



Измерение сечения процесса

$$e^+ e^- \rightarrow K^+ K^- \eta$$

с детектором КМД-3 на коллайдере ВЭПП-2000

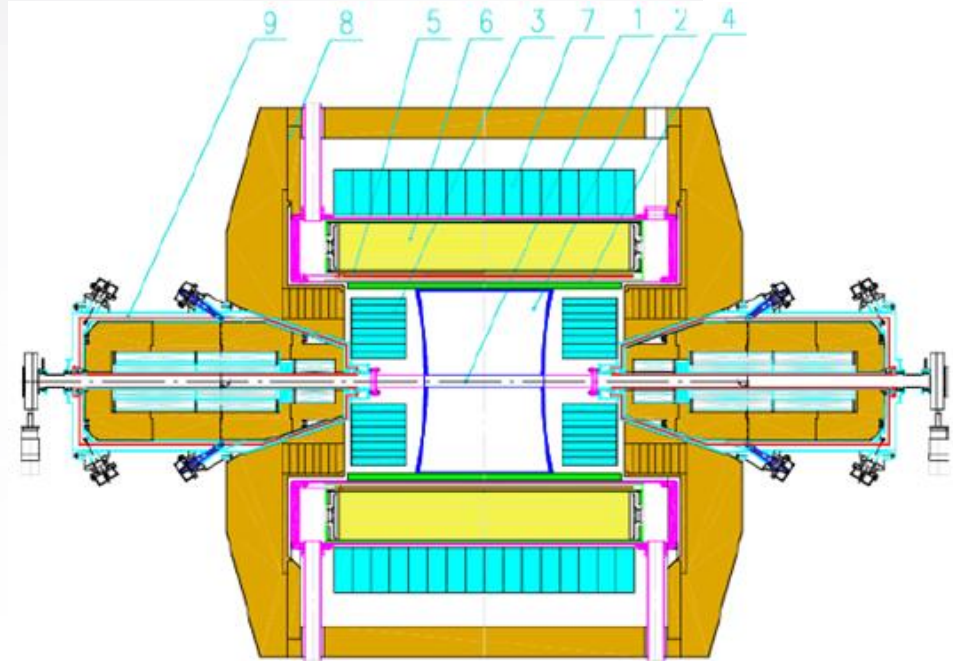
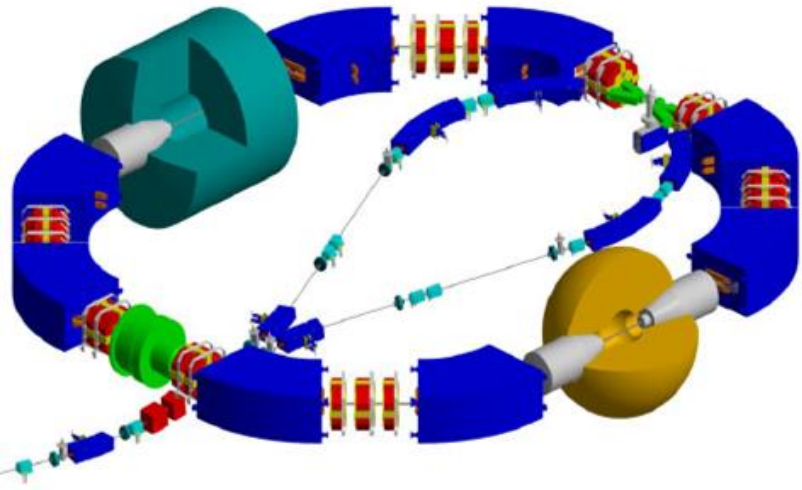
Иванов Вячеслав Львович

Коллаборация КМД-3, Институт Ядерной Физики имени Г.И. Будкера, Новосибирск

НГУ, 10 января 2015 г.



ВЭПП-2000 и КМД-3



- Энергия до 2 ГэВ в с.ц.м.
- Планируется достичь светимости:
 $L = 10^{31} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ при $\sqrt{s} = 1.0 \text{ ГэВ}$
 $L = 10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ при $\sqrt{s} = 2.0 \text{ ГэВ}$
- Разброс энергии в пучке – 0.7 МэВ
- Время между столкновениями пучков – 82 нс
- Статус: 2010 – начался набор данных, осень 2013-го – остановка на модернизацию

1. Вакуумная камера
2. Дрейфовая камера
3. BGO-калориметр
4. Z-камера
5. Сверхпроводящий соленоид
6. LHe-калориметр
7. CsI-калориметр
8. Ярмо
9. Соленоид ВЭПП-2000

Проблема аномального магнитного момента мюона

$$\vec{\mu}_\mu = g_\mu \frac{Q_\mu}{2m_\mu} \vec{s}$$

$$g_\mu = 2(1 + a_\mu)$$

Dirac

Аномальный магнитный момент

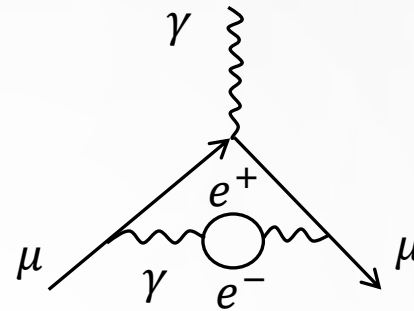
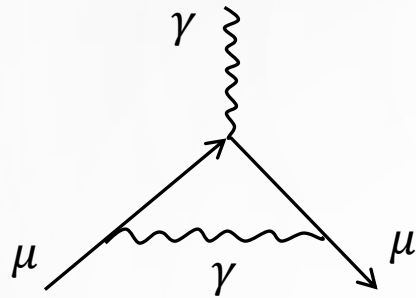
- Существует расхождение в 3-4 σ между экспериментально измеренным и «теоретически» предсказанным значениями:
- Эксперимент (Brookhaven E821): $a^{\text{exp}}_\mu = 116592089(63) \times 10^{-11} (\pm 0.54 \text{ ppm})$
- Готовится эксперимент Fermilab E989: планируется достичь точности $\pm 16 \times 10^{-11}$
- Текущее SM-предсказание: $(116591802 \pm 42_{HLO} \pm 26_{LBL} \pm 2_{other} (\pm 49_{total})) \times 10^{-11}$
- Планируется довести точность SM-предсказания до $\pm 35 \times 10^{-11}$

Теоретическое предсказание АМММ

$$a_{\mu}^{SM} = a_{\mu}^{QED} + a_{\mu}^{Had} + a_{\mu}^{Weak}$$

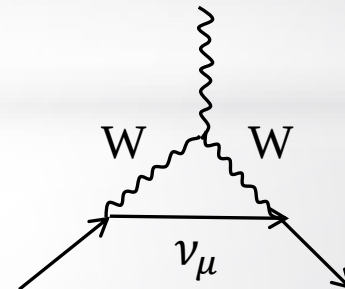
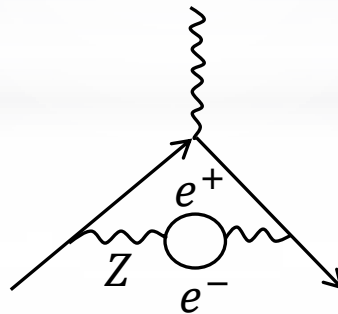
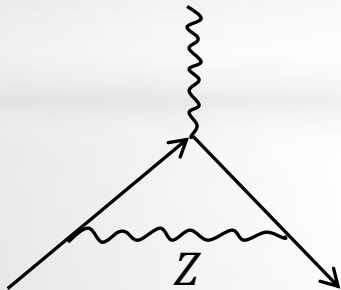
- QED: вклад сосчитан со включением всех пятипетлевых диаграмм (ок. 12000 штук)

$$a_{\mu}^{QED} = 116584718(0.009)(0.019)(0.007)(0.077) \times 10^{-11} (\pm 0.54 \text{ ppm})$$



и т.д.

- Weak: $a_{\mu}^{Weak} = (153.6 \pm 1.0) \times 10^{-11}$



и т.д.

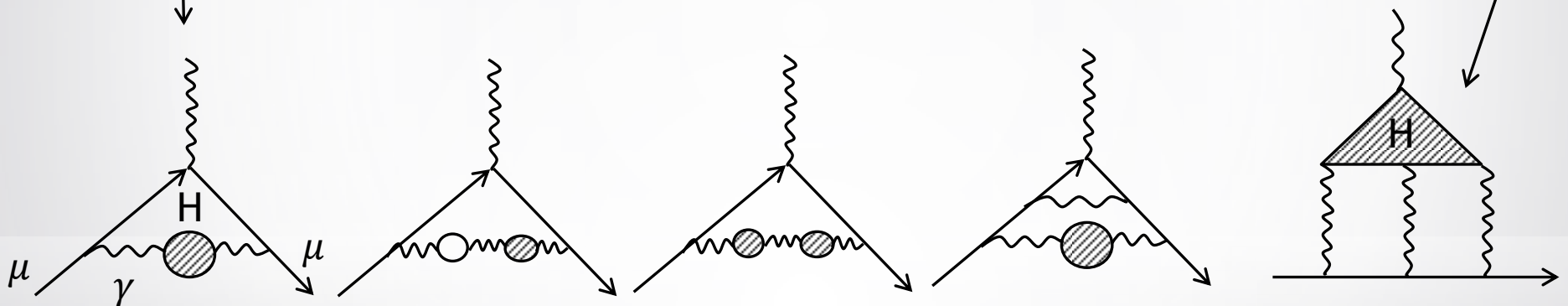
Адронный вклад в AMMM

$$a_{\mu}^{Had} = a_{\mu}^{Had(LO)} + a_{\mu}^{Had(NLO)} + a_{\mu}^{Had(lbl)}$$

- $a_{\mu}^{Had(LO)}$ вносит определяющий вклад в неопределенность a_{μ}^{SM} :

M. Davier, A. Hoecker et. al.: $a_{\mu}^{Had(LO)} = (6923 \pm 42) \times 10^{-11}$

Jegerlehner and Nyffler: $a_{\mu}^{Had(LO)} = (6949 \pm 43) \times 10^{-11}$



- Также важен вклад $a_{\mu}^{Had(lbl)} = (105 \pm 26) \times 10^{-11}$

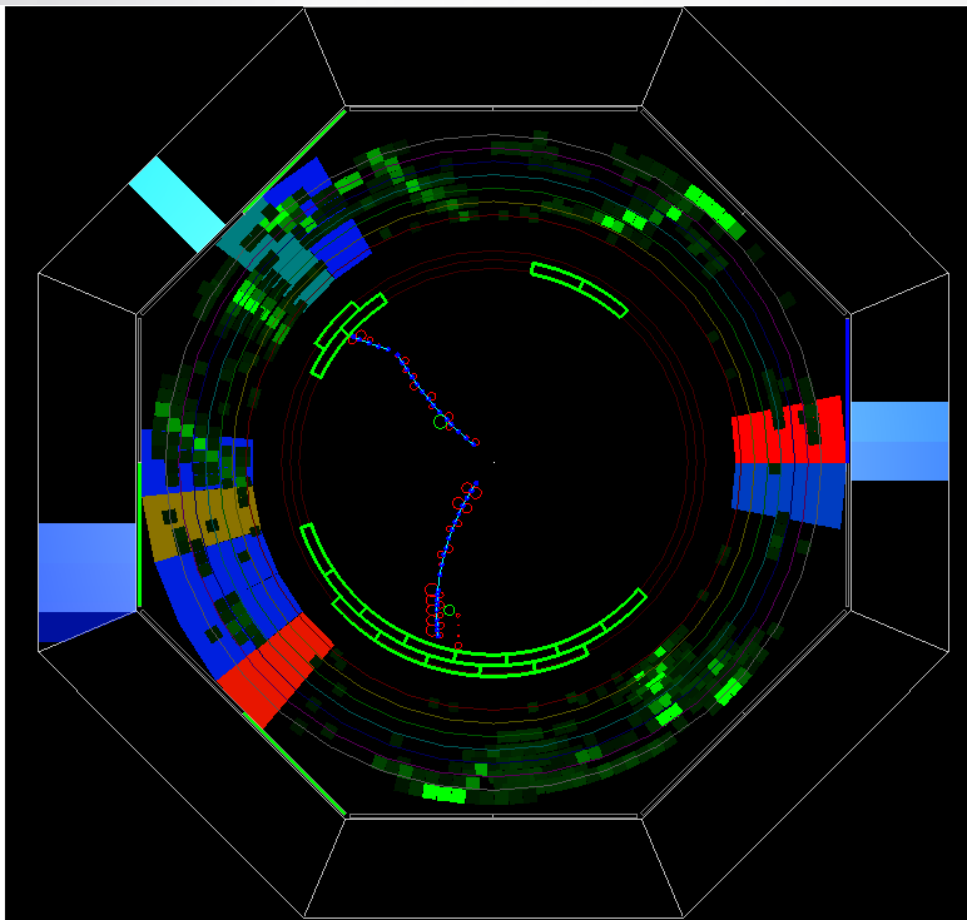
$$a_{\mu}^{had;LO} = \left(\frac{\alpha m_{\mu}}{3\pi}\right)^2 \int_{4m_{\pi}^2}^{\infty} \frac{ds}{s^2} K(s) R(s), \text{ где } R \equiv \frac{\sigma_{tot}(e^+e^- \rightarrow hadrons)}{\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)} \approx 3 \sum Q^2_{quark type}$$

- $K(s)$ – ограниченная плавно меняющаяся функция, вклад малых энергий подчеркнут фактором $\frac{1}{s^2}$ (~90% - до 2 ГэВ).

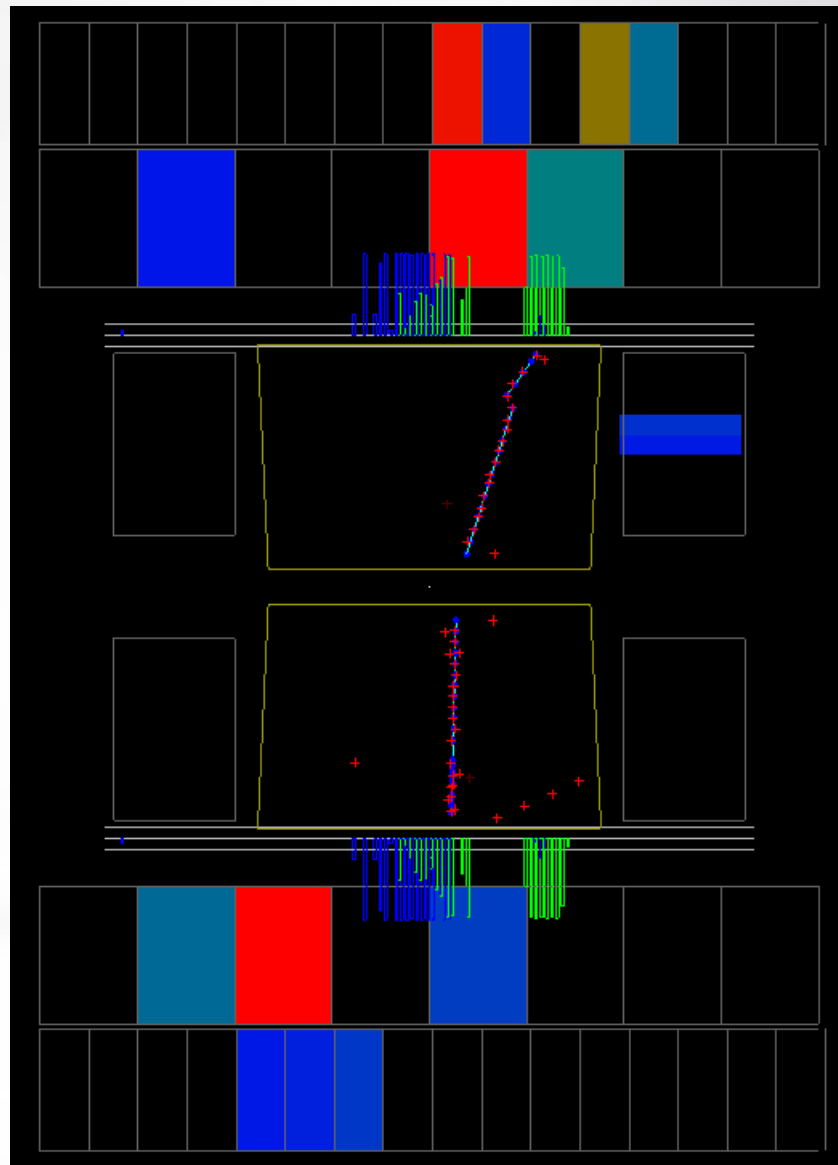
Процесс $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$

- Основные моды распада η : $Br(\eta \rightarrow \gamma\gamma) \approx 39.31\%$, $Br(\eta \rightarrow \pi^0\pi^0\pi^0) \approx 32.57\%$, $Br(\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0) \approx 22.74\%$, $Br(\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma) \approx 4.60\%$
- Процесс изучался BABAR:
 1. в канале $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ (~ 480 сигнальных событий) [Phys. Rev. D 77, 092002, pp. 1-27 (2008)]
 2. в канале $\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ (~ 250 сигнальных событий) [Physical Review D 86, (2012) 012008]
- Процесс в основном идет через промежуточный канал $\phi'(1680) \rightarrow \phi\eta$, а сечение $\sigma_{NON-\phi}(e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta) \sim 3 \div 15\%$ от полного сечения
- Мы изучаем сечение $\sigma(e^+e^- \rightarrow \phi\eta)$ в области энергий от 1.575 ГэВ до 2 ГэВ
- Основная идея данного анализа: не восстанавливать η по продуктам его распада, т.е. не использовать информацию с калориметра. Это позволяет избавиться от потери статистики из-за Br , неэффективностей калориметра, проблем с поправками к эффективности регистрации η и т.п., но осложняет фоновую ситуацию.
- Анализ проводился на основе интегральной светимости $22pb^{-1}$, набранной в 2011-2012

Событие $K^+ K^- \eta, \eta \rightarrow \gamma\gamma$ в детекторе КМД-3

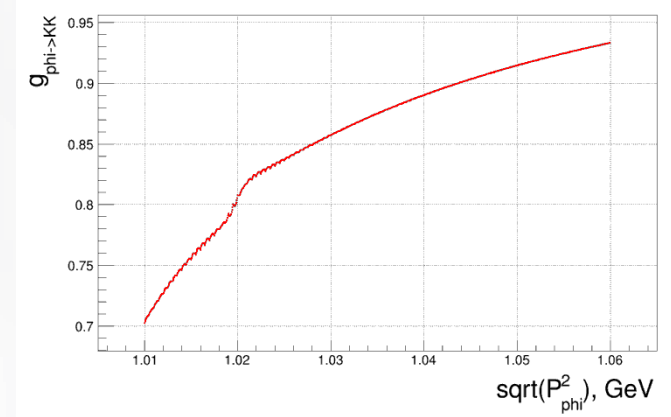
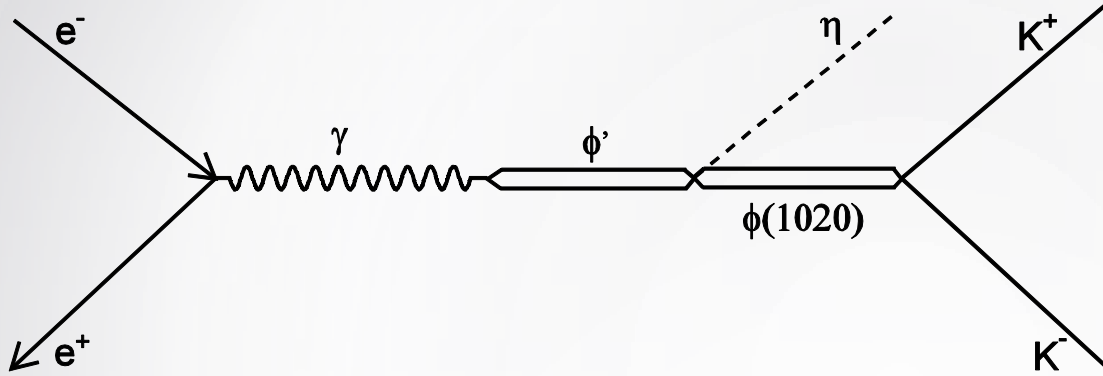


$R - \varphi$ проекция



$R - z$ проекция

МС-генератор сигнального процесса



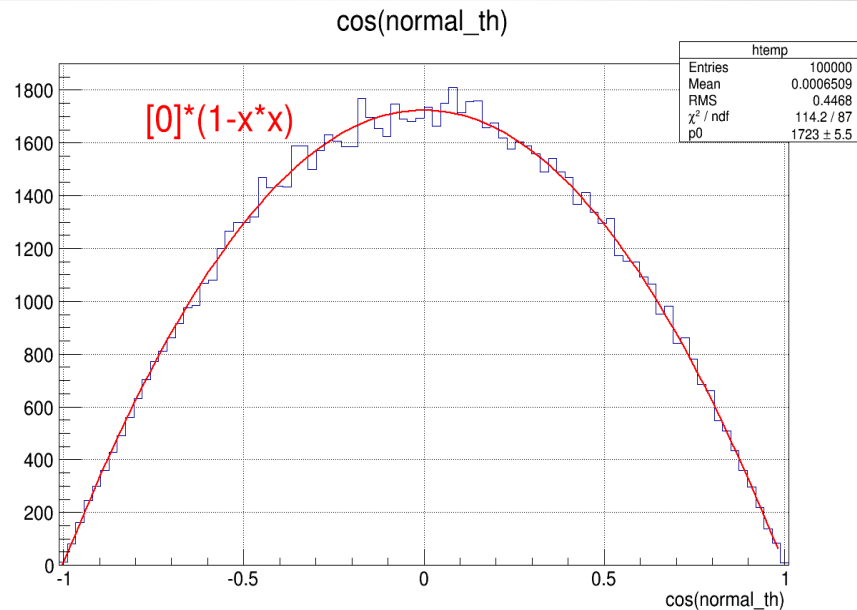
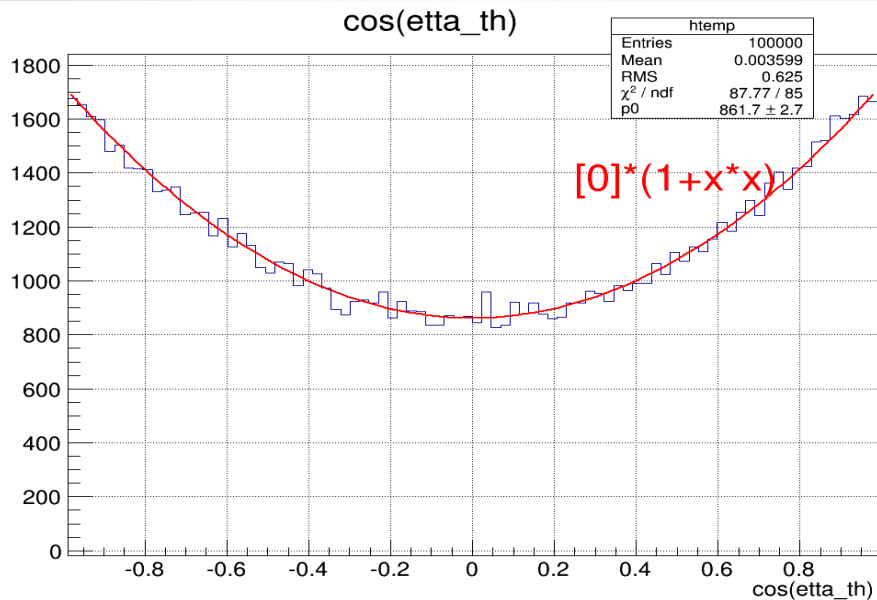
$$d\sigma_{e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta} \sim \frac{1}{s} \sin^2 \theta_{normal} [\vec{p}_{K^+} \times \vec{p}_{K^-}]^2 \left| \left\{ \frac{1}{s - M_{\phi'}^2 + i\sqrt{s}\Gamma_{\phi'}(s)} \cdot \frac{g_{\phi \rightarrow K^+K^-}(p_{\phi}^2)}{p_{\phi}^2 - M_{\phi}^2 + iM_{\phi}\Gamma_{\phi}(p_{\phi}^2)} \right\} \right|^2 d\Phi_3$$

$$\Gamma_{\phi'}(s) \approx \Gamma_{\phi'} \left\{ 0.7 \frac{P_{K^*K}(s)}{P_{K^*K}(m_{\phi'}^2)} + 0.2 \frac{P_{\phi\eta}(s)}{P_{\phi\eta}(m_{\phi'}^2)} + 0.1 \frac{P_{\phi\pi\pi}(s)}{P_{\phi\pi\pi}(m_{\phi'}^2)} \right\},$$

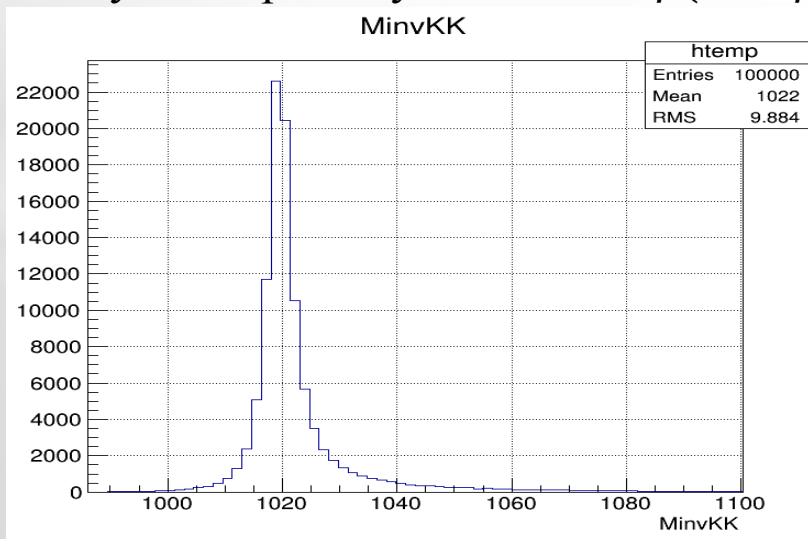
$$\text{где } P_{VP}(s) = \left(\frac{(s + M_V^2 - M_P^2)^2 + 4M_V^2 s}{s} \right)^{3/2}$$

$$P_{\phi\pi\pi}(s) = \int_{2m_{\pi}}^{\sqrt{s}-m_{\phi}} \frac{mdm}{(m^2 - m_{f_0(600)}^2)^2 + m_{f_0(600)}^2 \Gamma_{f_0(600)}^2} \cdot \frac{\sqrt{(s - (m - m_{\phi})^2)(s - (m + m_{\phi})^2)}}{s}$$

МС-генератор сигнального процесса

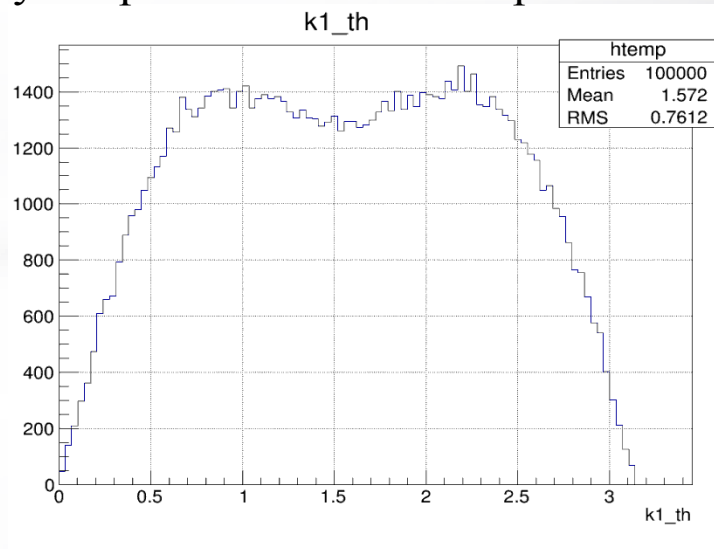


Косинус полярного угла вылета η (или φ)



Инвариантная масса каонов

Косинус нормали к плоскости разлета частиц



Угол вылета каонов

Критерии отбора

Перебираем все пары треков в ДК, и требуем:

- Полный заряд пары = 0
- $\rho < 0.5$ см, $|z| < 12$ см, $\chi^2 < 8 - 12$
- Частицы должны иметь dE/dx , характерный для каонов с данным импульсом
- $1000 \text{ МэВ} < M_{inv}(K^+, K^-) < 1050 \text{ МэВ}$
- Выполнены ограничения (из МС) на импульсы каонов и углы между треками в каждой точке по энергии
- Ожидаемый пролет трека в поперечной плоскости > 20 см (либо ограничения на полярный угол)

⇒ получаем 2 "хороших" каона

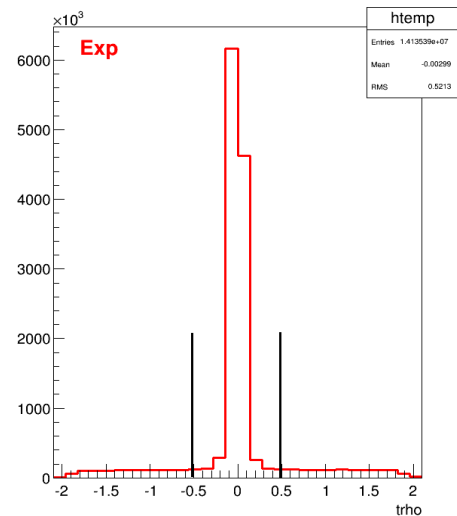
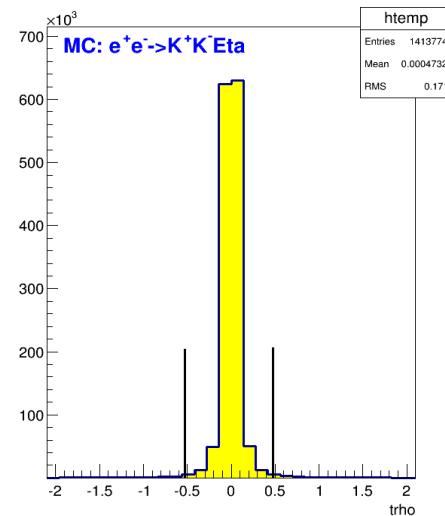
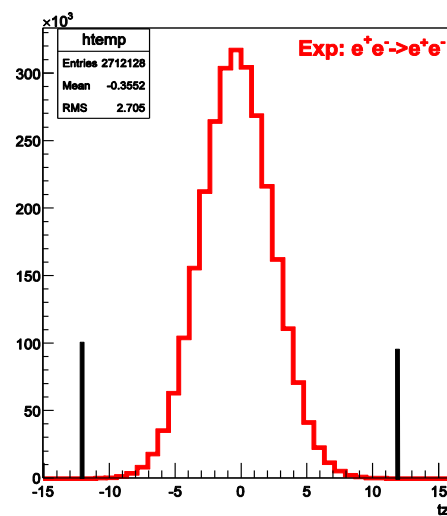
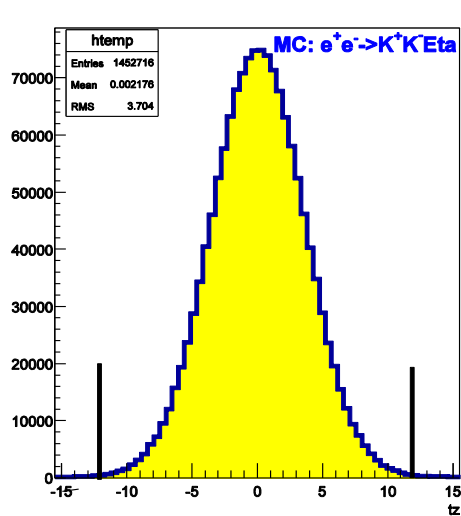
- Вычисляем параметр:

$$E_{tot} - 2 \cdot E_{beam} = \sqrt{\vec{p}_{K^+}^2 + m_{K^+}^2} + \sqrt{\vec{p}_{K^-}^2 + m_{K^-}^2} + \sqrt{(-\vec{p}_{K^+} - \vec{p}_{K^-})^2 + m_{\eta}^2} - 2 \cdot E_{beam}$$

Далее – 2 варианта:

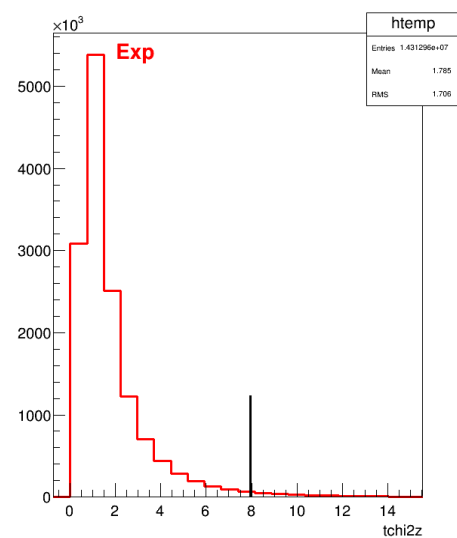
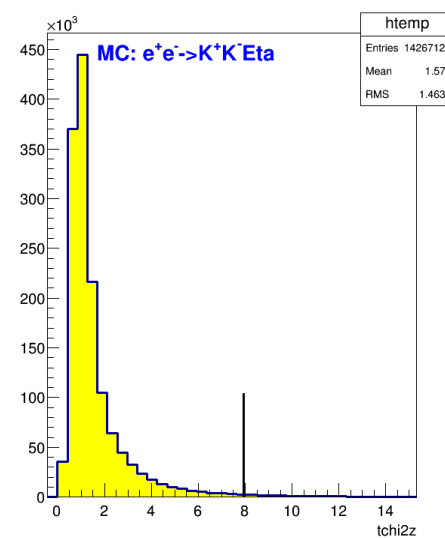
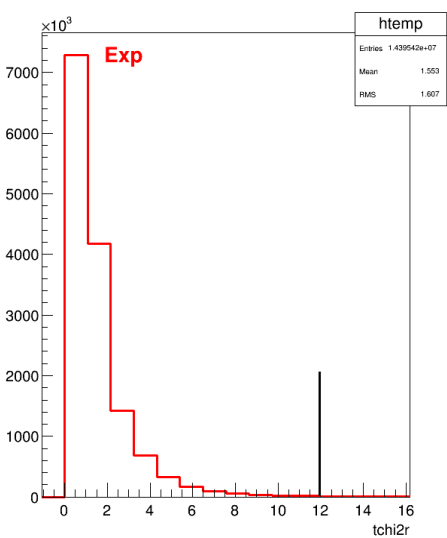
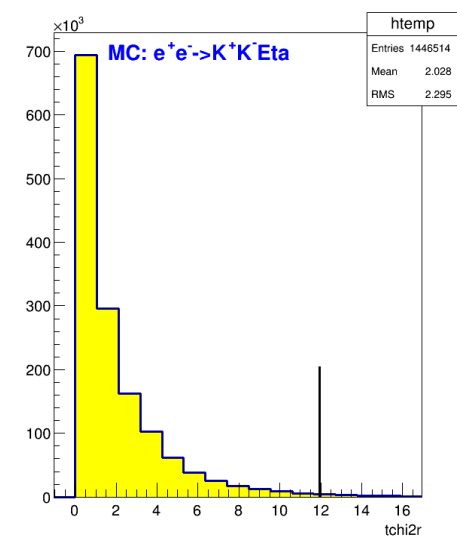
- 1) Нет больше треков с $\rho < 0.5$ см, $|z| < 12$ см, $\chi^2 < 8 - 12$ ($\sim \eta \rightarrow \text{neutrals}$)
- 2) Есть два трека с $\rho < 0.5$ см, $|z| < 12$ см, $\chi^2 < 10$ и dE/dx , характерными для легких частиц ($\sim \eta \rightarrow \text{charged}$)

Критерии отбора



z треков

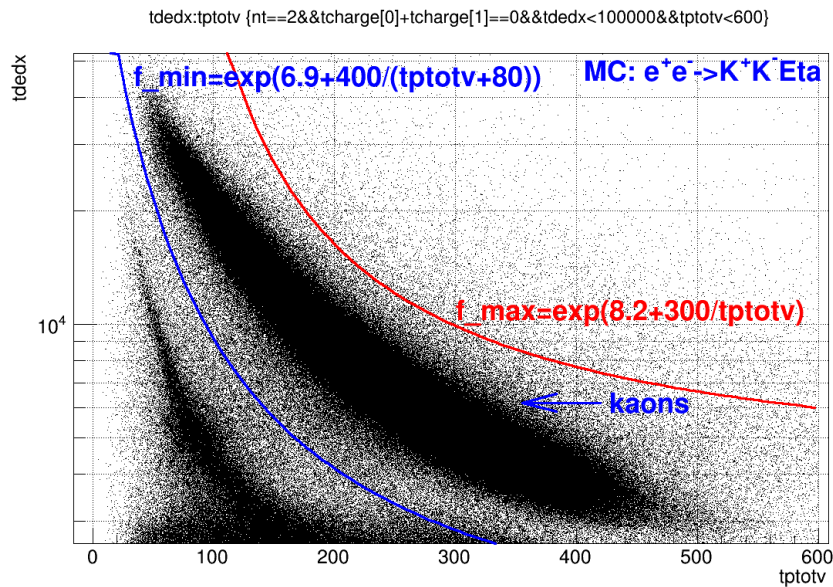
ρ треков



χ^2_ρ треков

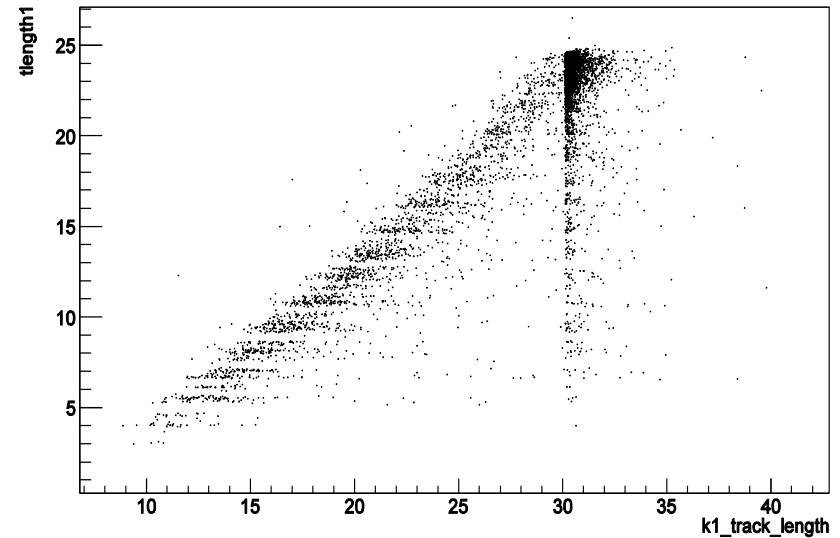
χ^2_z треков

Критерии отбора

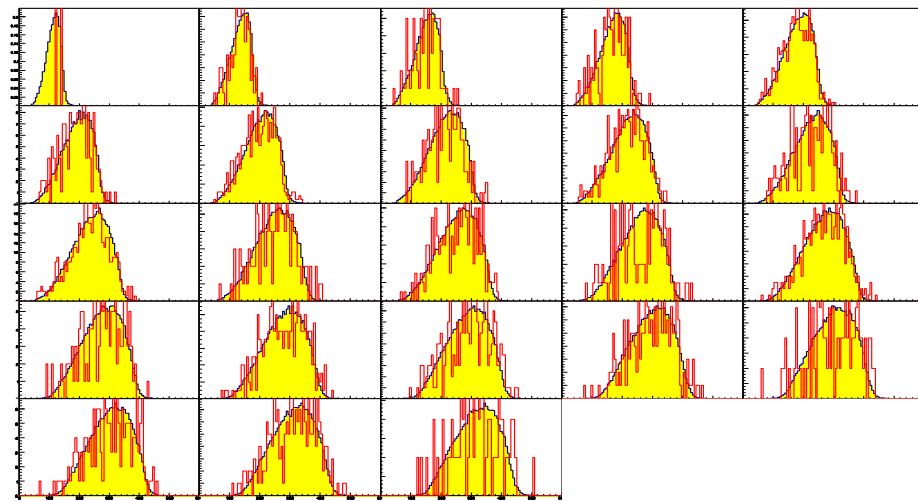


dE/dx vs импульс каона

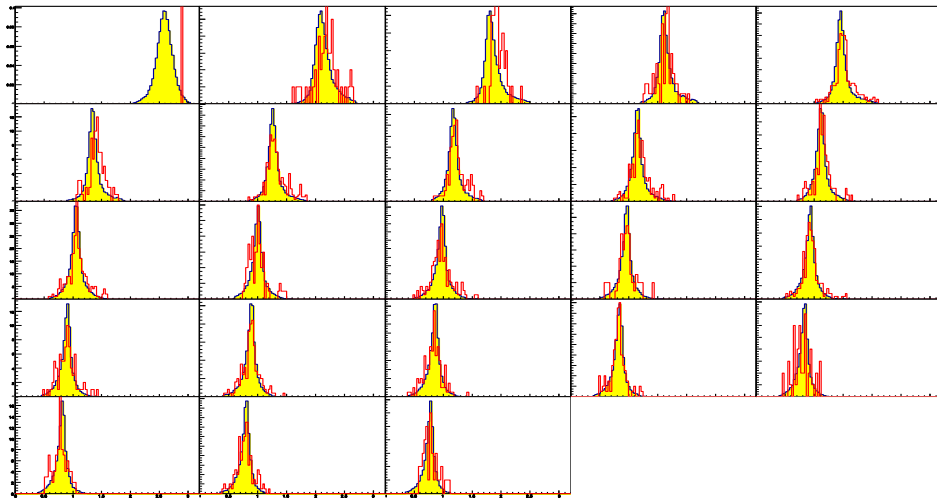
length1:k1_track_length



Измеренная vs ожидаемая длина пролета каона в поперечной плоскости

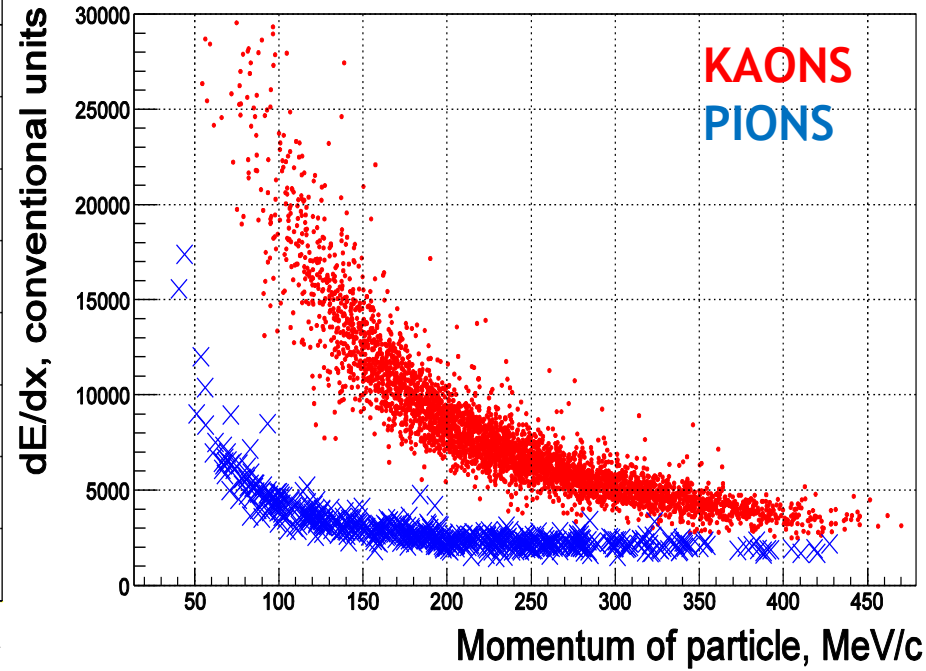
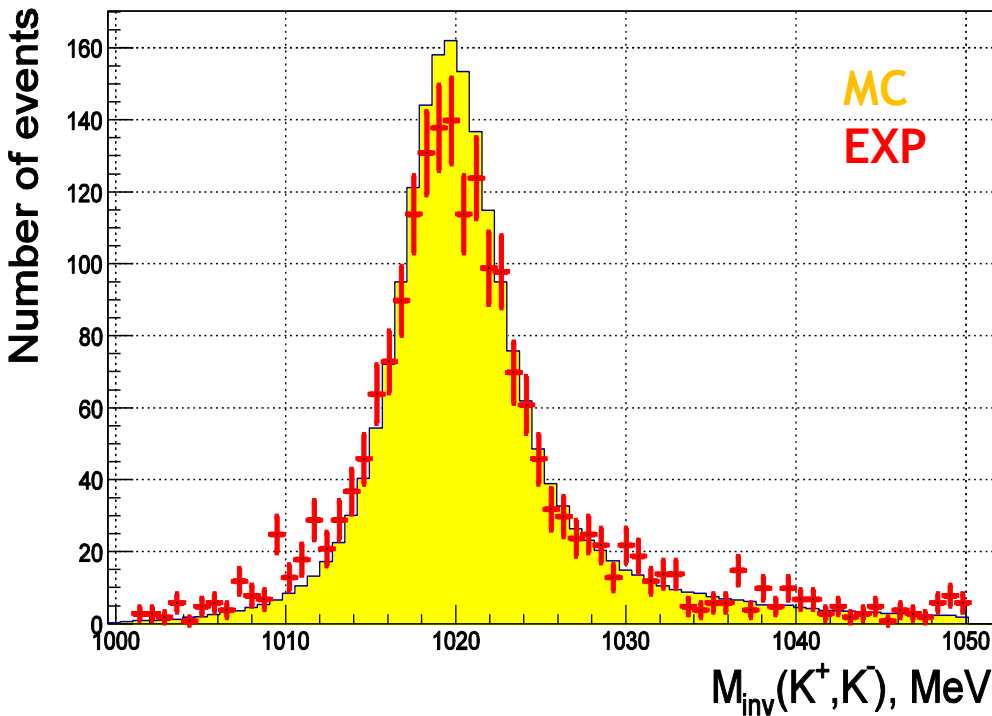


$p_{K^\pm}$, МэВ/ c^2

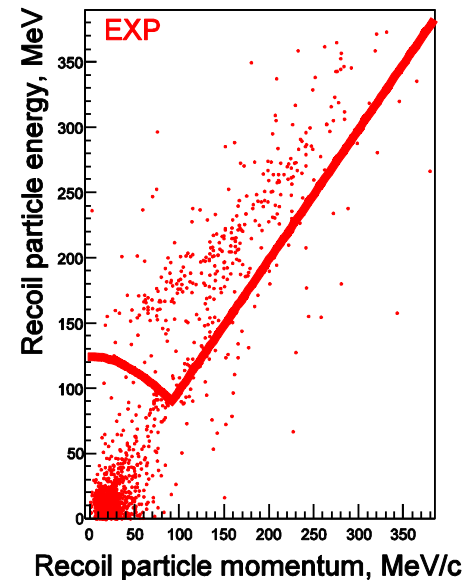
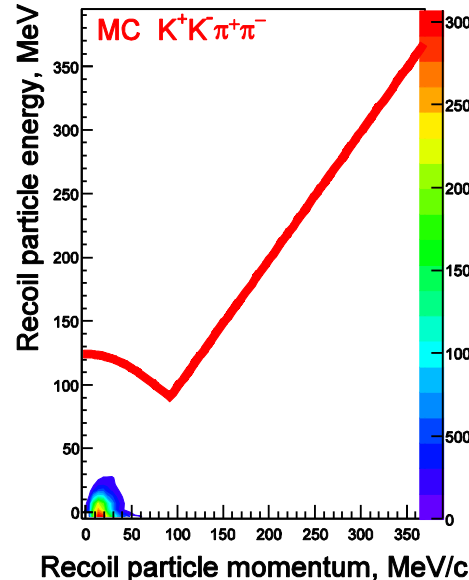
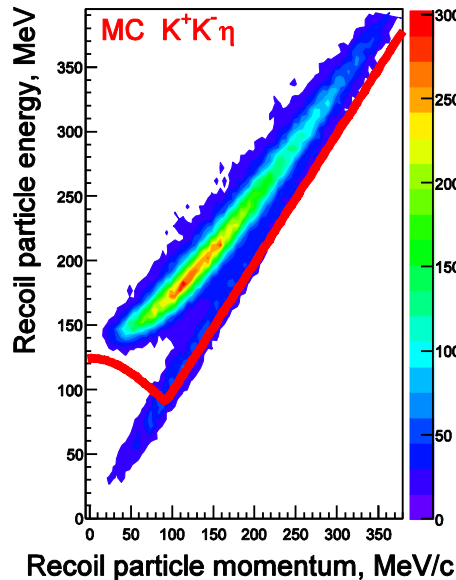


$\varphi_{K^+K^-}$, радиан

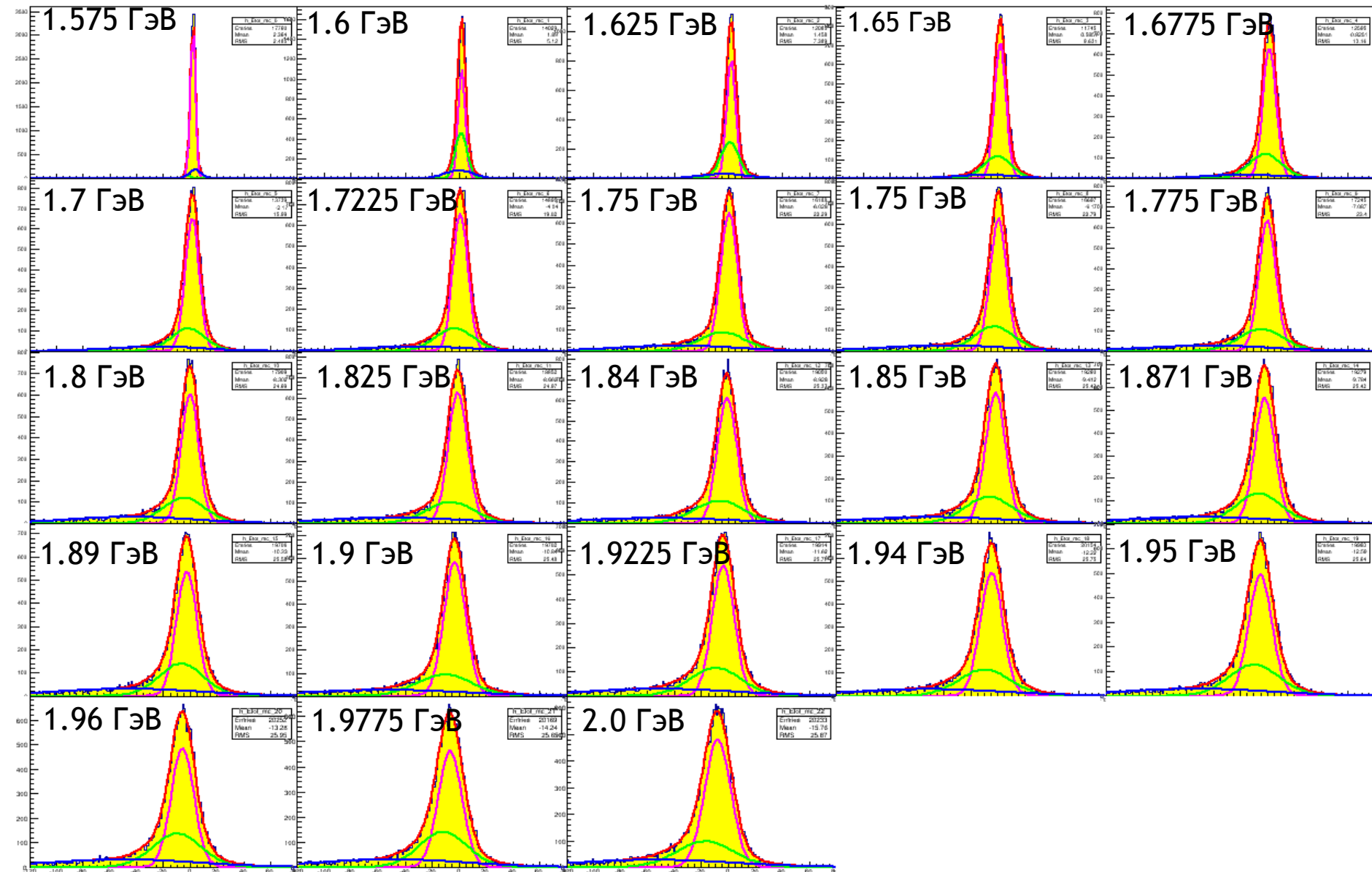
Отобранные события



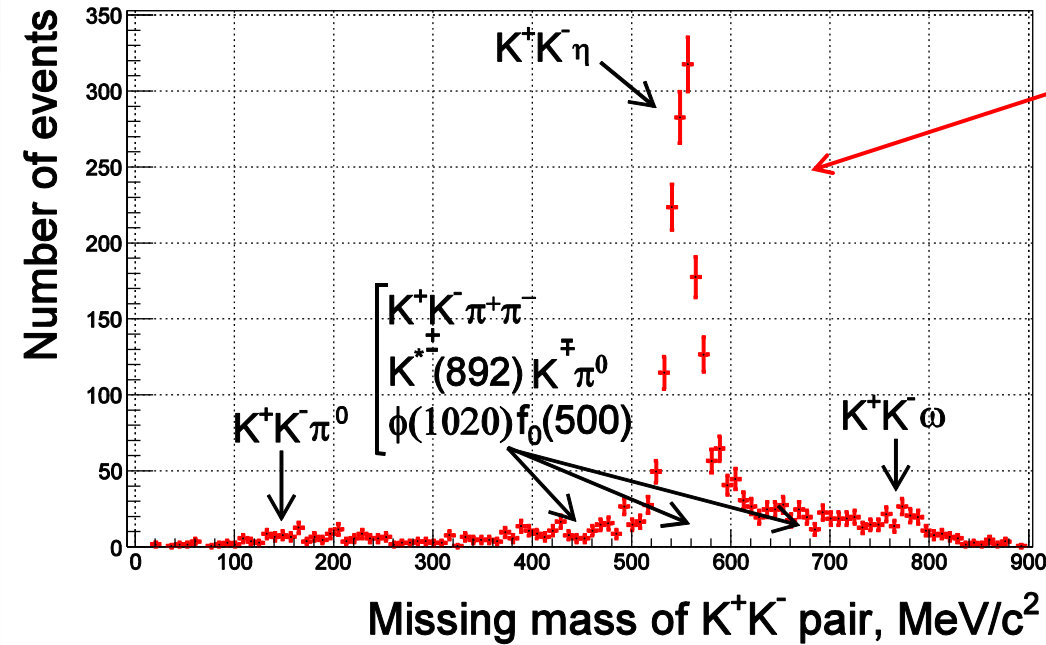
⇒ предположение:
основной фон –
процессы, где
каоны рождаются
из φ



Фитирование $E_{tot} - 2 \cdot E_{beam}$ для моделирования сигнала



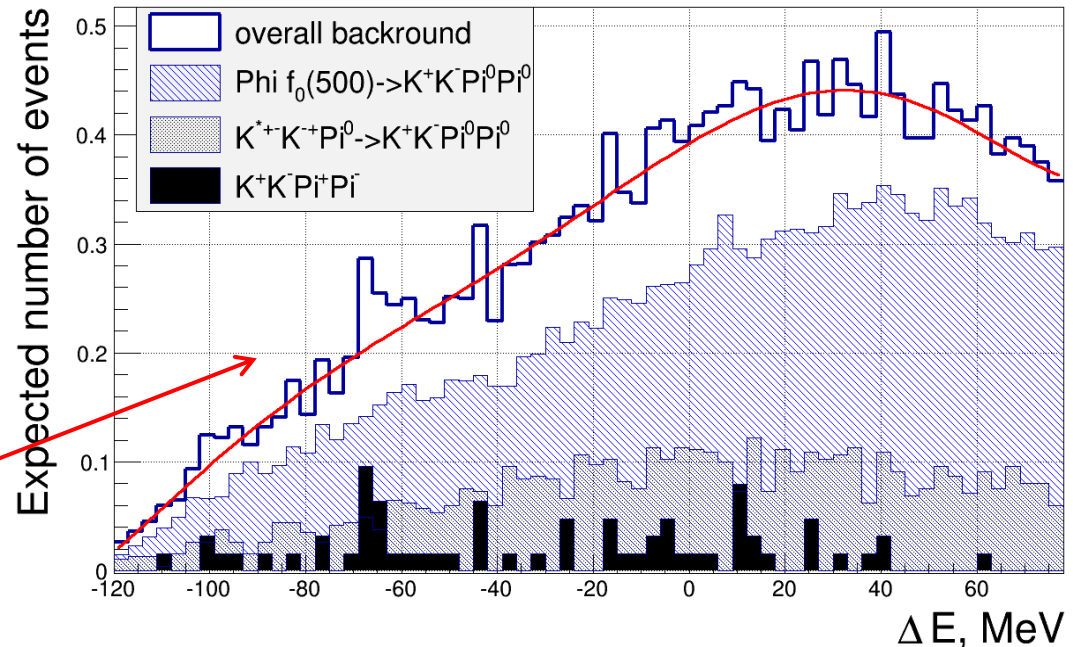
Фоновые процессы



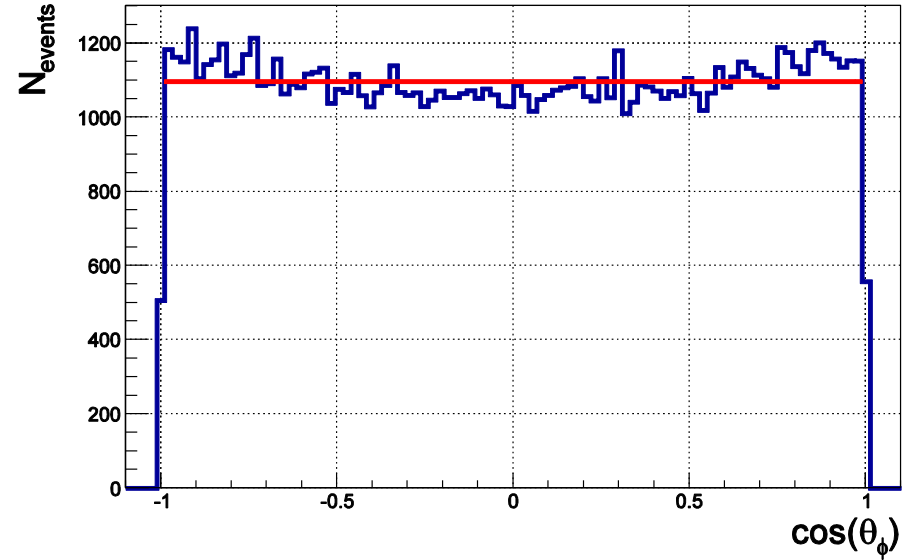
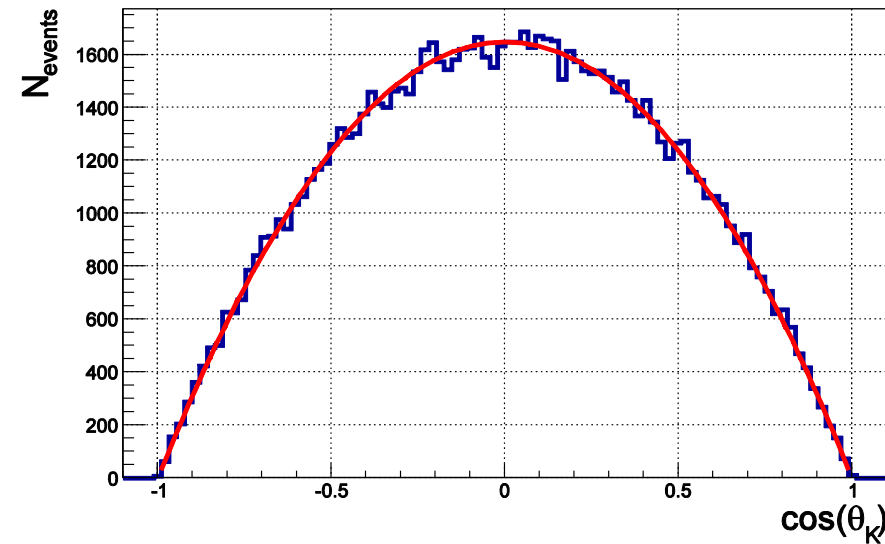
Распределение потерянной массы для K^+K^- (эксперимент)

Моделировались фоновые процессы
 $\phi f_0(500)$,
 $K^+K^-\pi^0$,
 $K^+K^-\pi^0\pi^0$,
 $K^+K^-\pi^+\pi^-$,
 ωK^+K^-

Распределение $E_{tot} - 2 \cdot E_{beam}$
 для фоновых процессов
 ($2E_{beam} = 1.7 \text{ ГэВ}$)

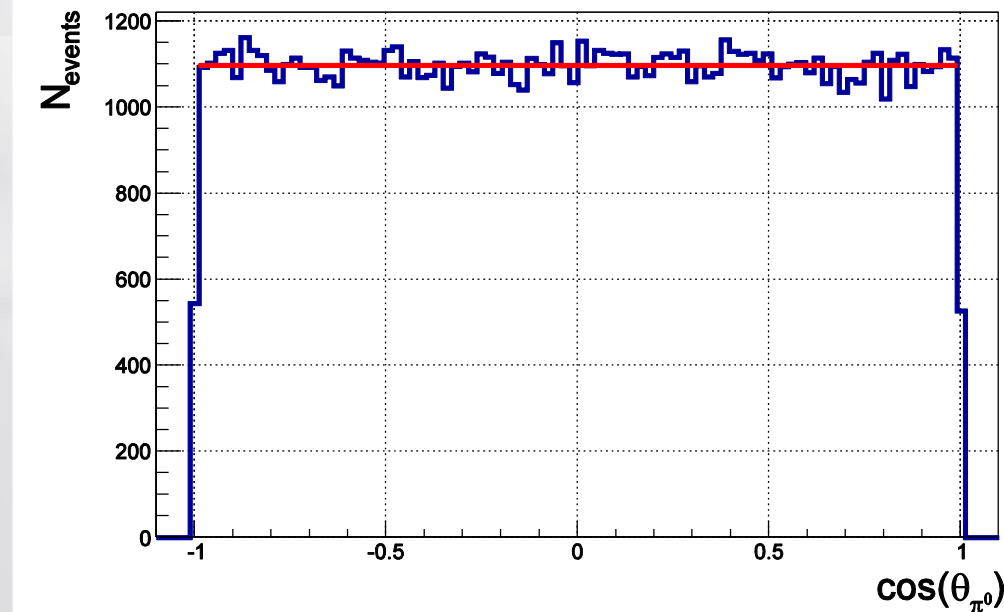


МС-генератор $\varphi f_0(500)$



Полярный угол вылета каонов

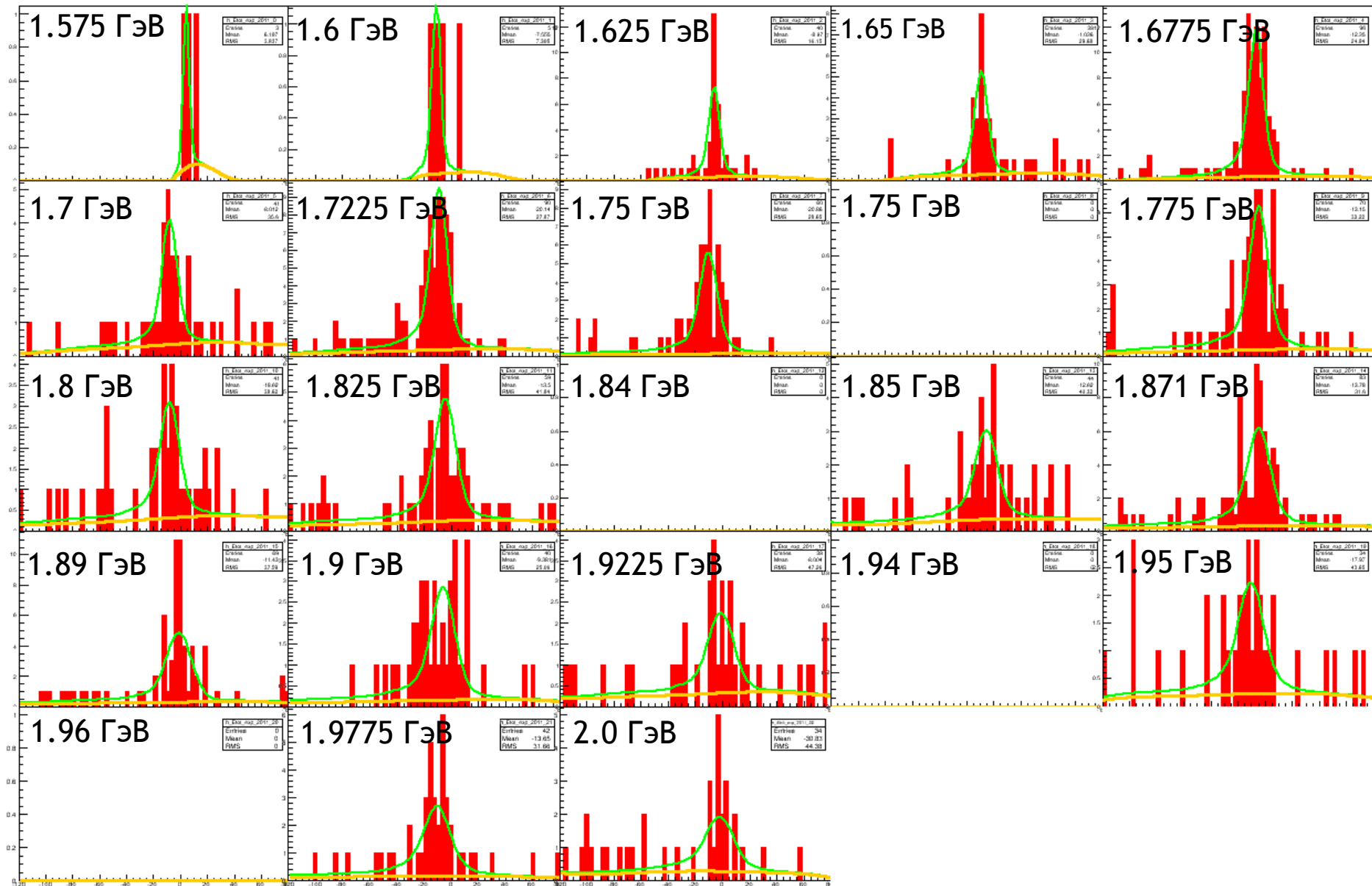
Полярный угол вылета φ - мезона



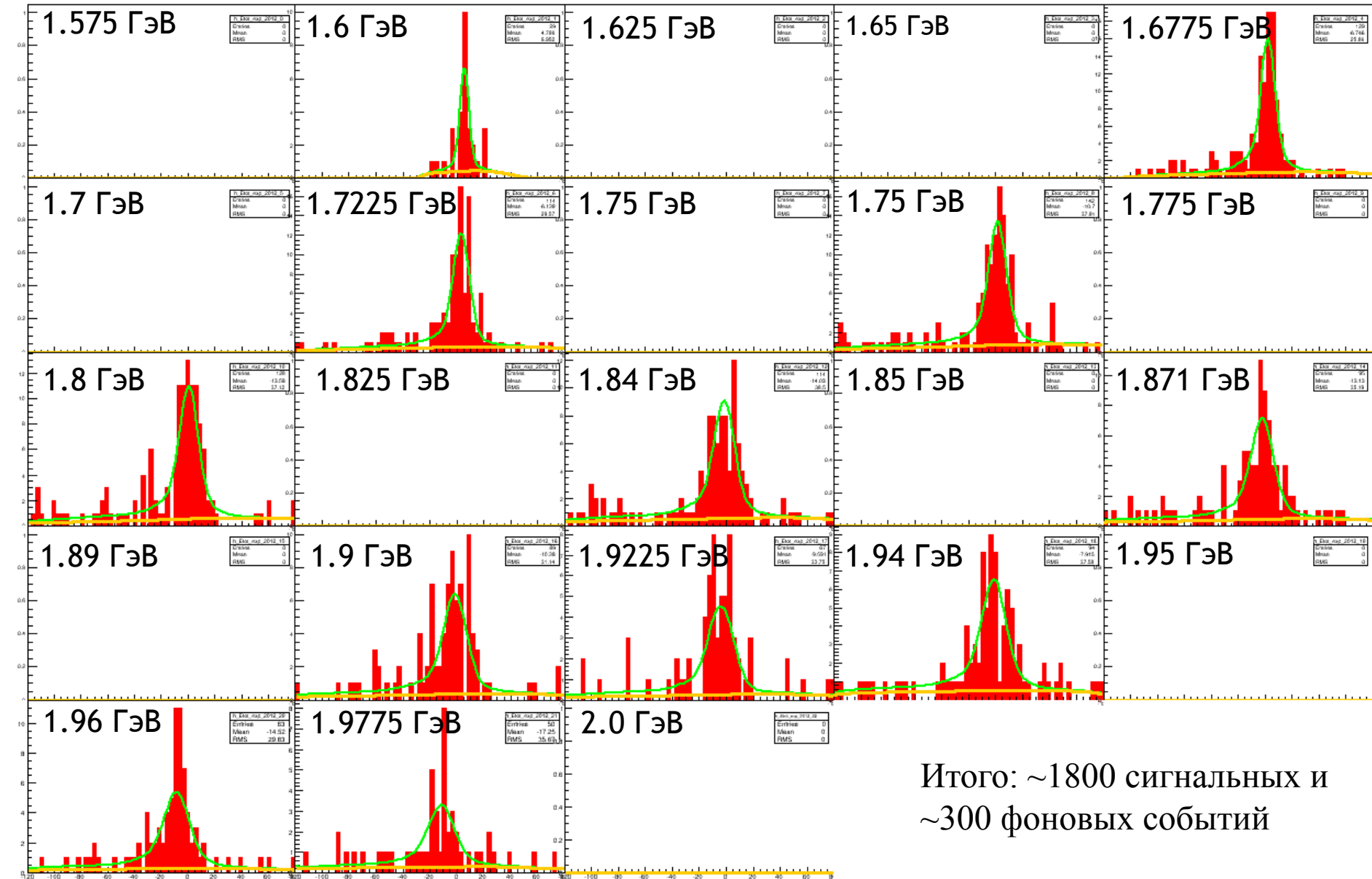
Полярный угол вылета пионов

— МС
— Фит (на основе
экспериментальных
наблюдений)

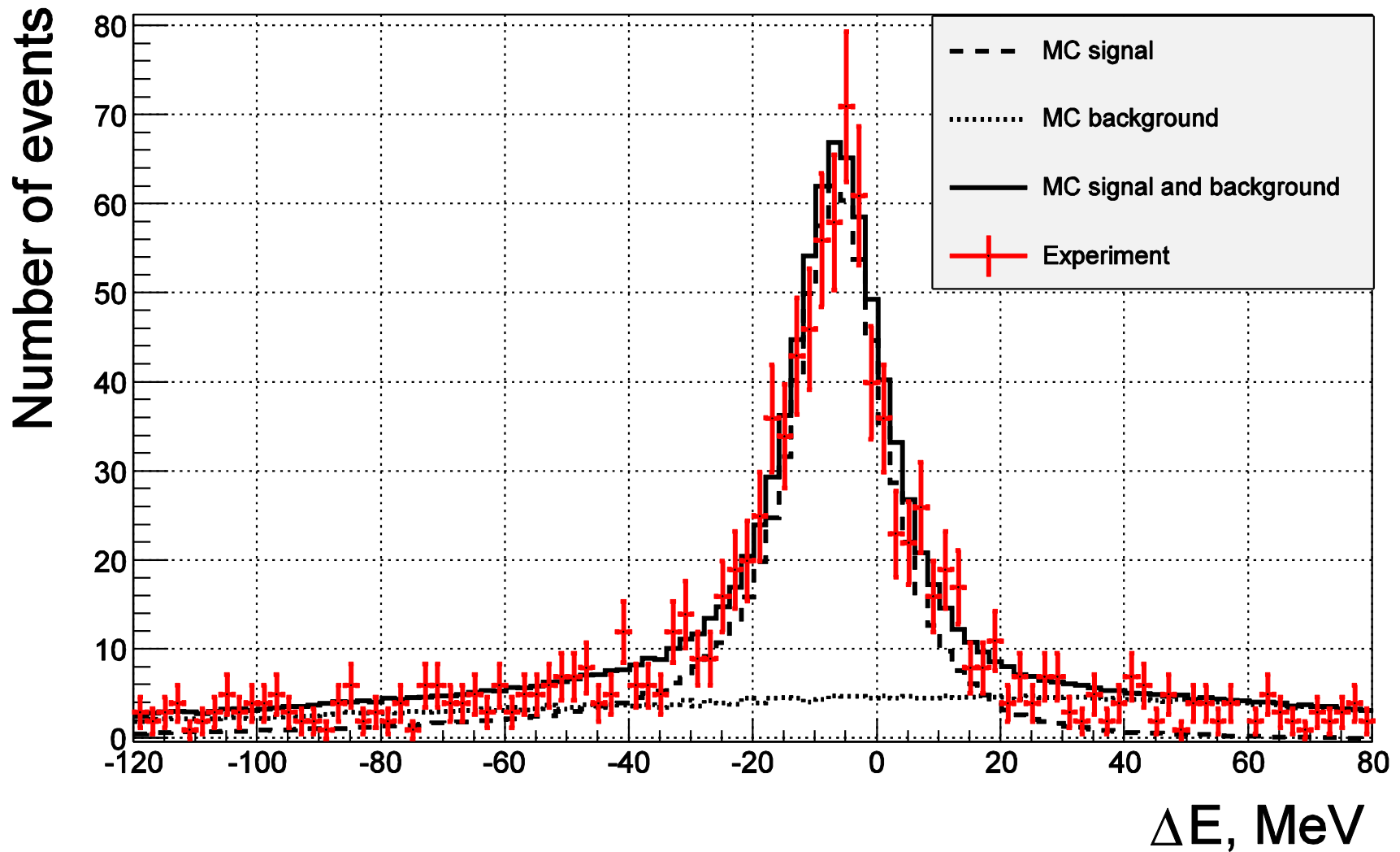
Фитирование $E_{tot} - 2 \cdot E_{beam}$ для эксперимента (2011)



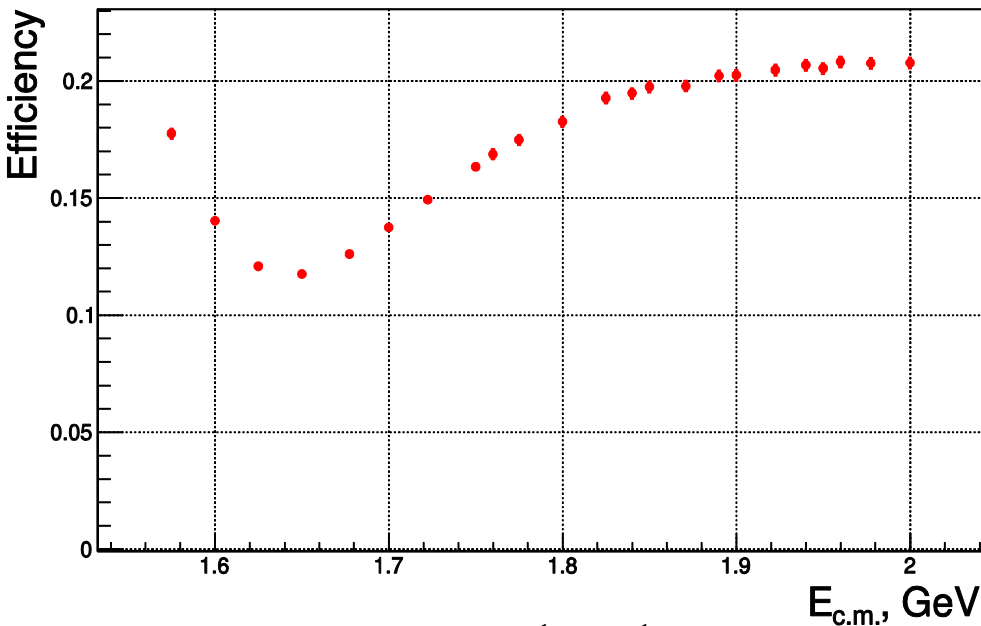
Фитирование $E_{tot} - 2 \cdot E_{beam}$ для эксперимента (2012)



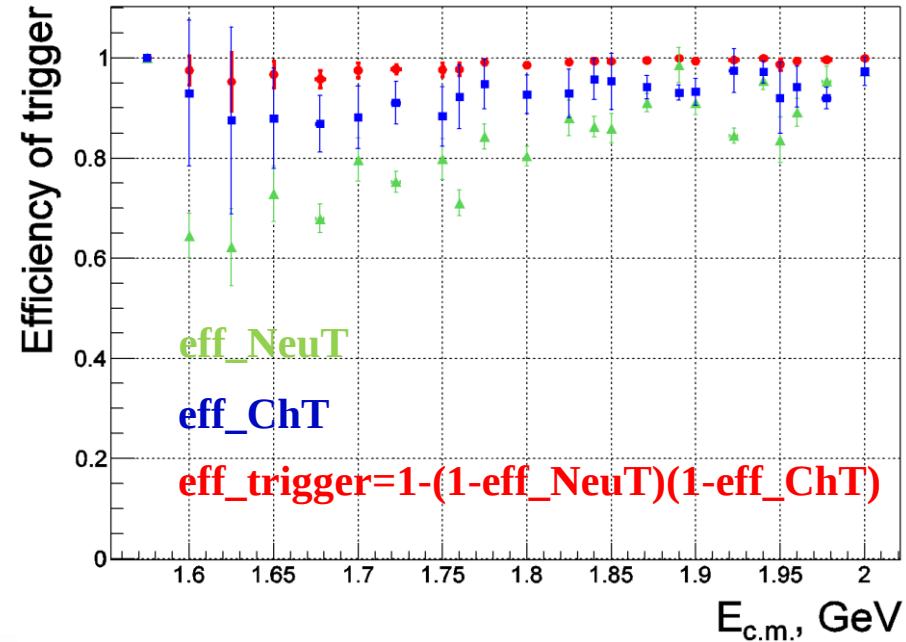
Результаты фитирования $E_{tot} - 2 \cdot E_{beam}(2011)$



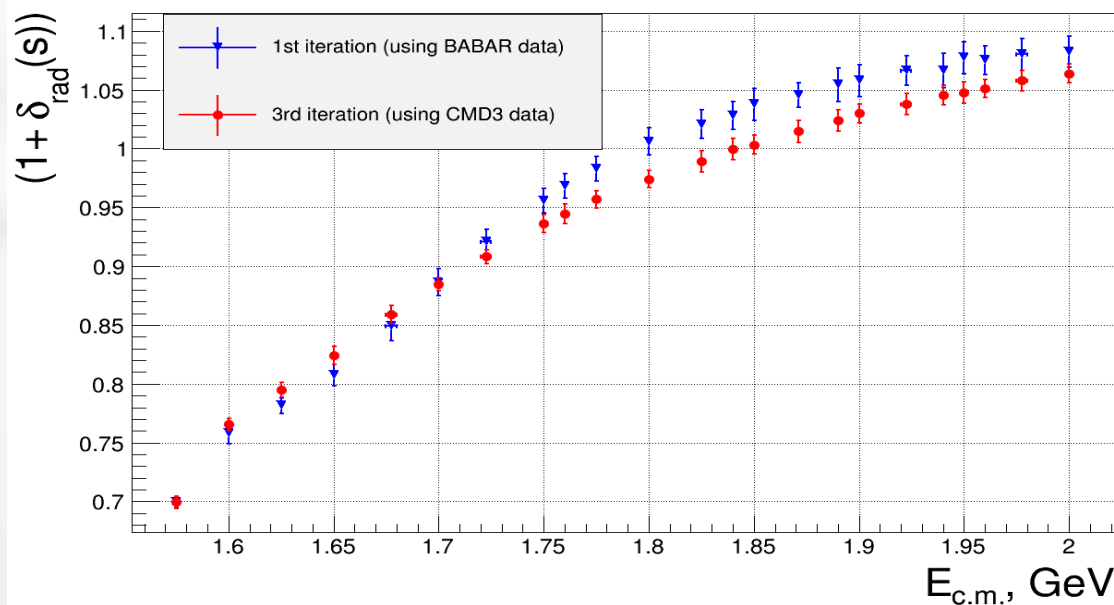
Эффективность регистрации



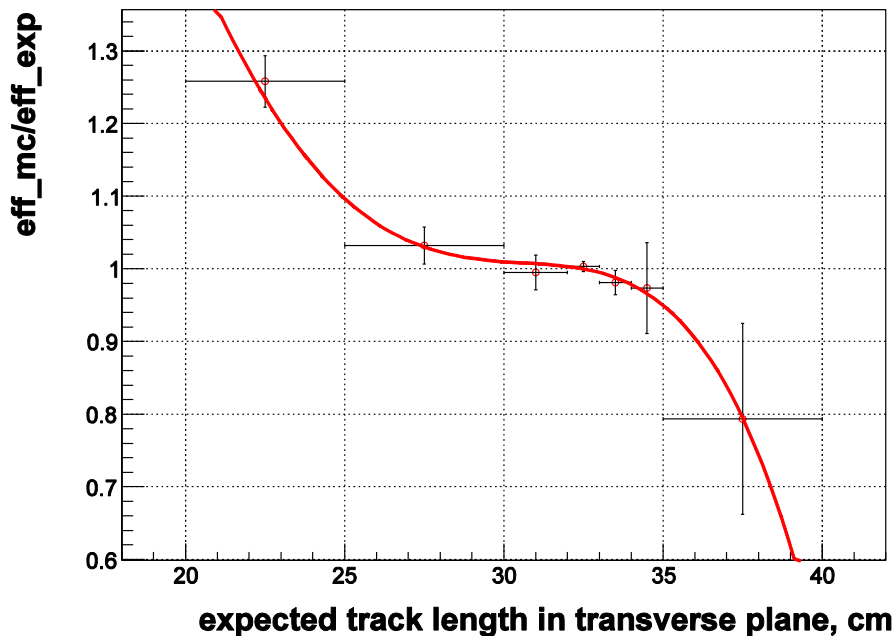
Эффективность триггера



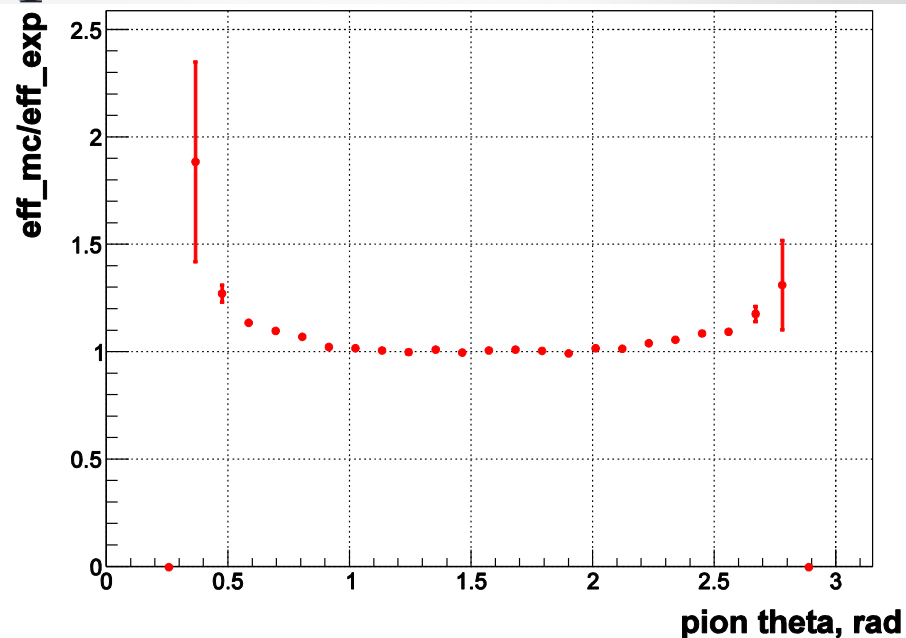
Рад. поправки:
$$\sigma_{vis}(s) = \int_0^1 dx_1 \int_0^1 dx_2 D(x_1, s) D(x_2, s) \sigma_{born} \left(\sqrt{s(1-x_1)(1-x_2)} \right) = (1 + \delta_{rad}(s)) \sigma_{born}(s)$$



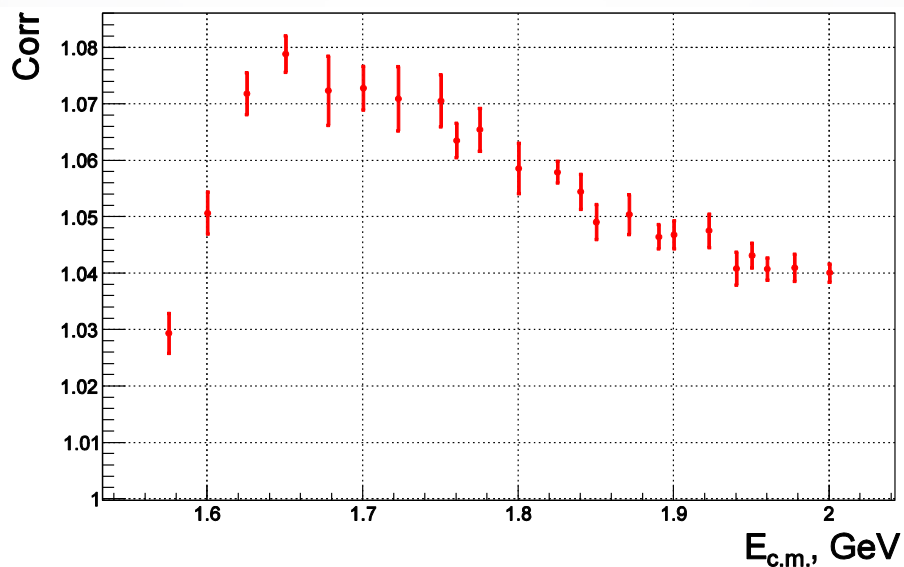
Поправки к эффективностям



Каоны (по процессу $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$)



Пионы (по процессу $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$)

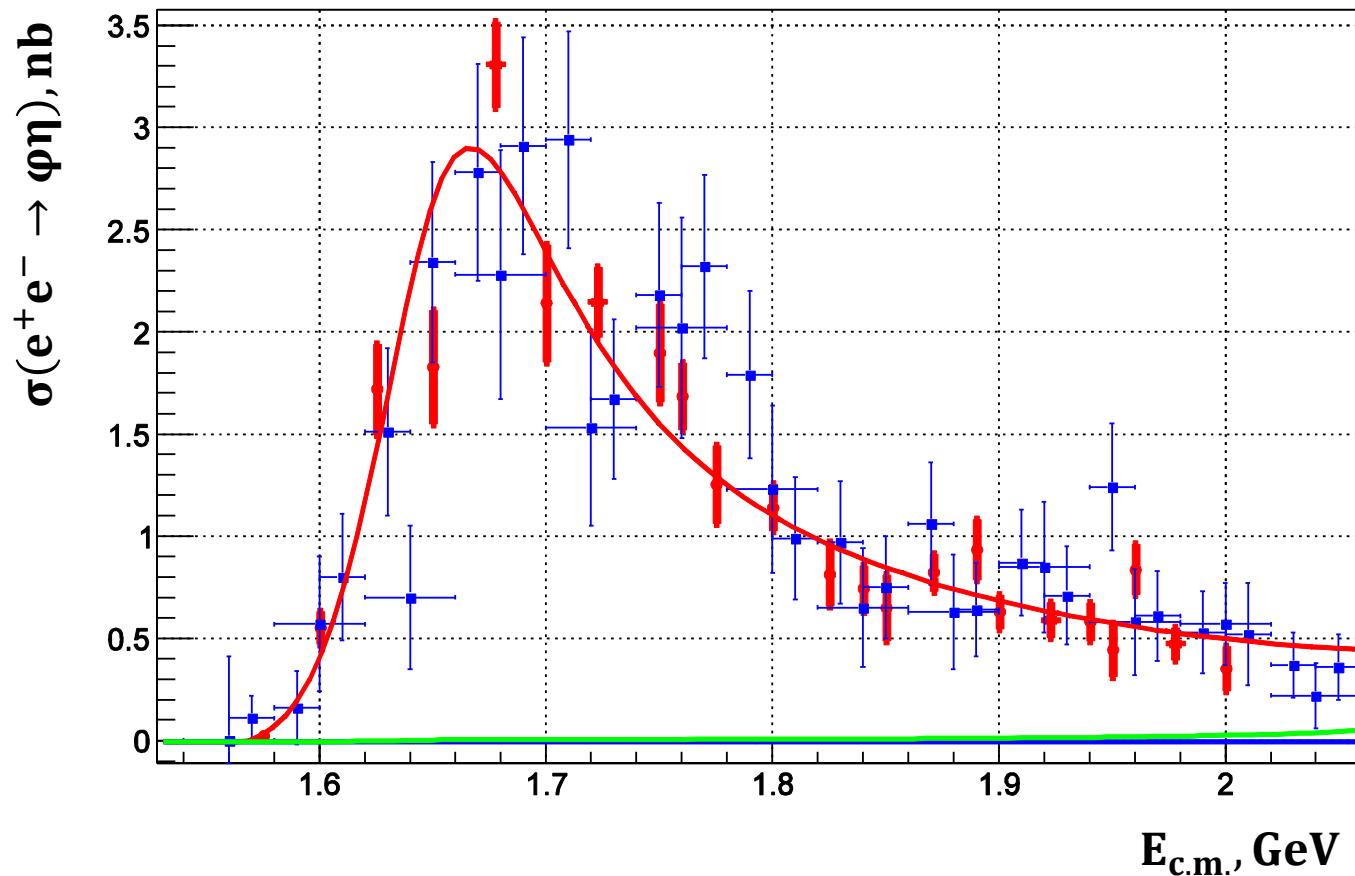


Полная поправка к эффективным

Сечение $e^+e^- \rightarrow \varphi\eta$

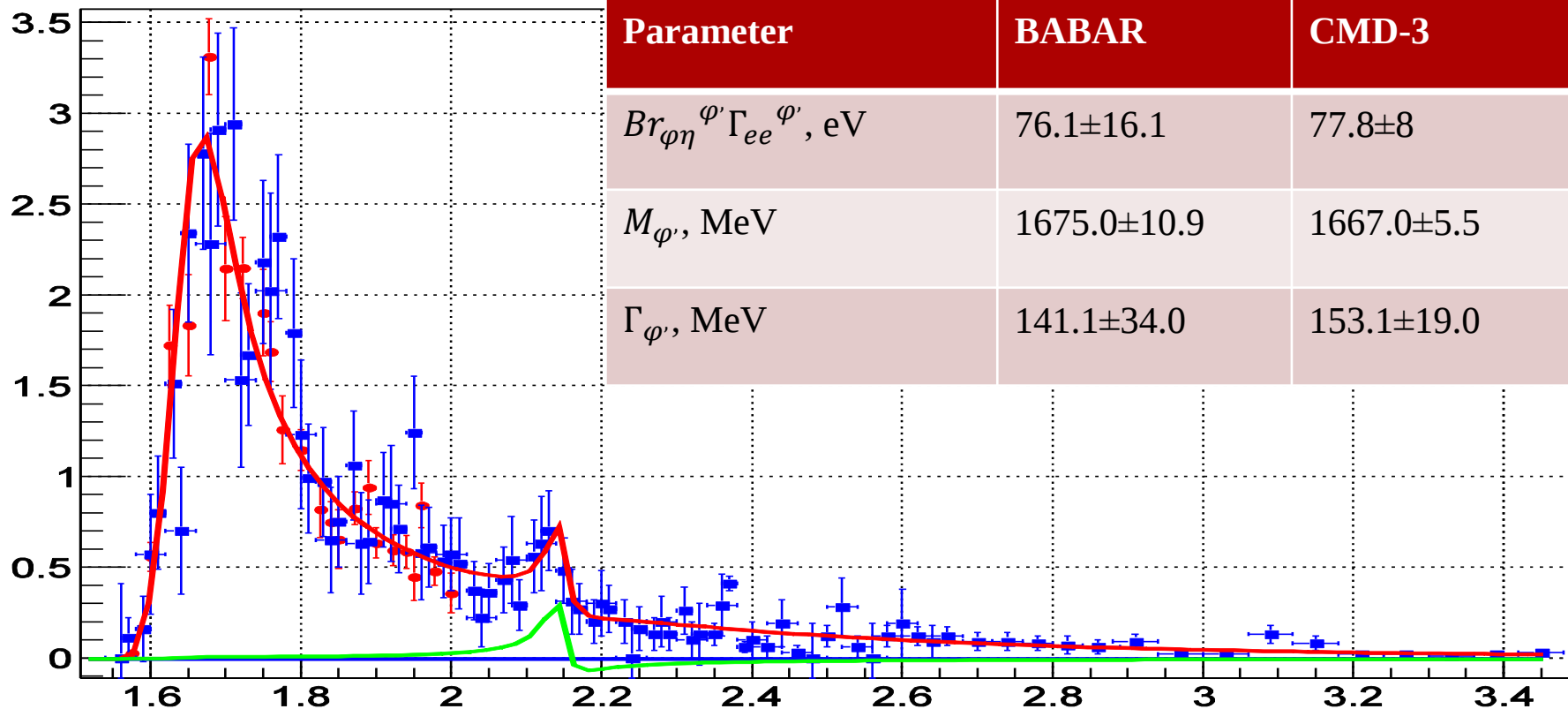
$$\sigma(E_{c.m.}) = \frac{N_{exp} \cdot Corr}{L(E_{c.m.})\varepsilon_{MC}\varepsilon_{trig}(1 + \delta_{rad}(s))Br(\varphi \rightarrow K^+K^-)}$$

Построено с учетом: 1) стат. ошибок 2) неопред. бранчинга 3) стат. ошибок светимости 4) неопред. рад. поправок



Фитирование сечения $e^+e^- \rightarrow \varphi\eta$

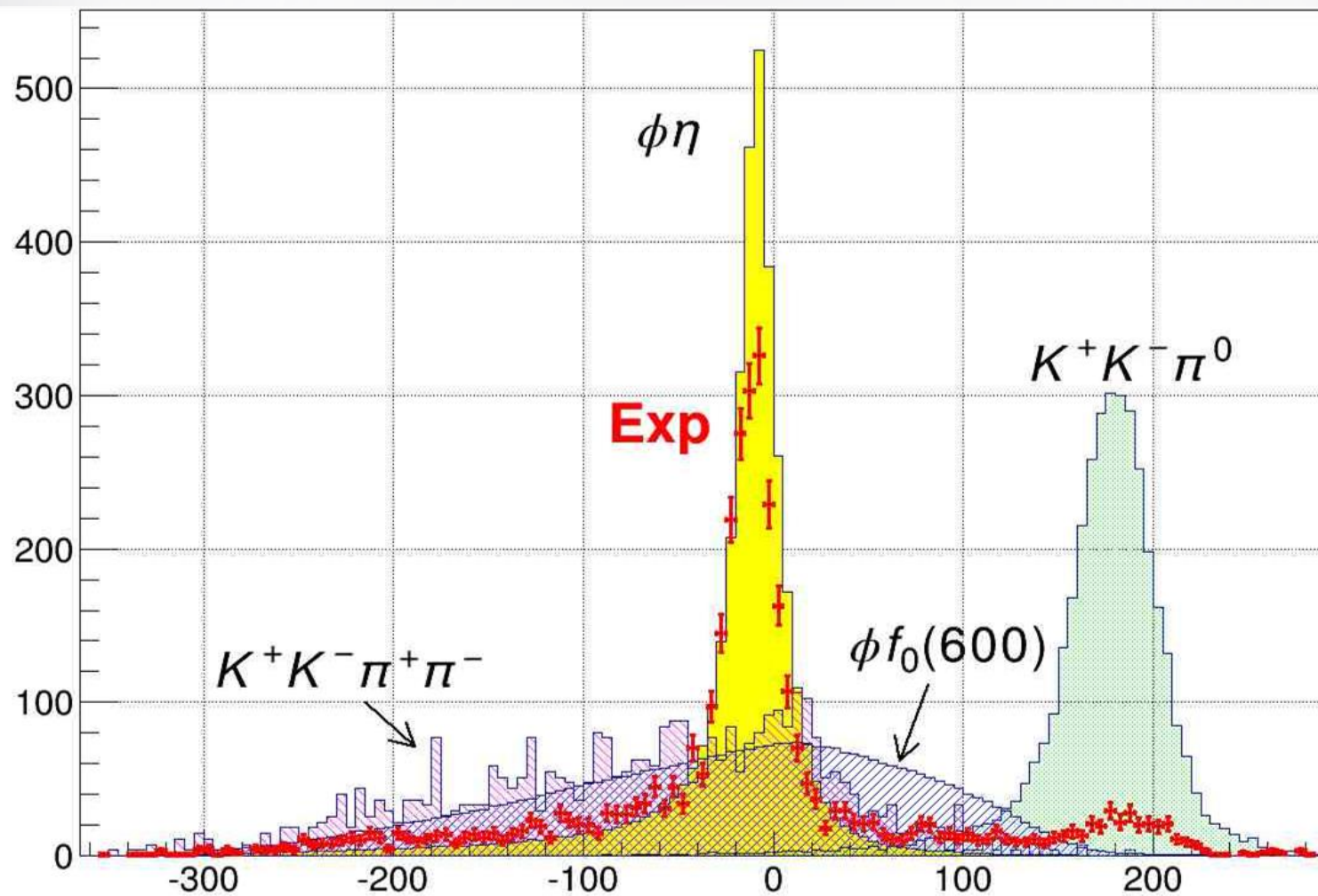
$$\sigma_{\varphi\eta}(\sqrt{s}) = 12\pi P_{\varphi\eta}(s) \left| \frac{A_{n.r.}}{s} + \sqrt{Br(\varphi' \rightarrow \varphi\eta)\Gamma_{\varphi'ee}} \frac{\sqrt{\frac{\Gamma_{\varphi'}}{P_{\varphi\eta}(M_{\varphi'}^2)}} e^{i\psi_1}}{M_{\varphi'}^2 - s - i\sqrt{s}\Gamma_{\varphi'}} + \sqrt{Br(\varphi(2170) \rightarrow \varphi\eta)\Gamma_{\varphi(2170)ee}} \frac{\sqrt{\frac{\Gamma_{\varphi(2170)}}{P_{\varphi\eta}(M_{\varphi(2170)}^2)}} e^{i\psi_2}}{M_{\varphi(2170)}^2 - s - i\sqrt{s}\Gamma_{\varphi(2170)}} \right|^2$$

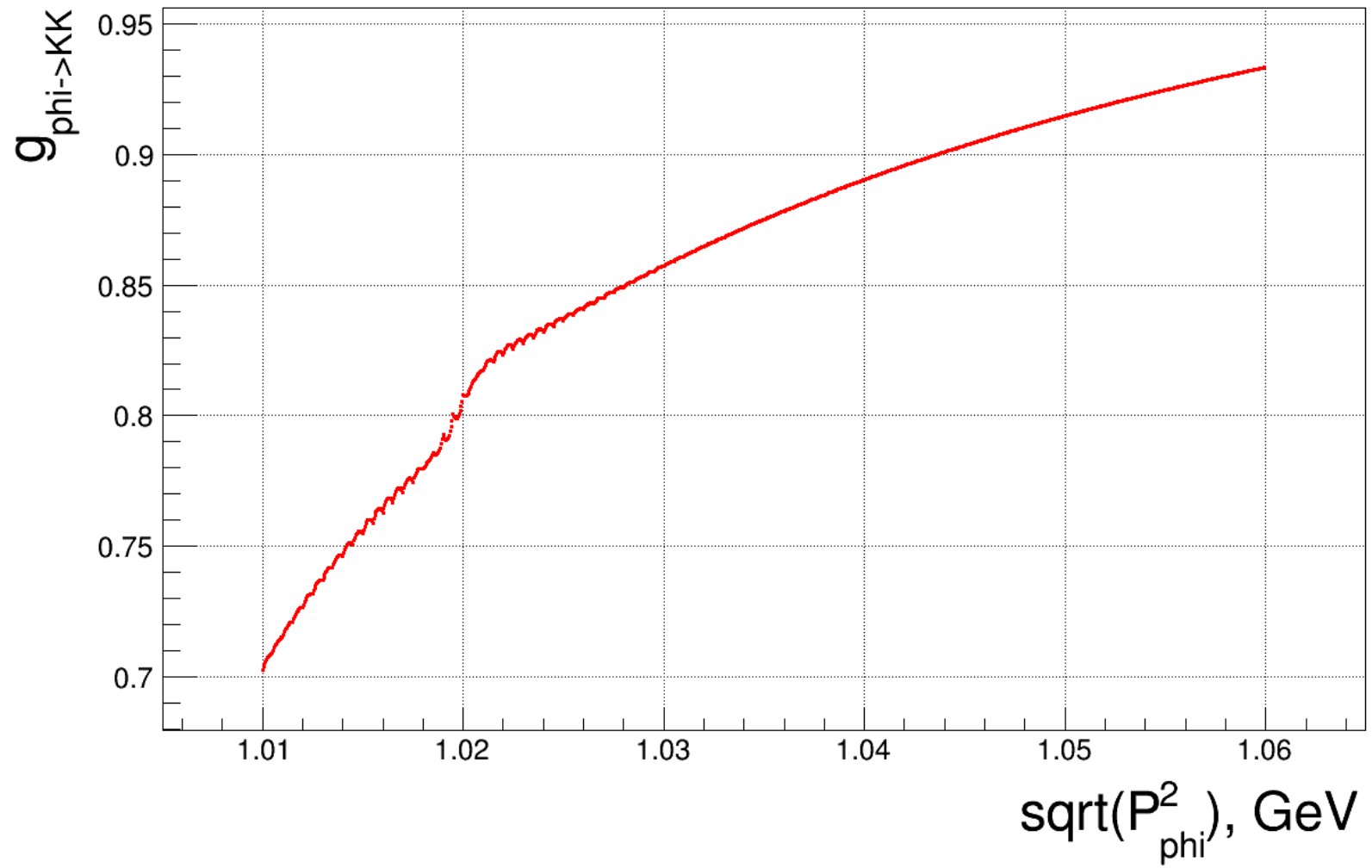


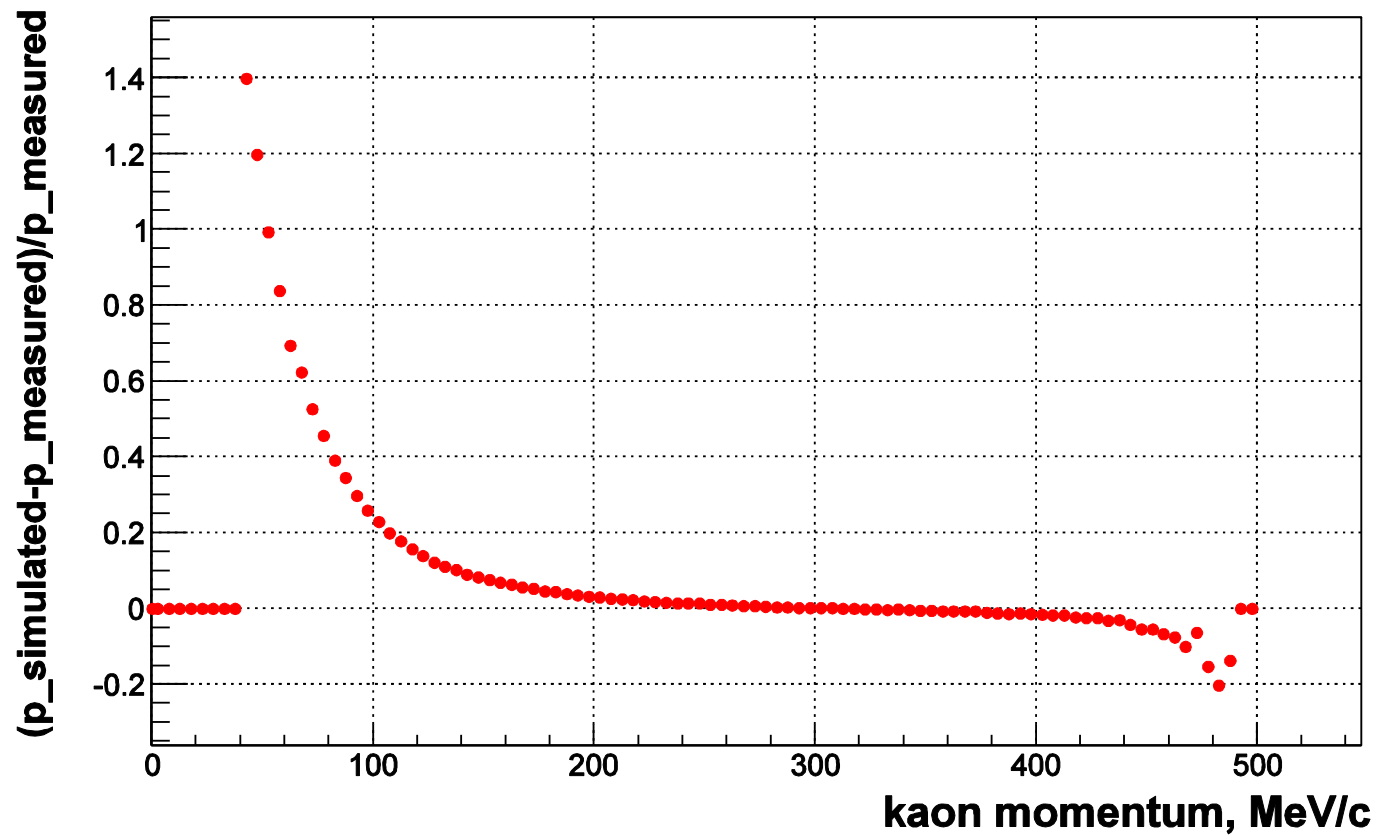
Планы

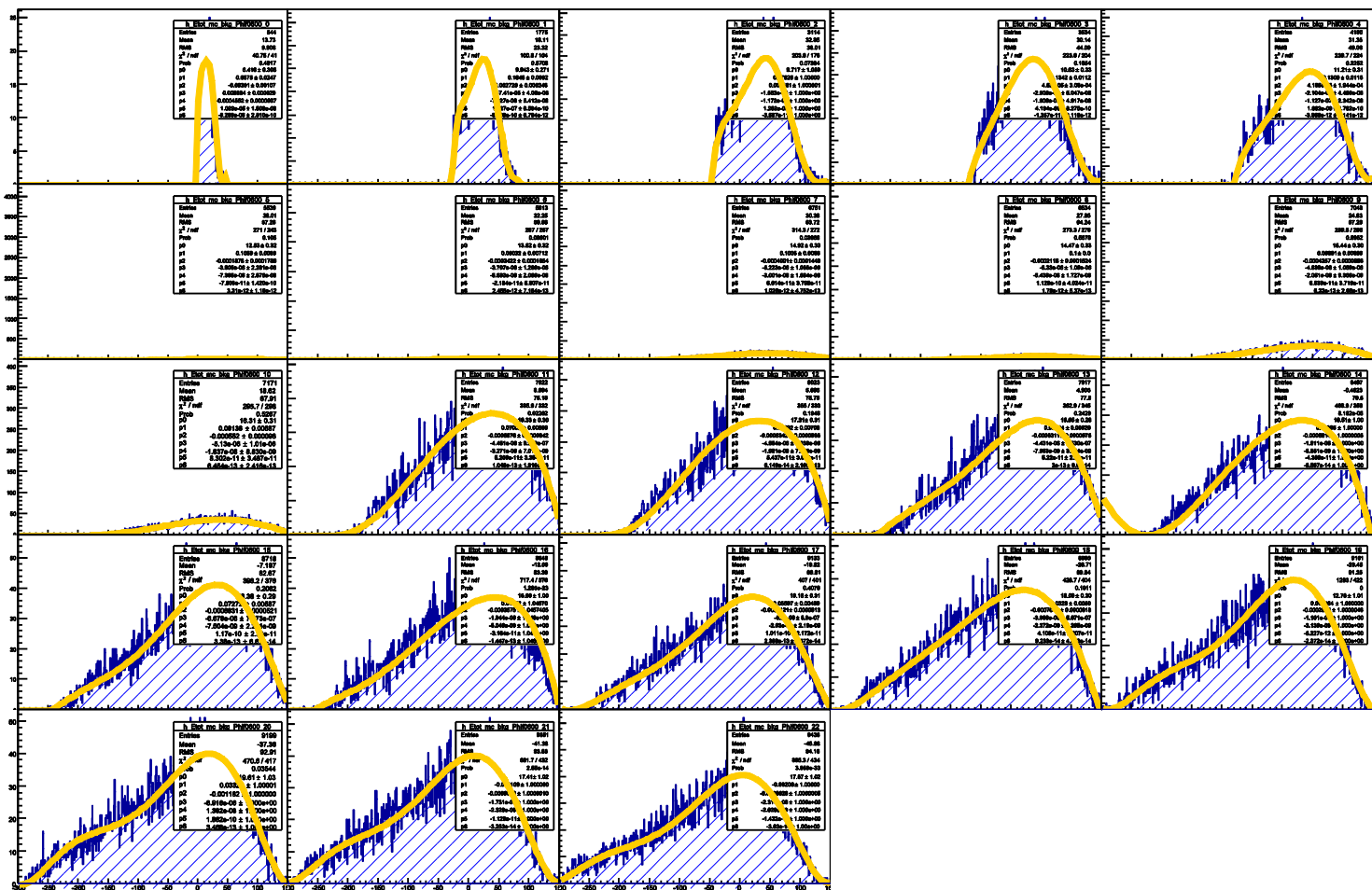
- Корректное вычитание фона и анализ соответствующих неопределенностей
- Анализ систематических ошибок
- Определение параметров φ' (1680)
- Анализ на (на порядок) большей статистике после модернизации ВЭПП-2000

Спасибо за внимание!









h_MinvKK_background_Phif0600

