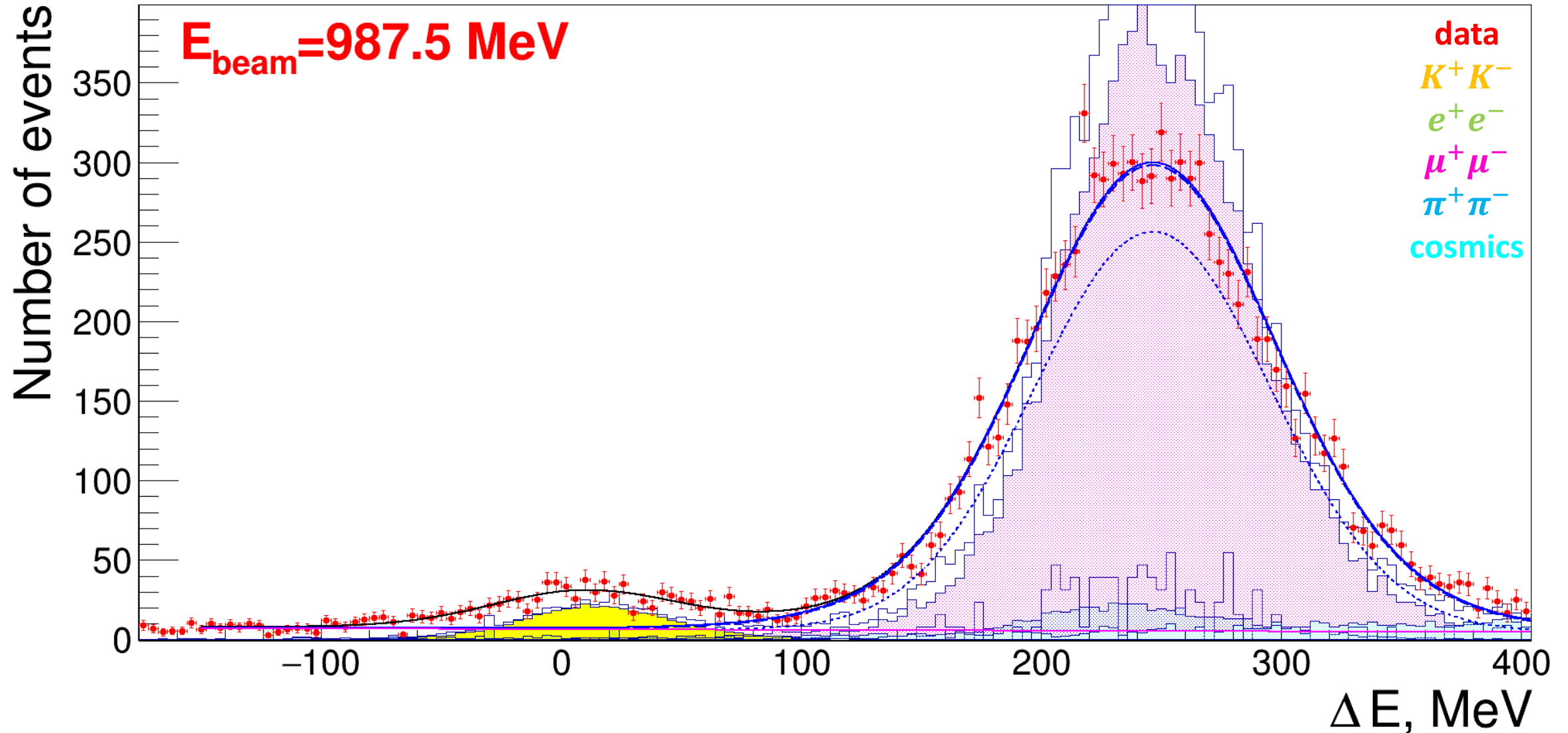
Разделение сигнала и фона, высокие энергии ($\sqrt{s} > 1.4$ GeV)

- После дополнительного подавления БаБы вычитание фона становится надежным:

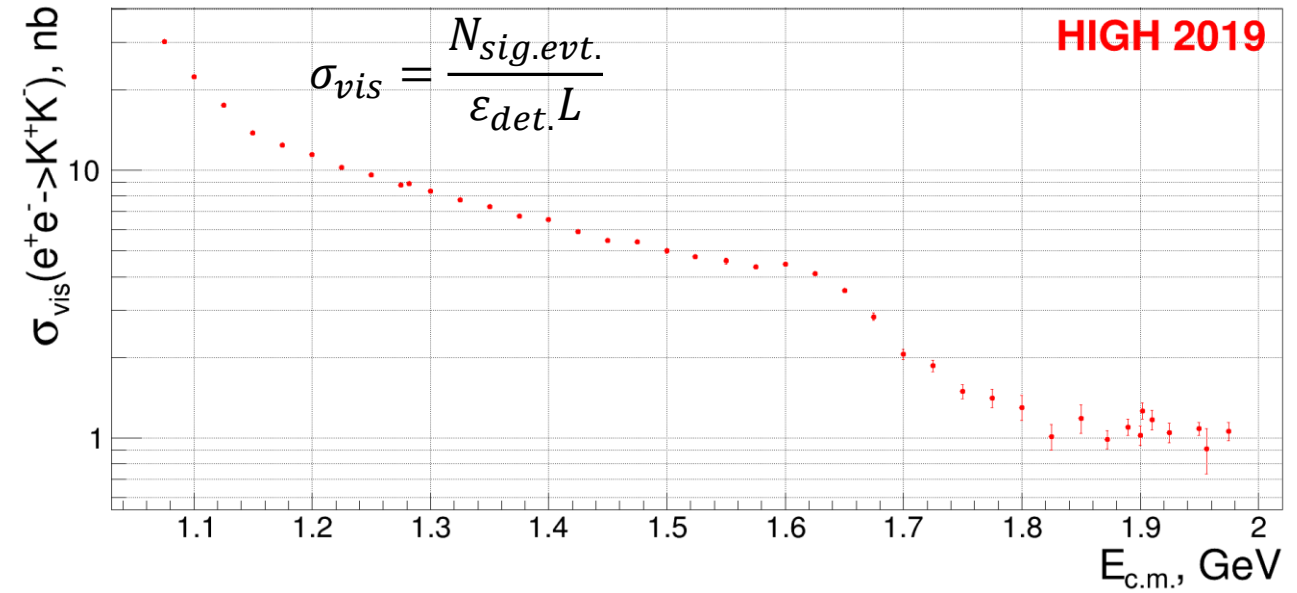
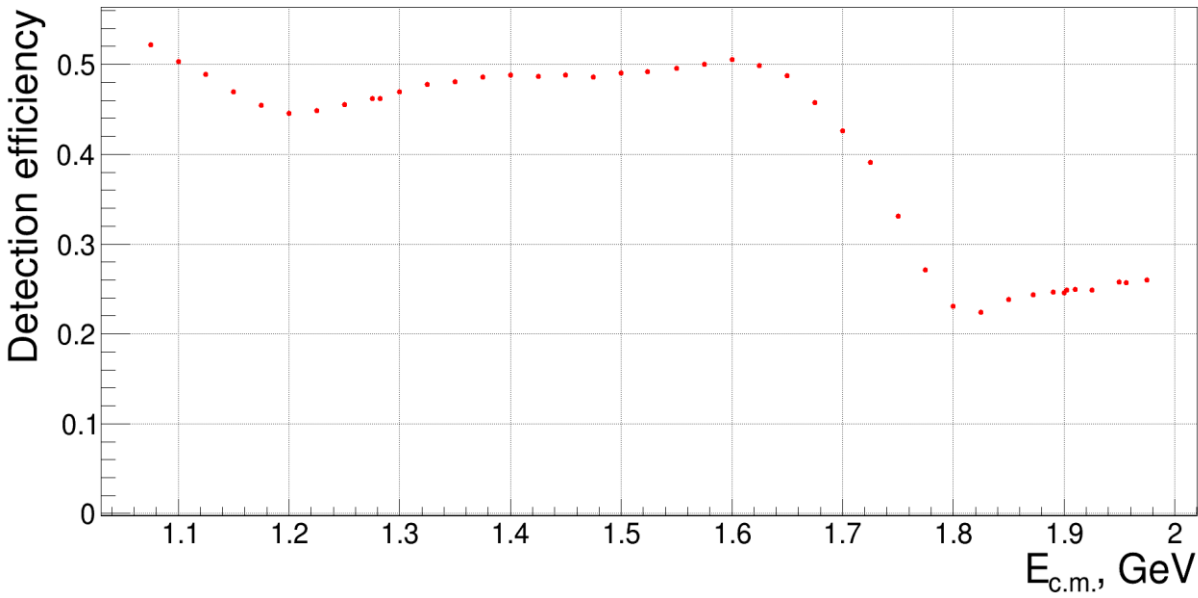


Разделение сигнала и фона, высокие энергии ($\sqrt{s} > 1.8$ GeV)

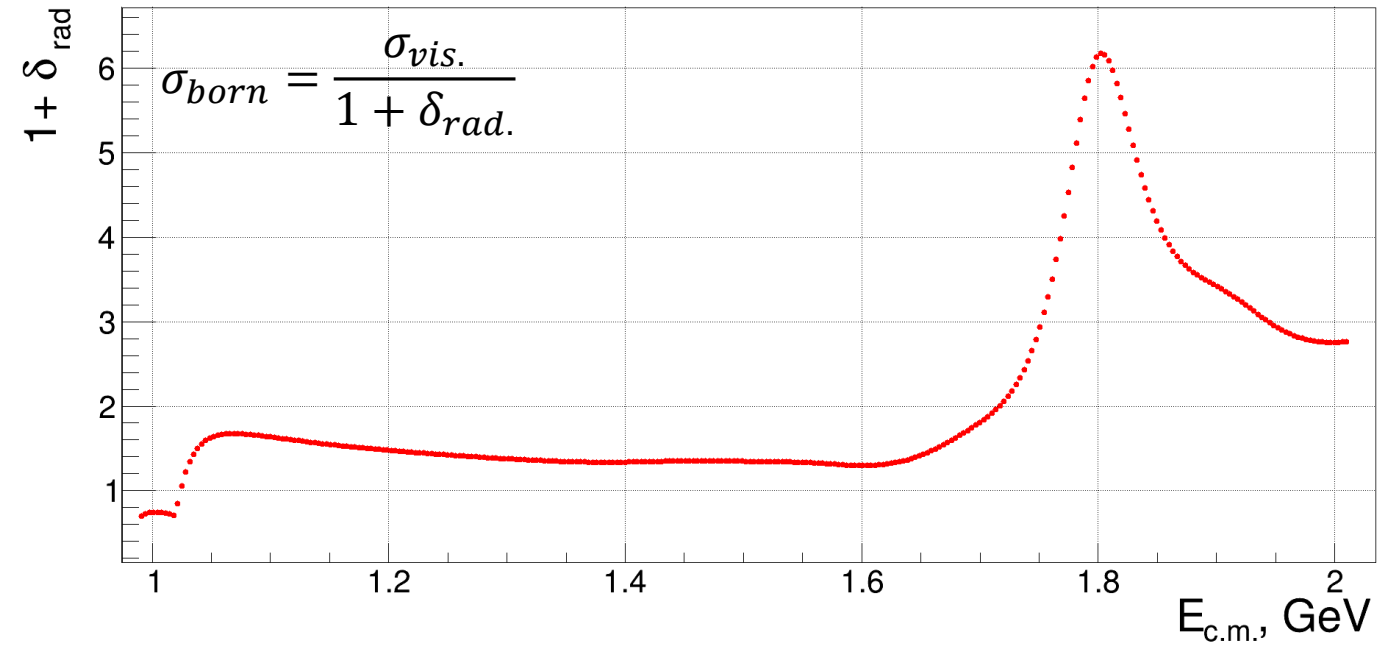
- При самых высоких энергиях ($\sqrt{s} > 1.8$ GeV) Bhabha хорошо давится по BDT, доминирует фон мюонов



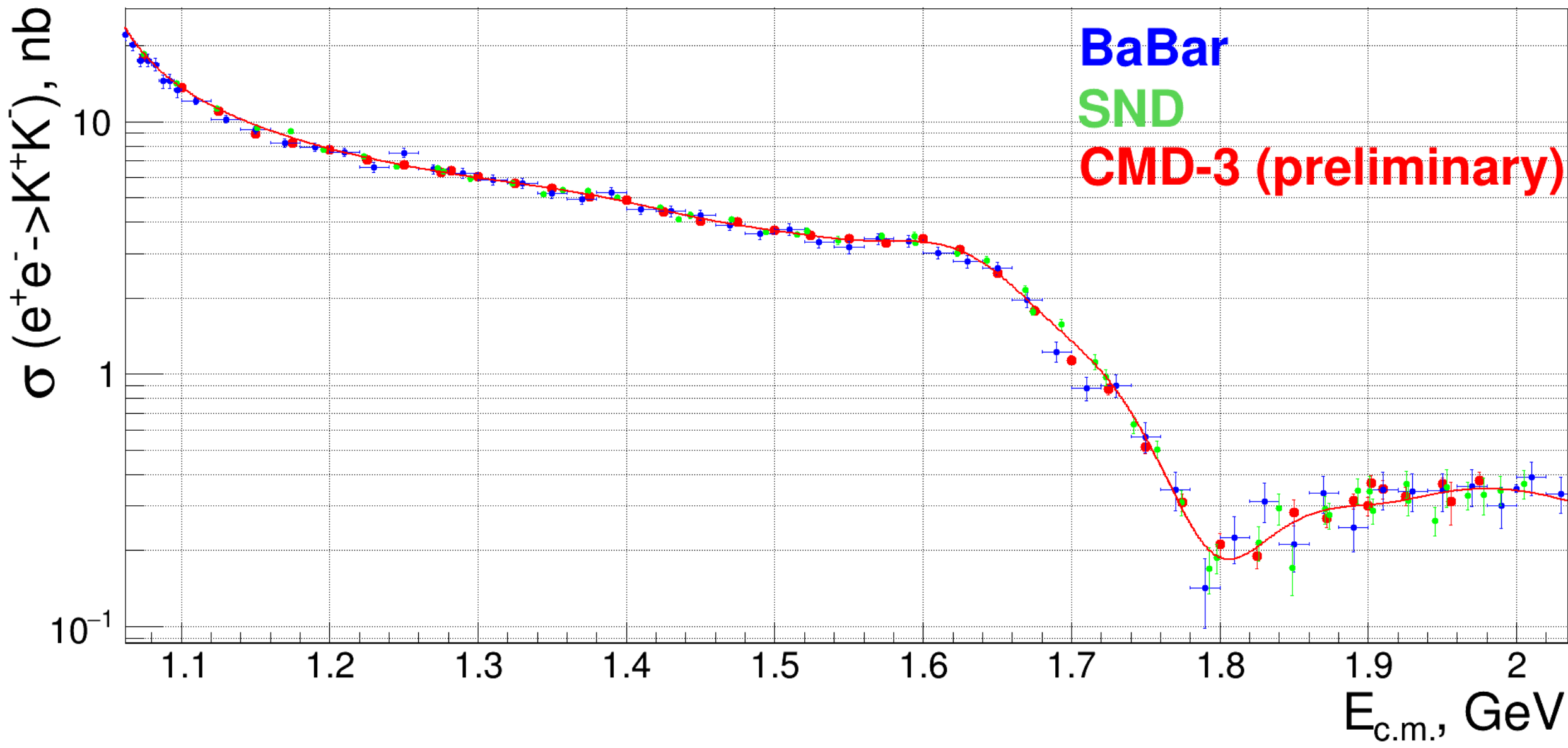
Эффективность регистрации, видимое сечение и радпоправки



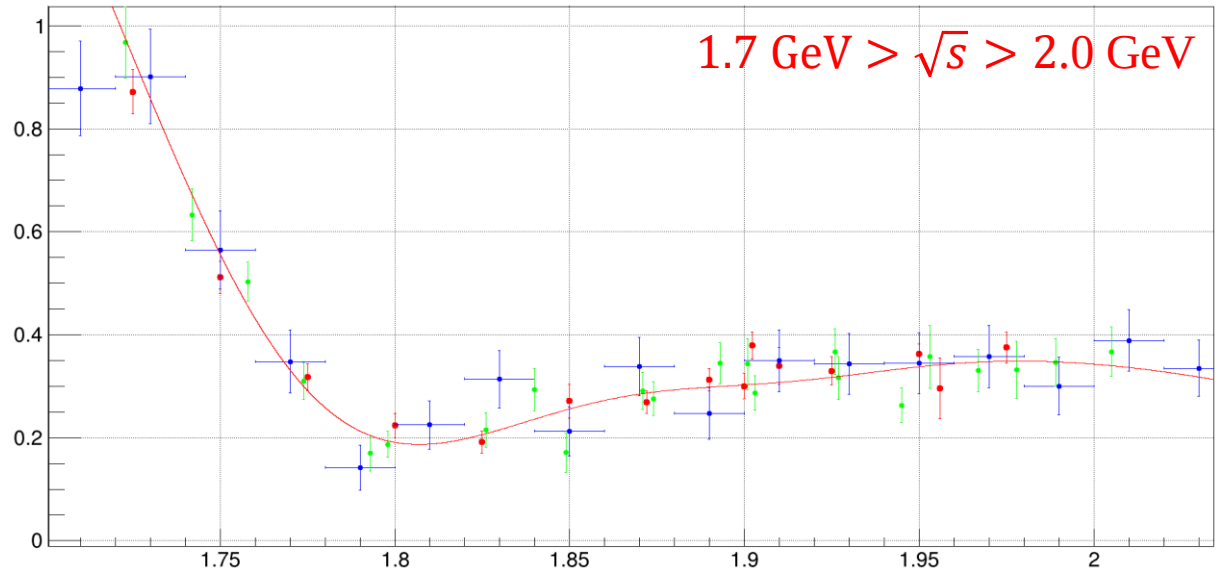
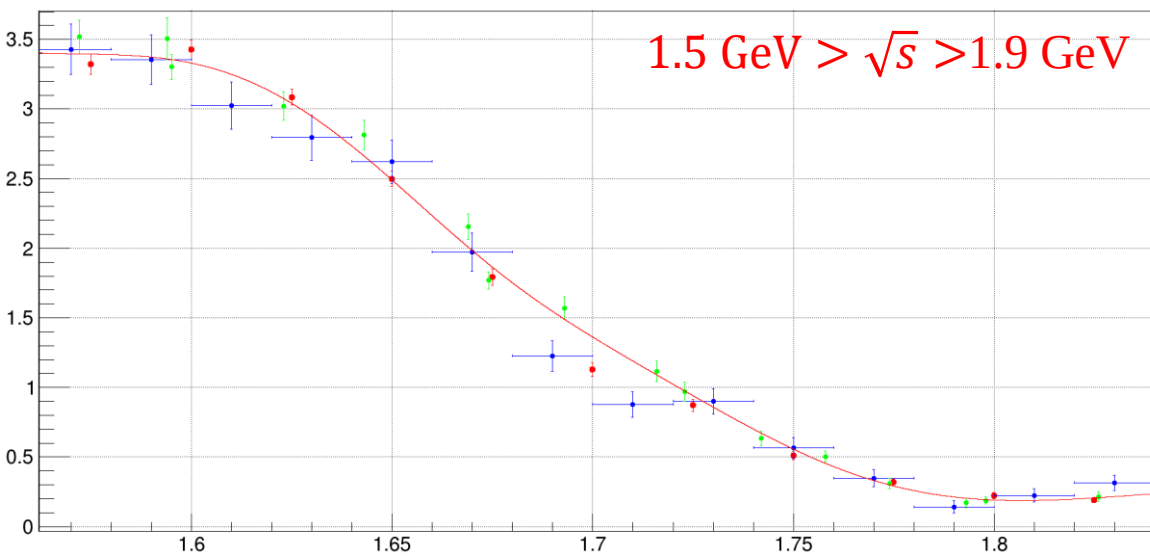
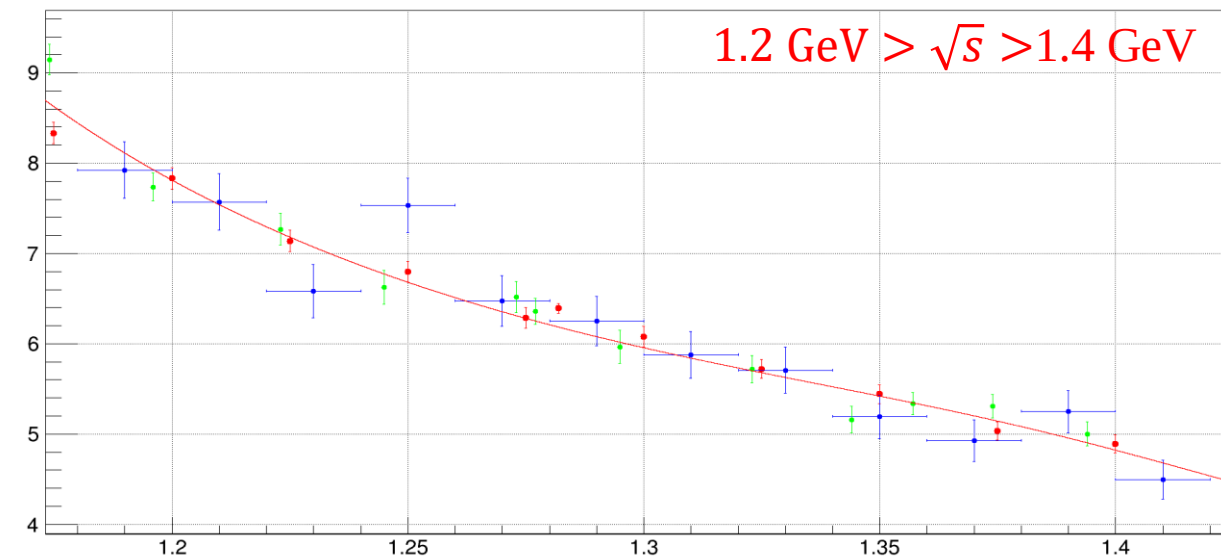
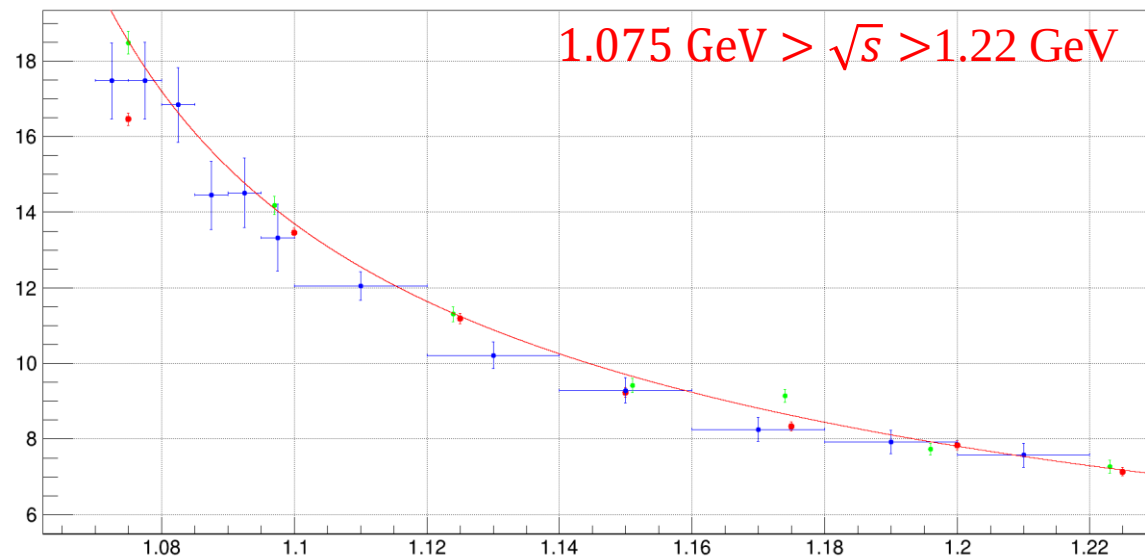
- Радпоправки считаются итерационно с использованием структурных функций Кураева-Фадина
- На первой итерации используется фит сечения SND и BaBar



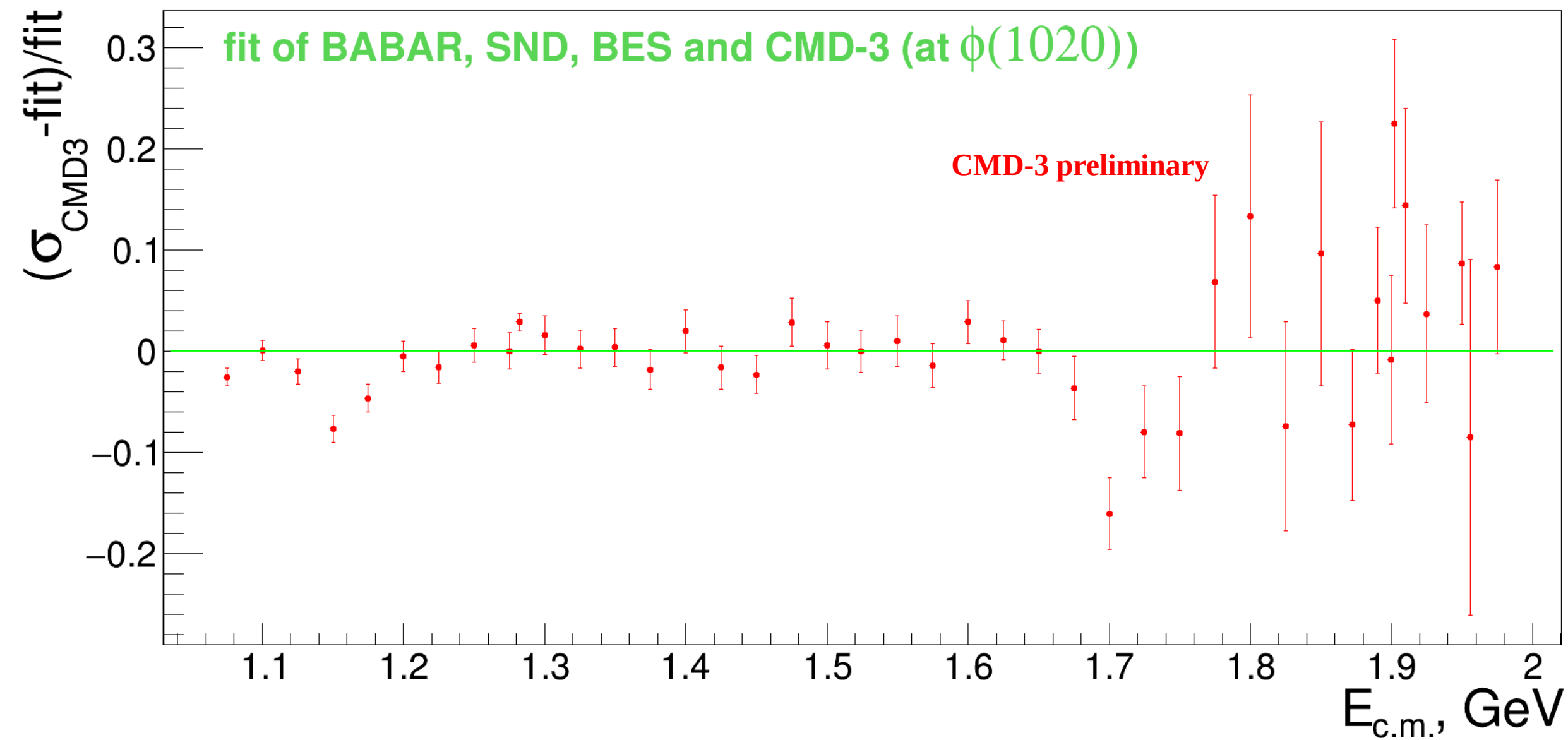
Борновское сечение $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$



Борновское сечение $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$



Борновское сечение $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$



Планы

- Добавить в анализ сезоны 2011, 2012, 2017, 2020 гг.
- Использовать более продвинутый MC-генератор (MCGPJ)
- Оценить поправки к эффективности, эффективность триггера
- Провести анализ систематических ошибок
- Реализовать фит сечения с минимально достаточным набором промежуточных мезонов и, по возможности, с действительными амплитудами
- Совместный фит с сечением $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$