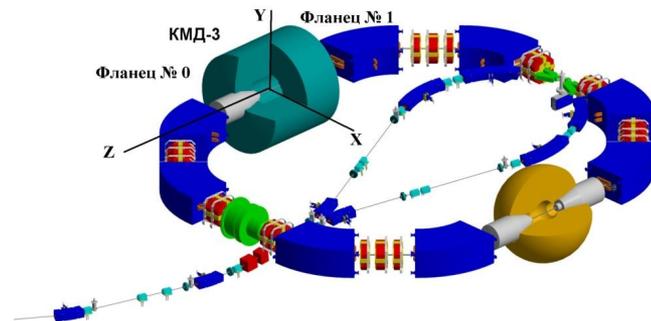
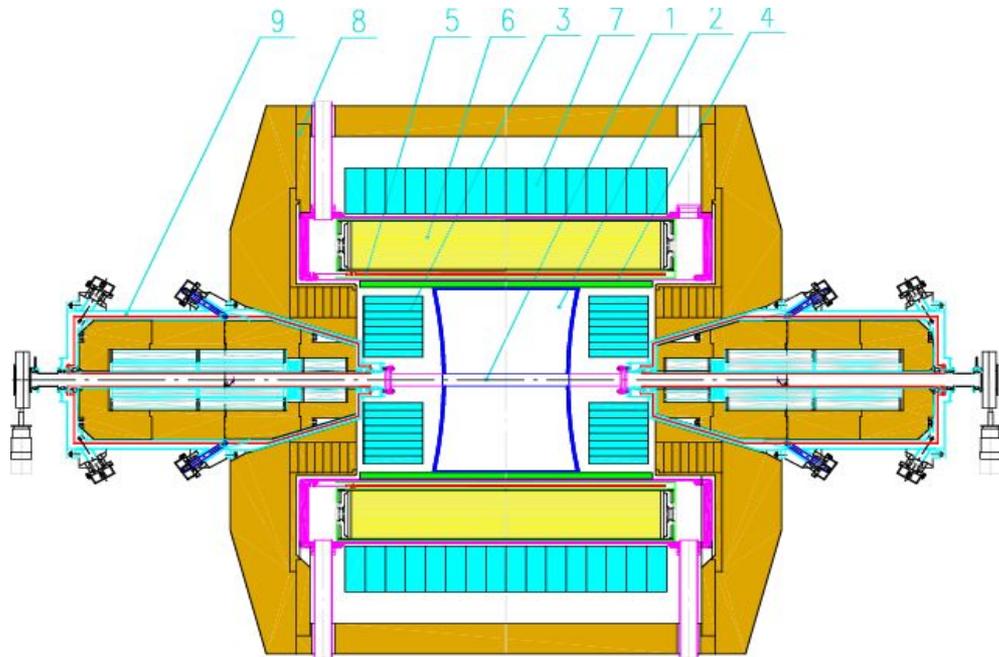


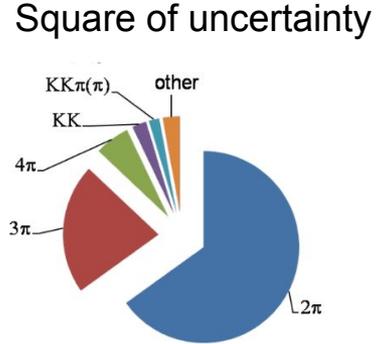
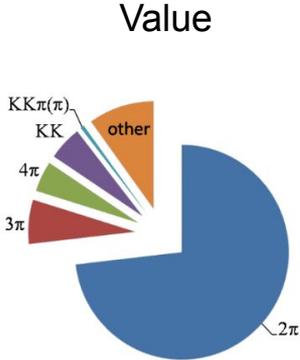
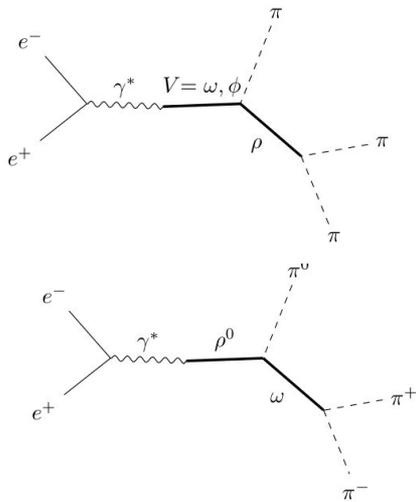
# Изучение процесса $e^+ e^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ с детектором КМД-3 на ВЭПП-2000



Сергей Толмачев, ИЯФ СО РАН  
Сессия-конференция секции ядерной физики ОФН РАН,  
посвященная 70-летию В.А. Рубакова

# Цели, задачи, данные

- Сечение  $e^+ e^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$  второй по значимости вклад в адронную часть  $g-2$
- Различие между измерениями сечения в пике КМД-2 и СНД ( $\sim 130$  нб) дает значительный вклад в погрешность  $g-2$



- Измерение параметров  $\omega$ -мезона
- Изучение динамики, в частности измерение  $\rho$ - $\omega$  интерференции в канале  $\pi^+ \pi^- \pi^0$

## Данные:

- $E_{c.m.} = 0.66 - 0.97$  GeV
- 2 сезона (2013, 2018)
- 4 сканирования в области массы  $\omega$ -мезона
- 101 точка по энергии
- $L_{int} \approx 51.4 \text{ pb}^{-1}$  (2013,2018)

# Критерии отбора

“Хороший” трек:

- $N_{\text{hits}} > 10$  (Число хитов в ДК)
- $1.1 < \theta < \pi - 1.1$  [Rad] (Полярный угол трэка)
- $\rho < 0.1$  [cm] (Расстояние от трэка до оси пучков)
- $|z| < 7$  [cm] (Расстояние до места встречи пучков)
- $dE/dx < 5000$  (Потери энергии в ДК)
- $0.2 < P/E_{\text{beam}} < 0.8$
- $N_{\text{good tr}} = 2$
- $Q_1 + Q_2 = 0$  (Противоположно заряженные)
- $N_{\text{good } \gamma} \geq 2$
- $0.25 < |\Delta\phi| < \pi - 0.25$  (Расколлинеарность по  $\phi$ )
- $0.4 < (P_1 + P_2)/2E_{\text{beam}} < 0.73$

“Хороший” фотон:

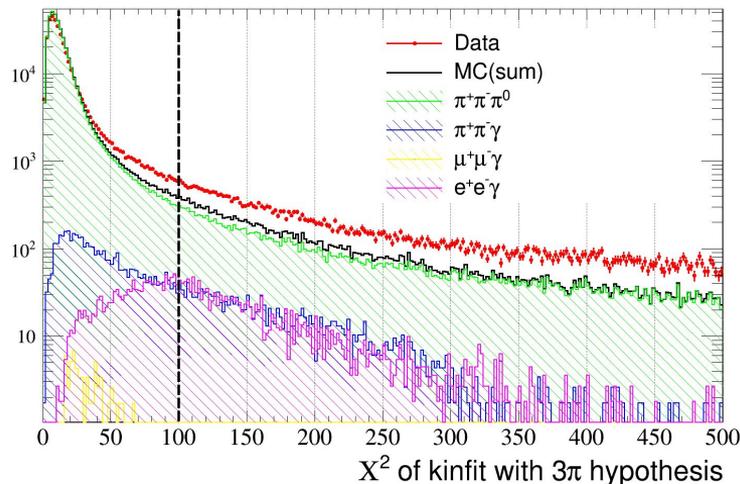
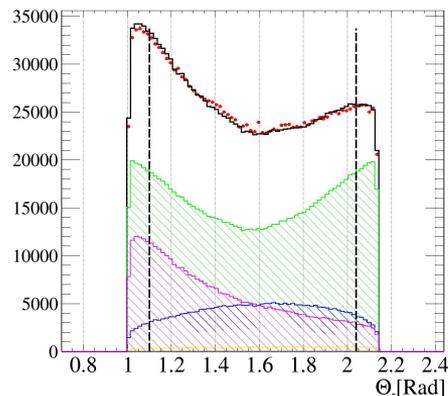
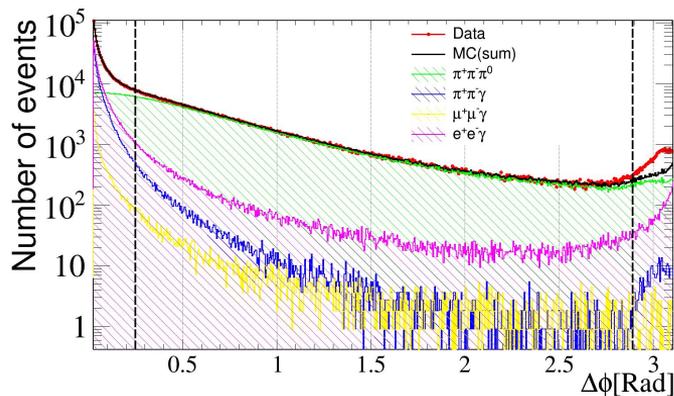
- $E_{\gamma} > 50$  MeV
- Есть энерговыделение в LXe

Кинематический фит:

- $\chi^2_{3\pi} < 100$
- $\chi^2_{\pi\pi\gamma} > 40$
- $\chi^2_{\pi\pi\pi\gamma} > 200$
- $\chi^2_{e^e\gamma} > 100$

Фон:

- $\pi^+\pi^-\gamma$
- $e^+e^-\gamma$
- $\mu^+\mu^-\gamma$



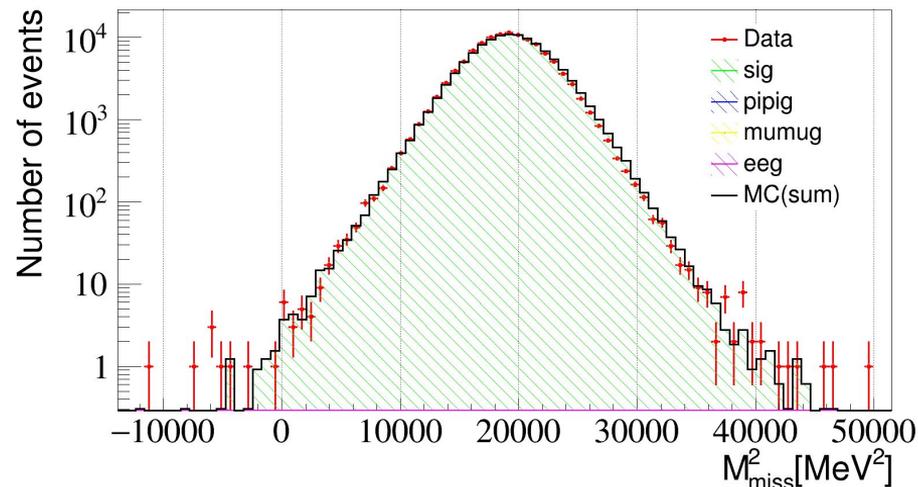
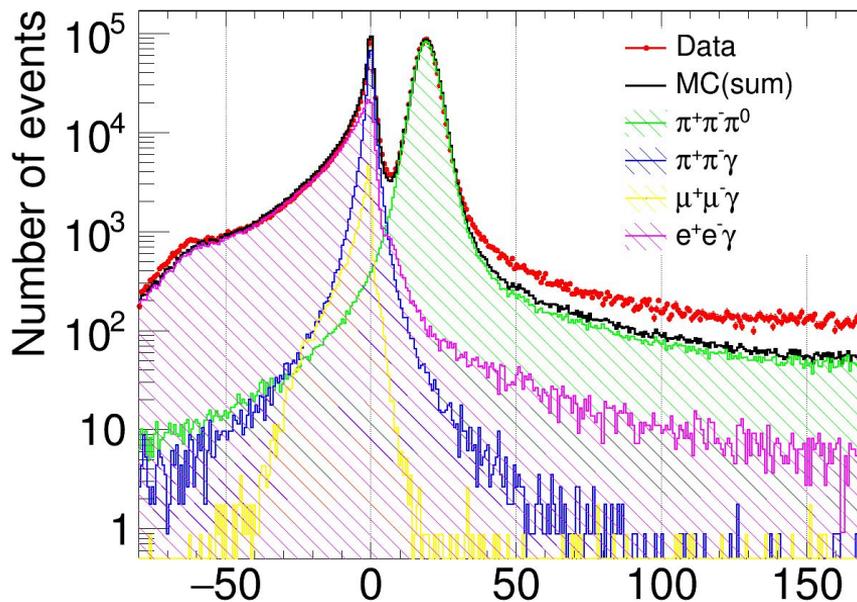
$E_{\text{beam}} = 391.5$  МэВ (RHO2018)

# Критерии отбора

4e класса событий:

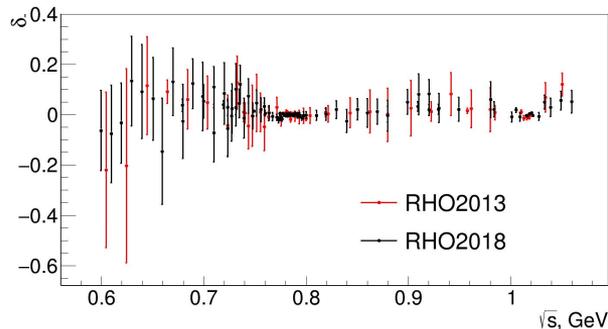
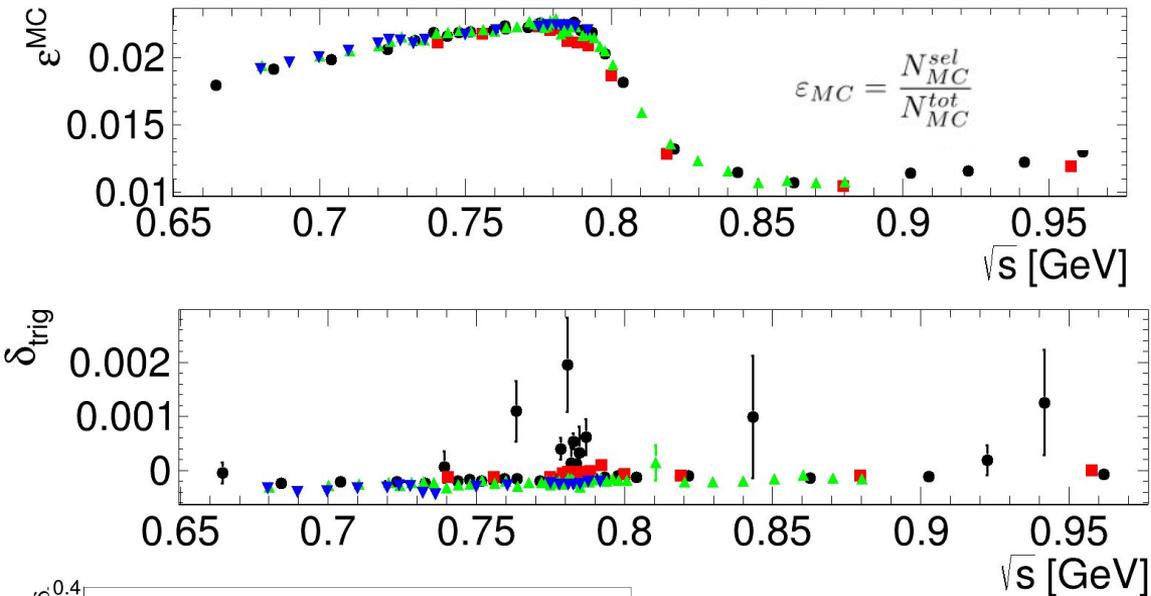
- $\pi^+\pi^-$
- $\pi^+\pi^- + \pi^0$  - фотоны в  $\pi^0 > 50$  MeV и только в барельной части
- $\pi^+\pi^- + \pi^0 + \text{KinFit}$  - фотоны в  $\pi^0 > 20$  MeV
- $\pi^+\pi^- + \pi^0 + \text{KinFit}$  - фотоны в  $\pi^0 > 50$  MeV и только в барельной части

- При реконструкции  $\pi^0$  число событий определялось по фиту инвариантной массы лучшей пары фотонов
- В подходе без реконструкции  $\pi^0$  из фита недостающей массы



$M_{\text{miss}}^2 [\text{MeV}^2]$

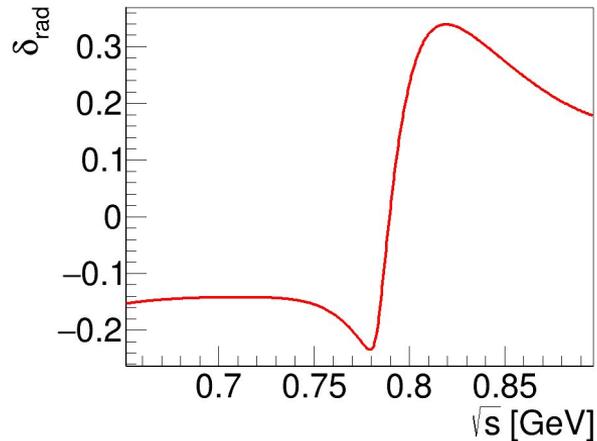
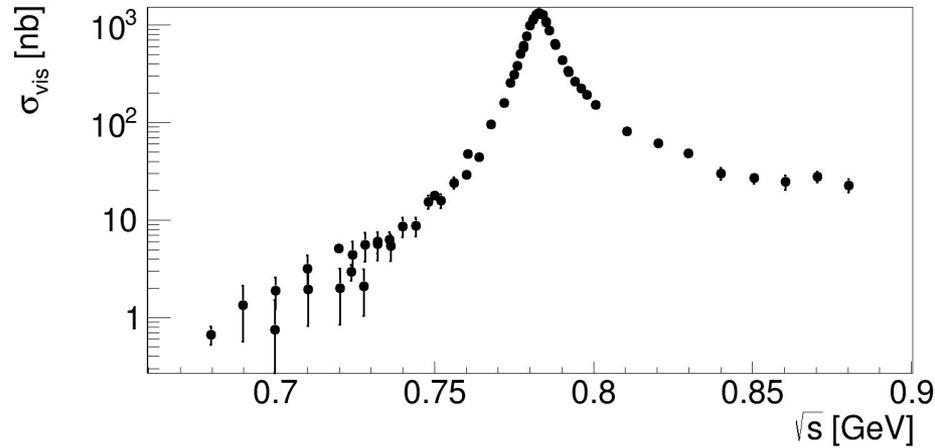
# Эффективность и поправки



$$\varepsilon_{\pm} = \frac{N_{2tr,\pi^0}}{N_{2tr,\pi^0} + N_{1tr\pm,\pi^0}}$$

- эффективность с реконструкцией  $\pi^0$  и “хорошими” фотонами  $\sim 2\%$
- Спад связан с ISR
- Моделирование с учетом ISR
- Elabel\_v2 (отражает состояние детектора)
- В генераторе только рт механизм
- Без учета взаимодействия в конечном состоянии
- Рассчитывались эффективности регистрации заряженного пиона в эксперименте и моделировании
- Поправка к эффективности заряженного пиона  $\sim 0.5\%$  (2018)  $\sim 1\%$  (2013)
- Рассчитывались эффективности триггеров в эксперименте и моделировании
- Поправка к эффективности срабатывания триггера  $< 0.1\%$

# Видимое сечение и радпоправка



- Считалась итерационным методом с учетом разброса энергии в пучке 350 кэВ

$$\sigma_{vis} = \frac{N_{3\pi}}{L\epsilon_{MC}(1 - \delta_{\pi^0})(1 - \delta_+)(1 - \delta_-)(1 - \delta_{trig})}$$

$$\sigma_{vis}(s_0) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(s-s_0)^2}{2\sigma_s^2}} ds \int_0^{x_0} \sigma(s(1-x))F(x,s)dx$$

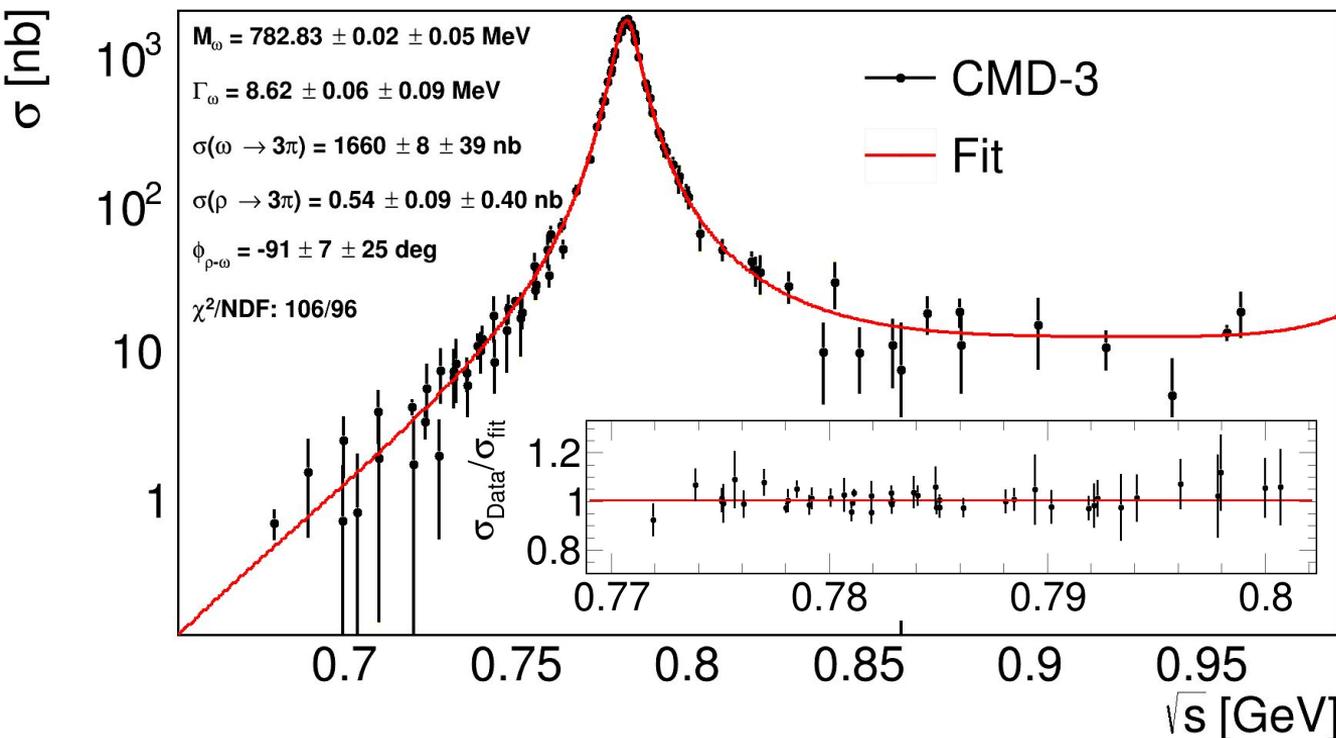
$$\sigma(s) = \frac{\sigma_{vis}(s)}{(1 + \delta_{rad})}$$

# Аппроксимация сечения

$$\sigma(s) = \frac{F_{3\pi}(s)}{s^{3/2}} \left| \sum_{V=\rho,\omega,\phi,\omega',\omega''} e^{i\phi_{\omega V}} \sqrt{\frac{\sigma(V \rightarrow 3\pi) M_V}{F_{3\pi}(M_V^2)} \frac{\Gamma_V M_V^2}{D_V(s)}} \right|^2$$

$$F_{3\pi}(s) = \frac{(4\pi\alpha)^2 \sqrt{s}}{12\pi} \int [\vec{P}_+ \times \vec{P}_-]_{\perp}^2 \left| \sum_{i=0,+,-} \frac{g_{\rho^i \pi \pi}}{D_{\rho^i}(P_{\rho^i}^2)} \right|^2 d\Phi_{3\pi}$$

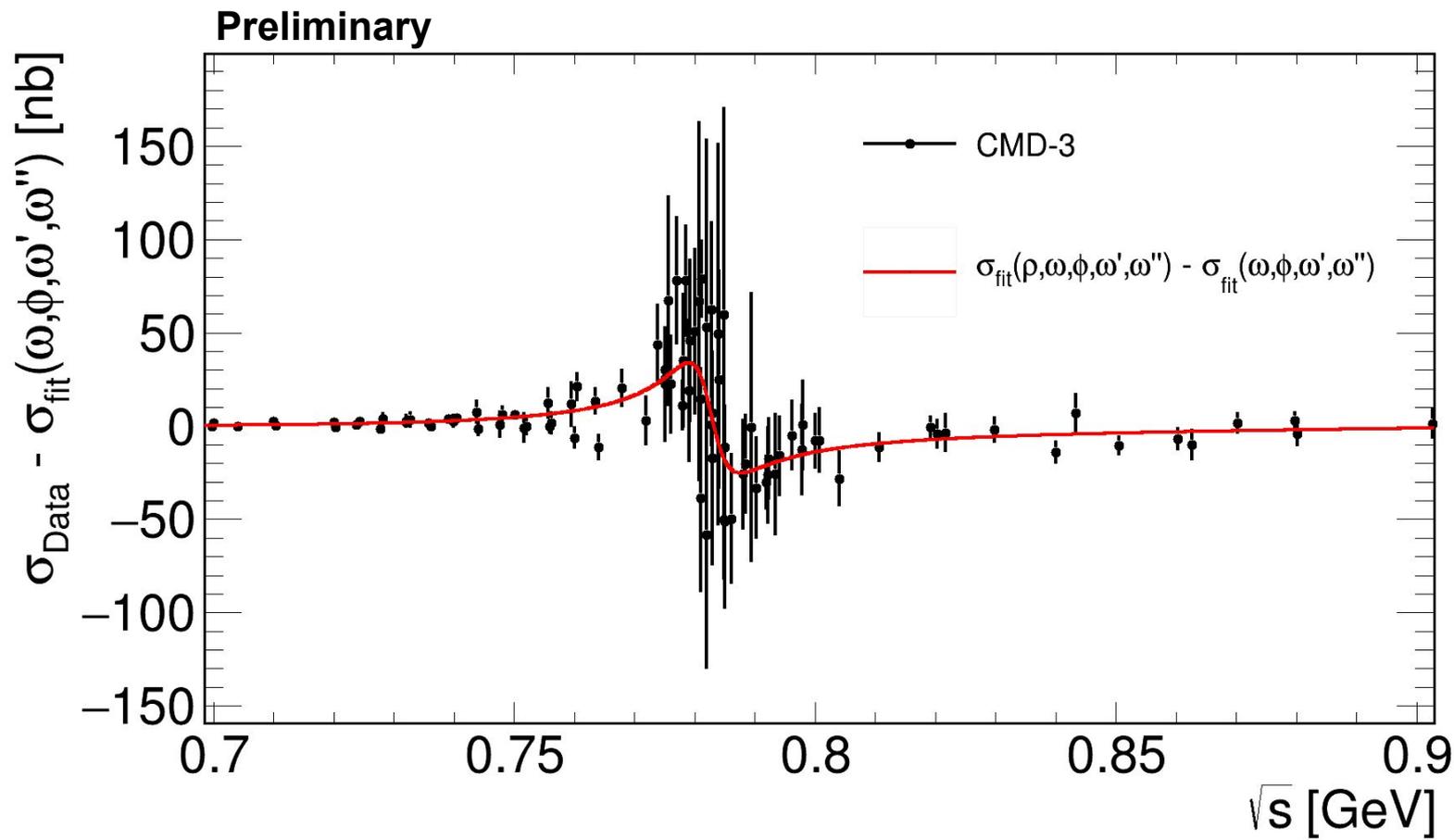
**Preliminary fit ( $E_{\text{c.m.}} = 0.66 - 0.97 \text{ GeV}$ )**



- Учен только  $\rho\pi$  механизм
- Учтена зависимость ширины от энергии
- При аппроксимации массы и ширины резонансов  $\rho$ ,  $\phi$ ,  $\omega'$ ,  $\omega''$  были зафиксированы на их значениях из PDG
- фаза  $\omega - \phi = 162^\circ$  (SND)
- фаза  $\omega - \omega' = 90^\circ$  (SND)
- фаза  $\omega - \omega'' = 180^\circ$  (SND)

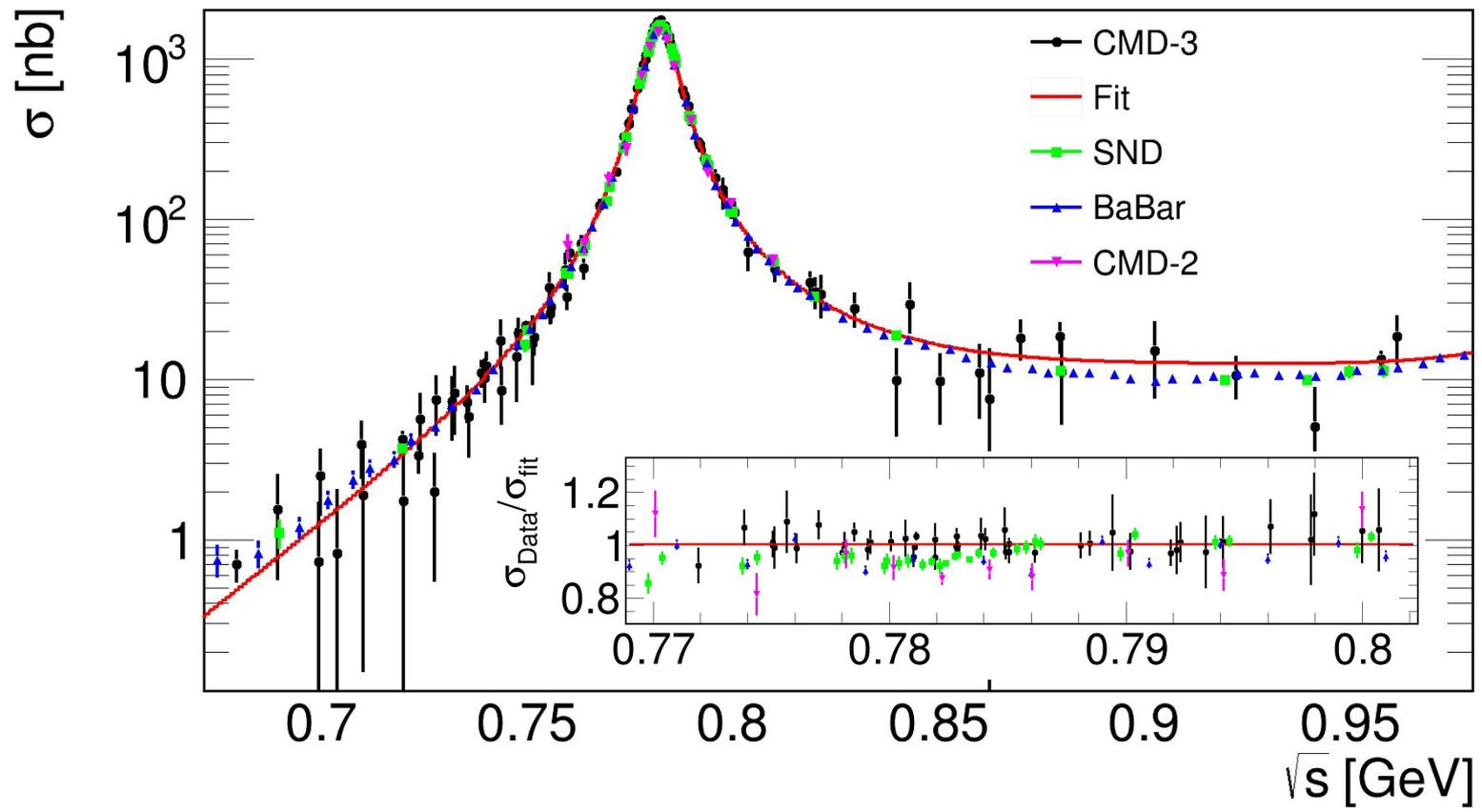
$N_{3\pi} \approx 480\text{k}$

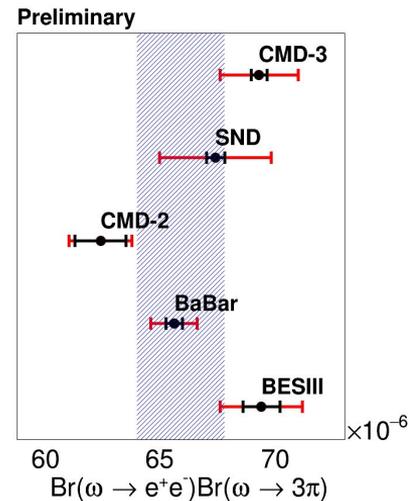
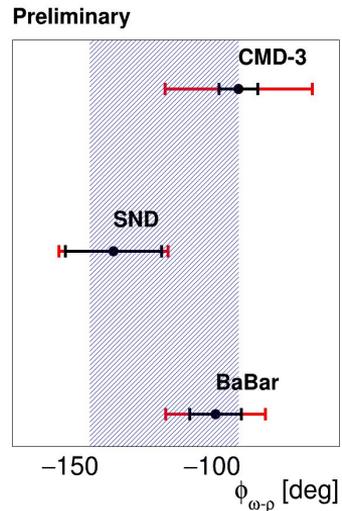
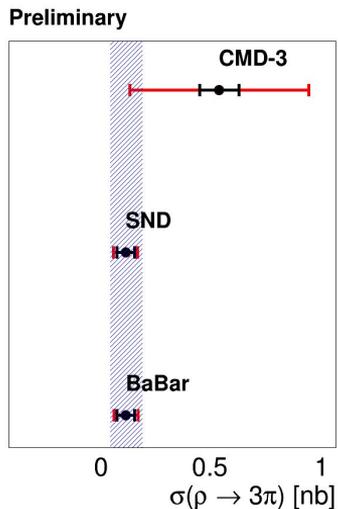
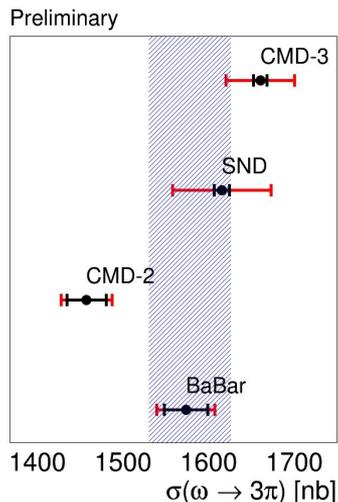
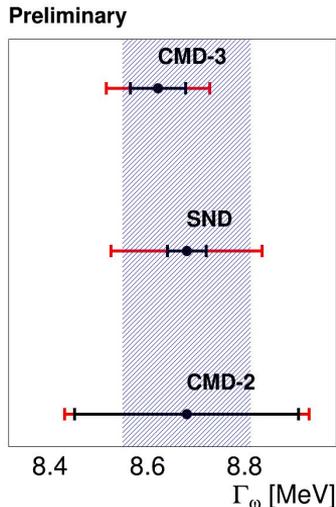
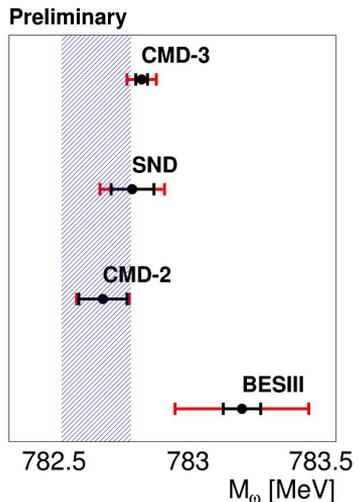
# Разница сечения и фита без вклада ро-мезона



# Сравнение с другими экспериментами

Preliminary





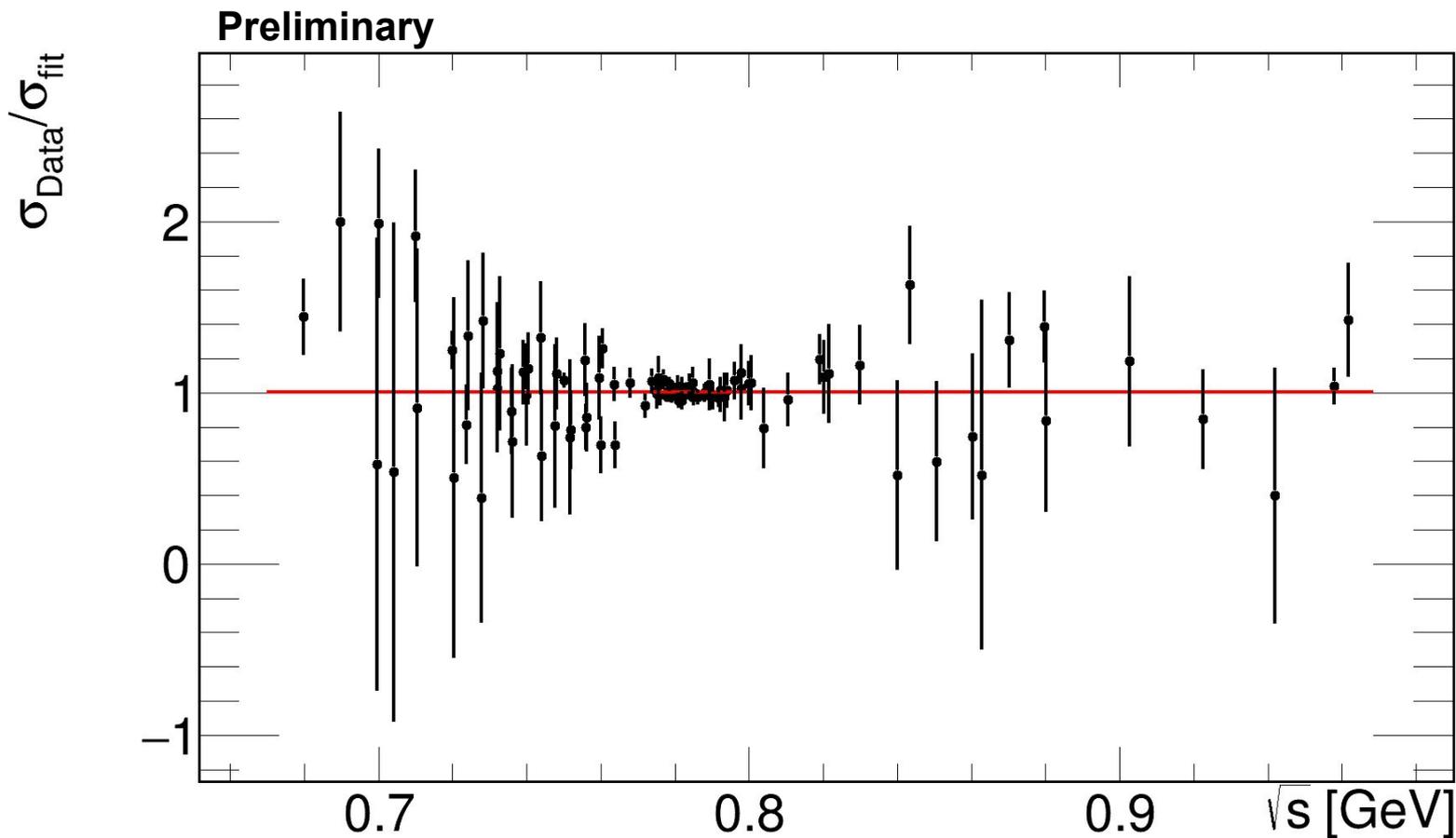
## Источники систематических погрешностей

Светимость	~ 1.5 %
критерии отбора по $\theta$	~ 0.5%
критерии отбора по $\chi^2$ кинфита	~ 1%
критерии отбора на фотоны	~ 1%
Поправка на реконструкцию треков	~ 0.2%
Полная	~ 2.4%

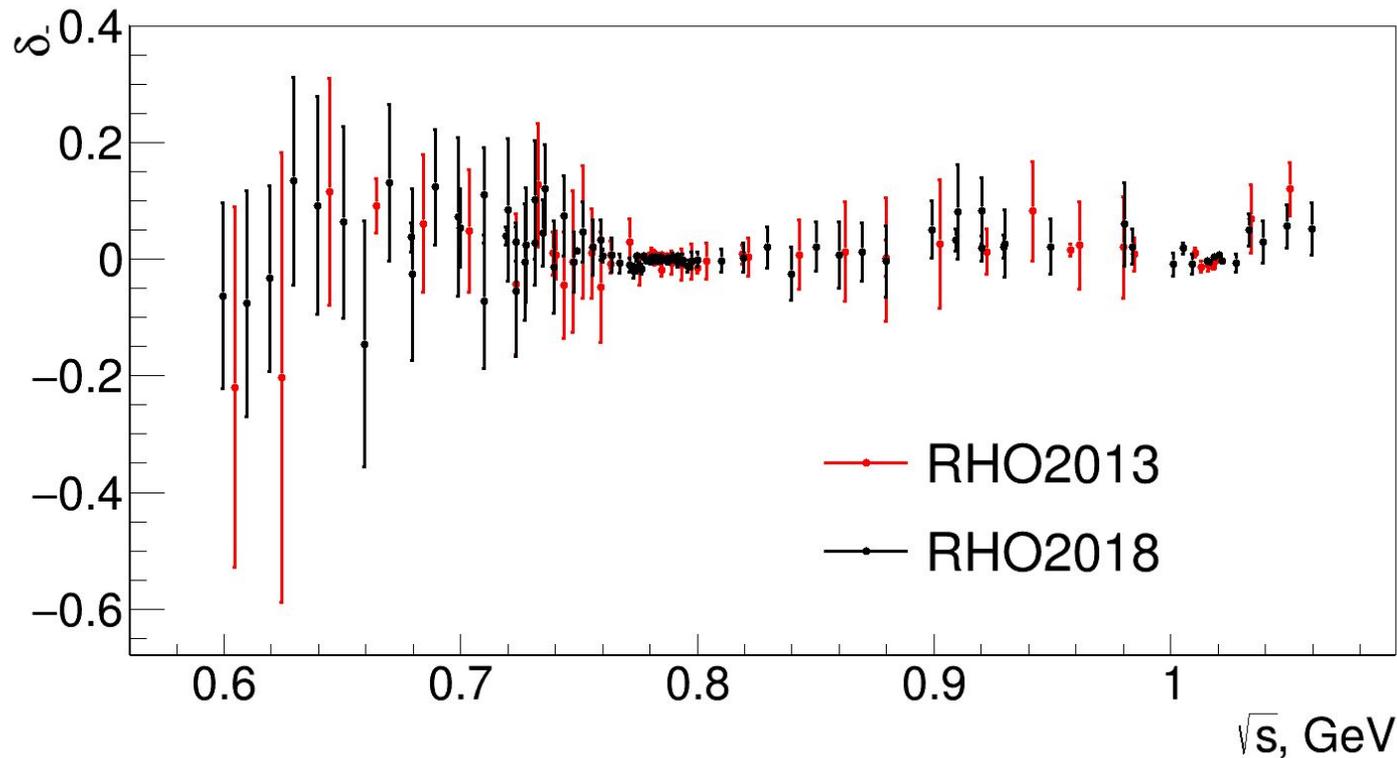
## Заключение

- Результаты анализа согласуются с предыдущими измерениями
- Погрешности измеренных параметров определяются систематиками
- Мы оптимистично настроены по поводу уменьшения систематических погрешностей
- Ведется анализ в области энергий вблизи массы  $\phi$ -мезона и выше
- Эта работа поддержана грантом: Российский научный фонд № 23-42-10025

# Отношение сечения к аппроксимации



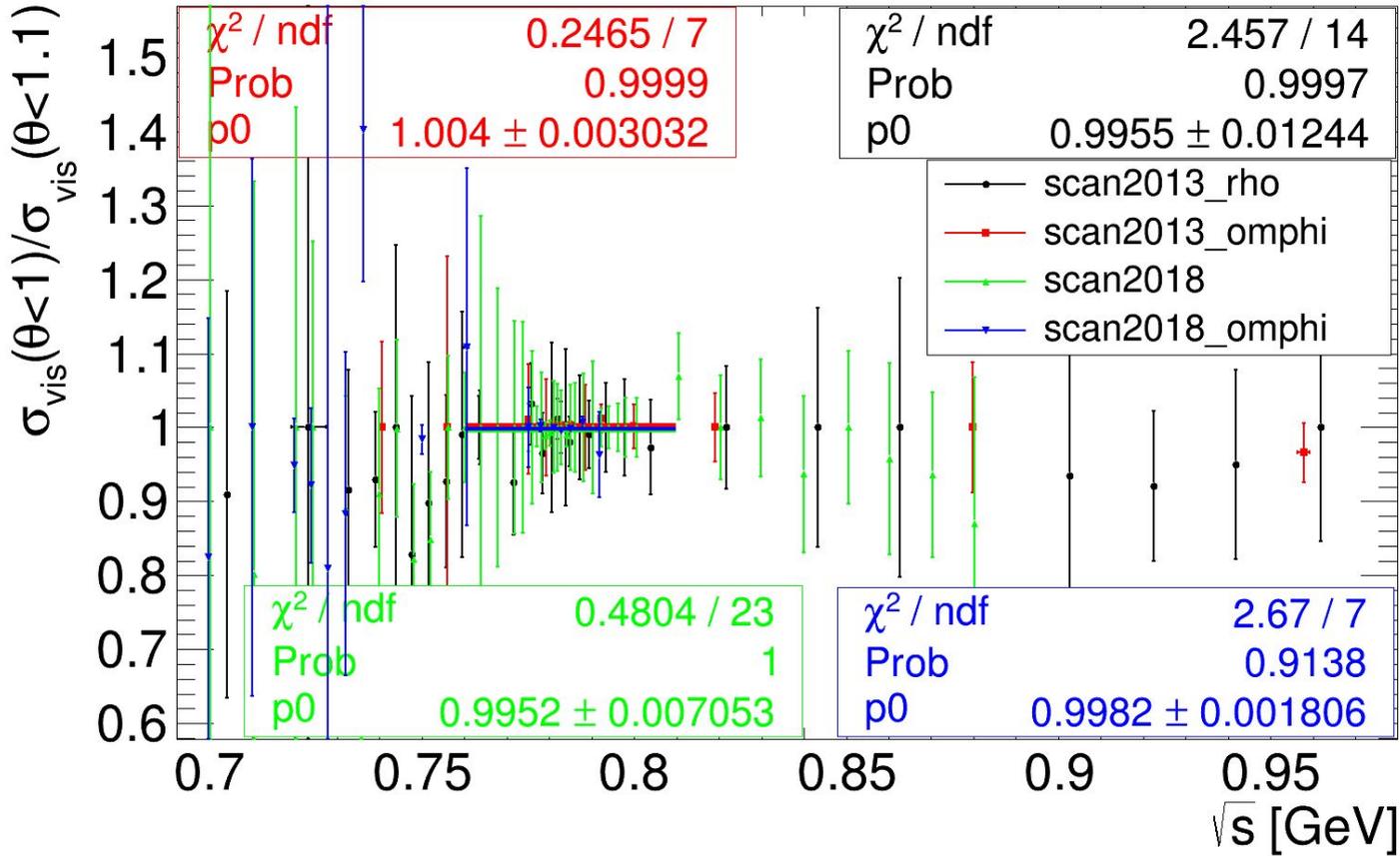
# Поправка к эффективности реконструкции $\pi^-$ (зависимость от энергии)



$$\varepsilon_{\pm} = \frac{N_{2tr,\pi^0}}{N_{2tr,\pi^0} + N_{1tr\pm,\pi^0}}$$

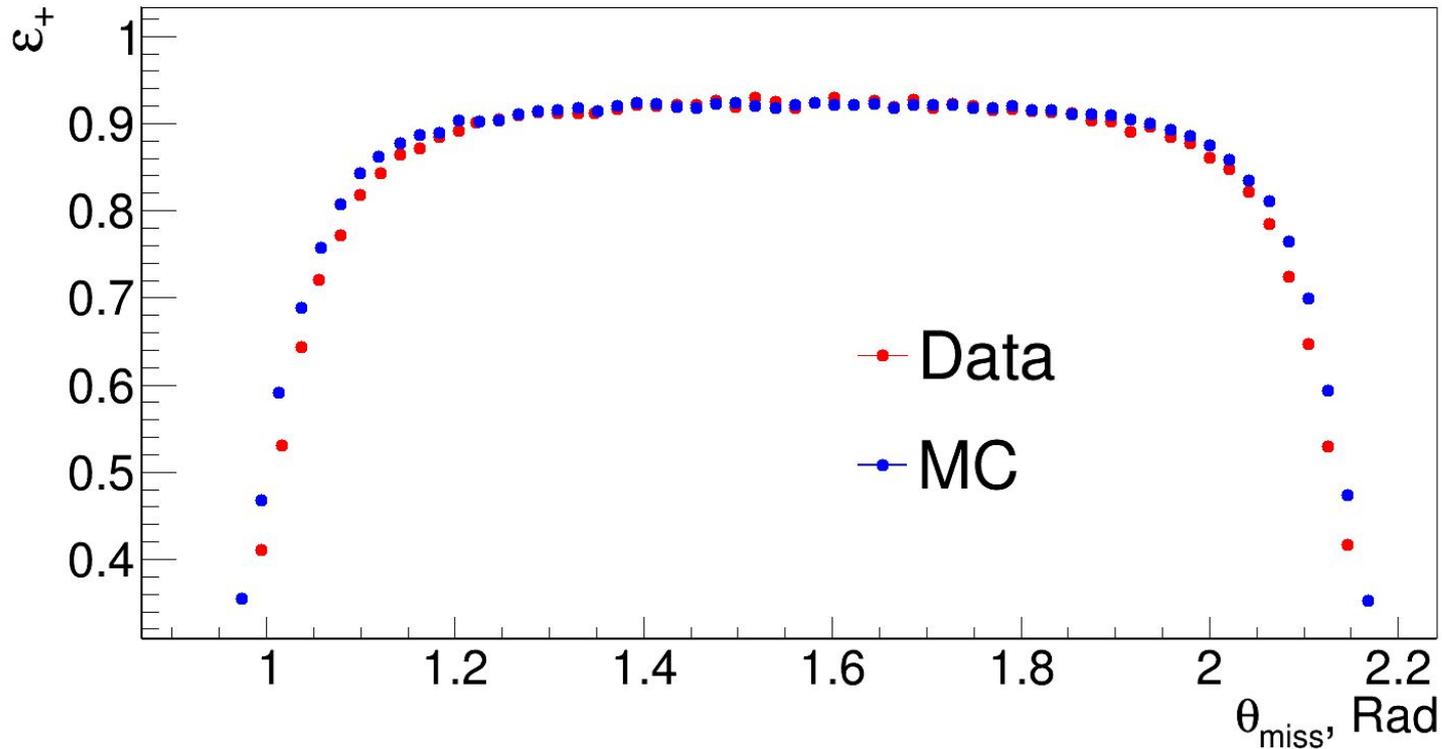
- $\sim 0.5\%$  на трек для RHO18
- $\sim 1\%$  на трек для RHO13

# Backslides. Theta cuts



# Эффективность реконструкции $\pi^+$ в событии $\pi^+\pi^-\pi^0$

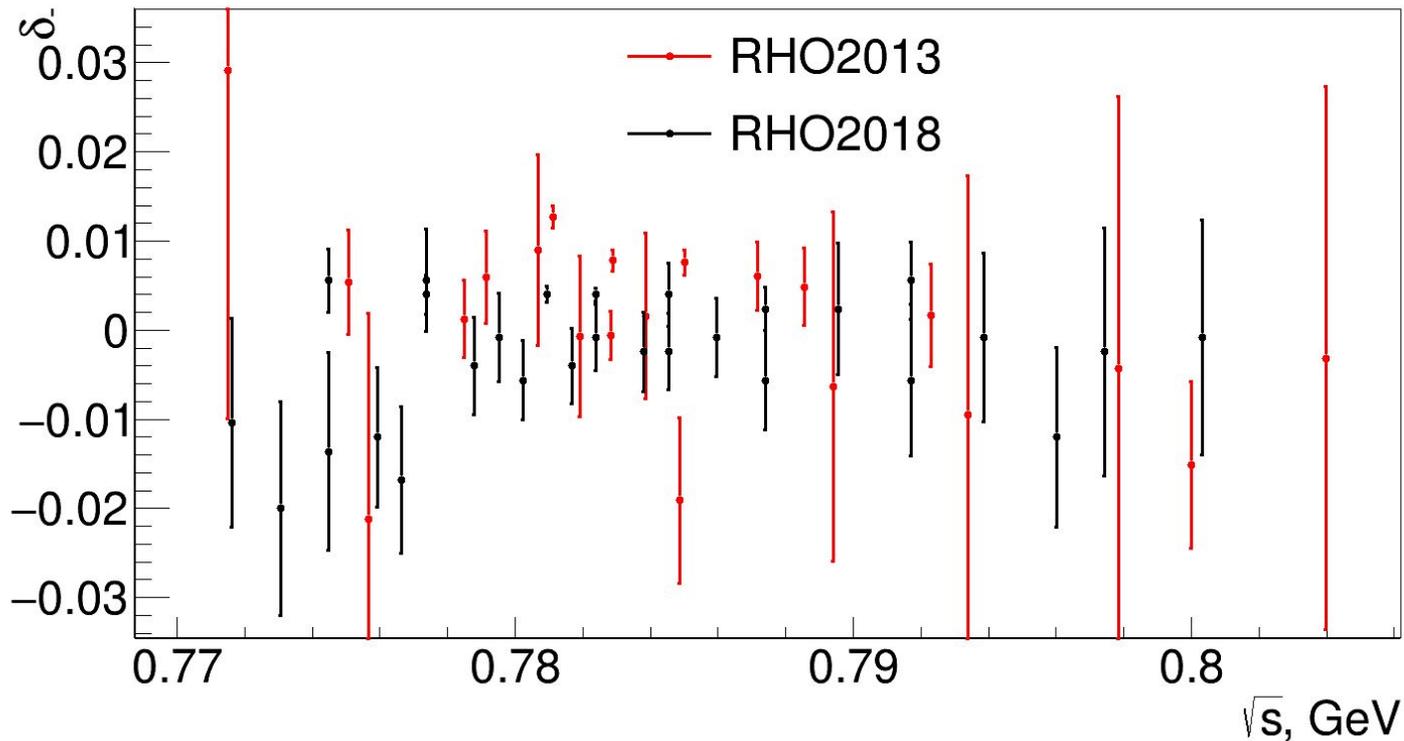
$E_{\text{beam}} = 391.5 \text{ МэВ}$  (RHO2018)



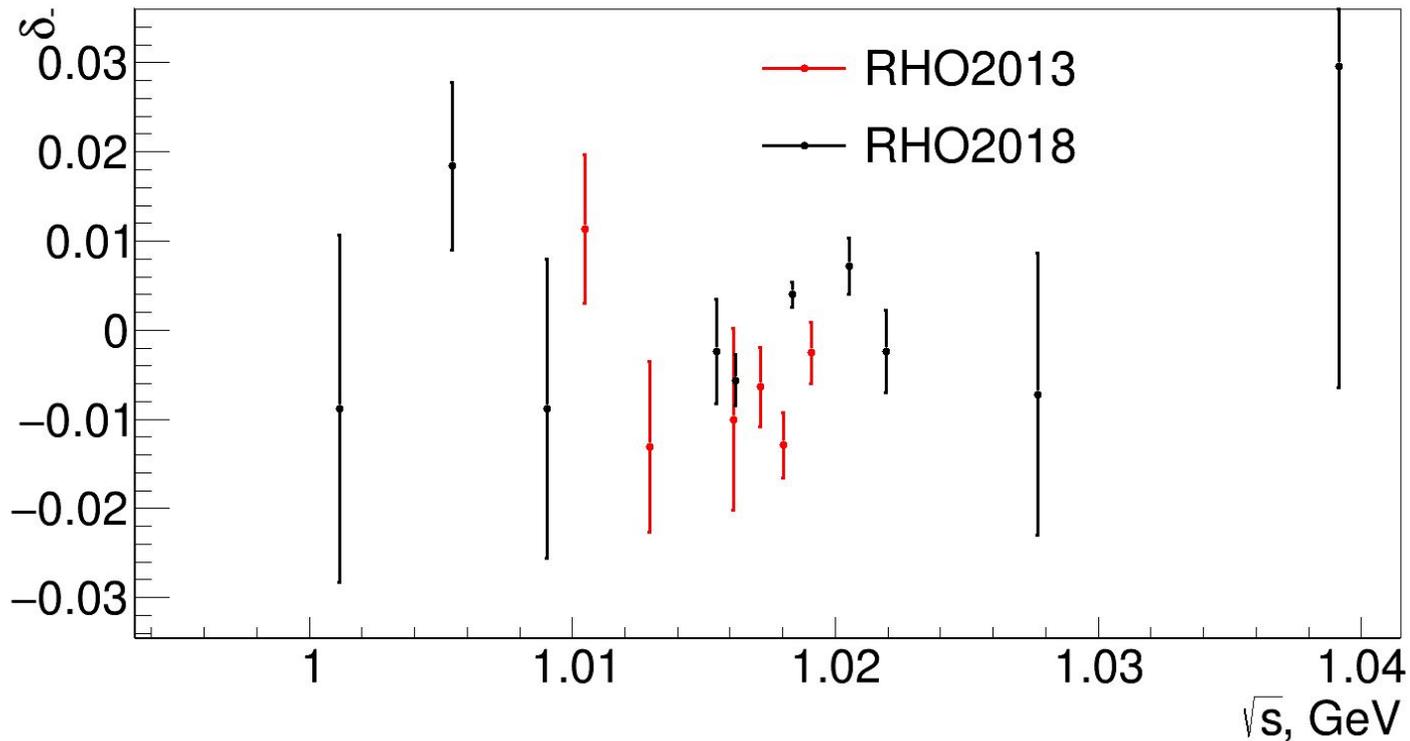
$$\varepsilon_{\pm} = \frac{N_{2tr,\pi^0}}{N_{2tr,\pi^0} + N_{1tr\pm,\pi^0}}$$

- Лучшая пара фотонов выбиралась по кинфиту
- В событиях с тремя фотонами считался доворот потерянного трека и проверялось, чтоб кластер был на продолжении трека
- Эффективность в диапазоне  $< 1.1 \text{ Рад}$  92-94 %
- Только по двухфотонным событиям  $\sim 96\%$

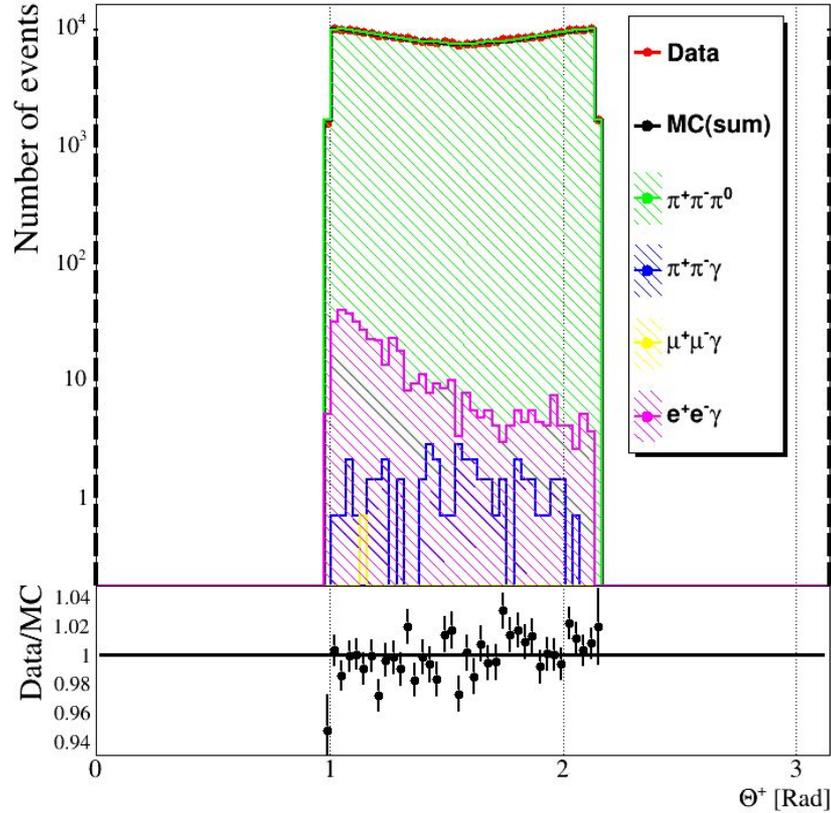
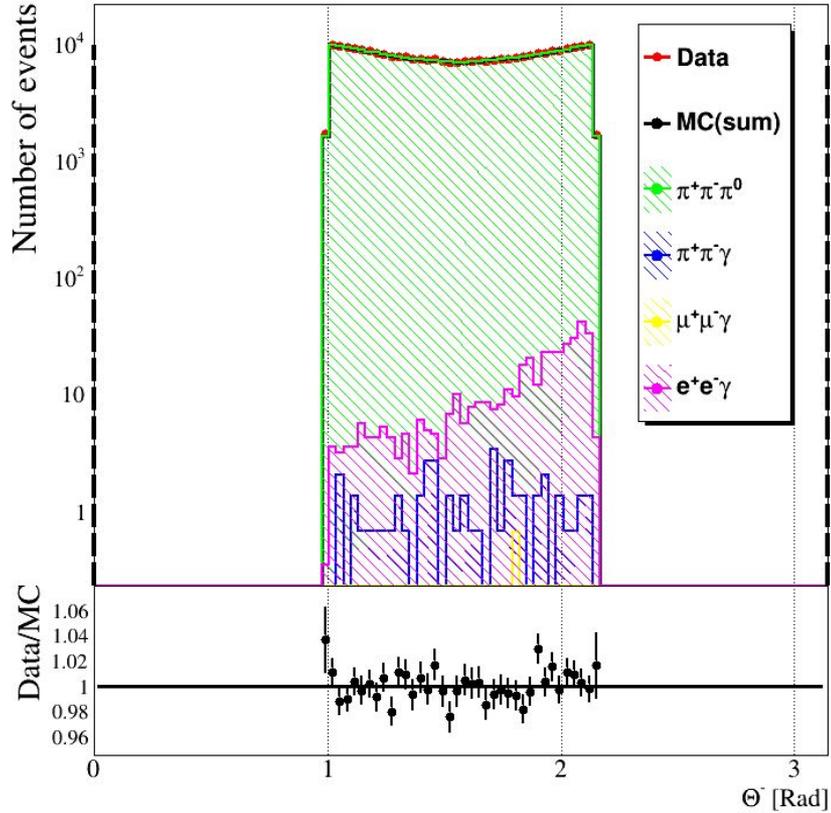
# Backslides. Поправка к эффективности реконструкции $\pi^-$ (зависимость от энергии)



# Backslides. Поправка к эффективности реконструкции $\pi^-$ (зависимость от энергии)



# Backslides. Зависимость от полярного угла



# Backslides (Chi2 cuts) Ebeam = 391.5 MeV

