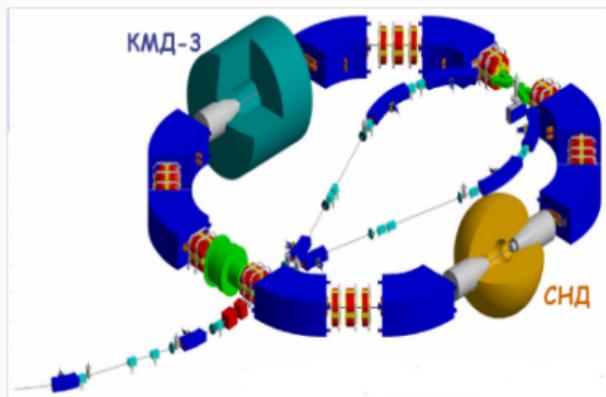


Амплитудный анализ процесса $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ с детектором КМД-3

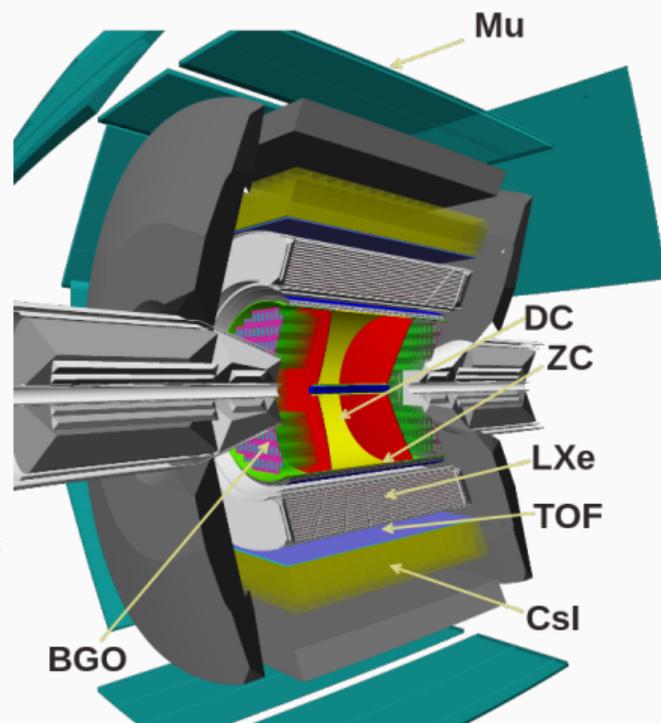
С.С. Грибанов, КМД-3, ИЯФ СО РАН

Сессия-конференция СЯФ ОФН РАН, 10 марта 2026 г.

коллайдер вэпп-2000. детектор кмд-3.



- Диапазон энергий в С.Ц.М.: $0.3 \text{ ГэВ} < \sqrt{s} < 2.0 \text{ ГэВ}$.
- Энергия измеряется методом обратного комптоновского рассеяния с точностью 50 КэВ.
- Концепция круглых пучков.
- Светимость при $\sqrt{s} = 2 \text{ ГэВ}$: $9 \cdot 10^{31} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.
- Два детектора КМД-3 и СНД.



процесс $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ и мотивация к его изучению

Мотивация

- Изучение динамики процесса
- Уточнение параметров лёгких векторных мезонов: $\rho(1450)$, $\rho(1700)$, ...
- Измерение сечения, вклад в $(g-2)_\mu$
- Тест CVC: расчёт бранчинга распада $\tau^- \rightarrow \eta\pi^-\pi^0\nu_\tau$
- Переходной форм-фактор $\eta \rightarrow \gamma^*\gamma^*$

Промежуточные состояния

В анализе рассматривались промежуточные состояния:

- $\rho(770)\pi$ в P-волне,
- $a_2(1320)\pi$ в D-волне,
- $\rho(1450)\pi$ в P-волне,
- $\omega(782)\eta$ в P-волне

Данные

В анализе использована статистика электрон-позитронных соударений, накопленная с детектором КМД-3 в период с 2011 по 2023 год и соответствующая интегральной светимости 684.5 пб^{-1} . Предыдущий анализ процесса $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ с детектором КМД-3¹ базировался на статистике в 78.5 пб^{-1} .

¹S.S. Gribov и другие (коллаборация КМД-3). “Measurement of the $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ cross section with the CMD-3 detector at the VEPP-2000 collider”. В: *JHEP* 01 (2020), с. 112. DOI: [10.1007/JHEP01\(2020\)112](https://doi.org/10.1007/JHEP01(2020)112). arXiv: [1907.08002](https://arxiv.org/abs/1907.08002) [hep-ex].

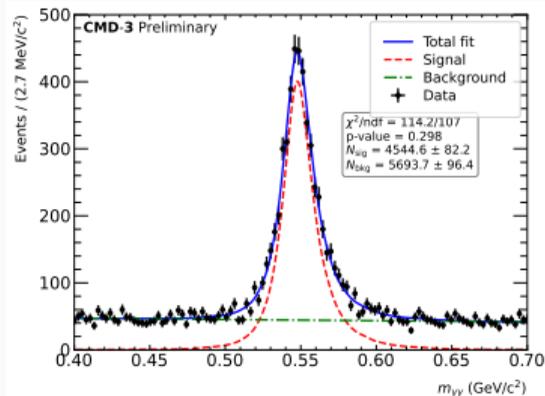
Критерии отбора (сечение по $m_{\gamma\gamma}$)

- 2 центральных трека ($|\rho| < 0.6$ см, $|z| < 12$ см)
- суммарное энерговыделение треков в калориметре $0.4 + 0.25 \cdot (\sqrt{s} - 1.2)$ (ГэВ) — для подавления $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$
- как минимум 2 фотона с $E_\gamma > 50$ МэВ
- кинематический фит² в гипотезе $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma\gamma$ с констрейнтами на сохранение энергии-импульса и вылетом заряженных пионов из одной вершины, координаты вершины фиксированы в плоскости XY на положении оси пучков, z -координата вершины свободна, ведётся перебор по всем подходящим парам фотонов, выбирается пара фотонов с наименьшим $\chi_{\pi^+\pi^-\gamma\gamma}^2$, условие $\chi_{\pi^+\pi^-\gamma\gamma}^2 < 40$

Критерии отбора (амплитудный анализ)

- 2 центральных трека ($|\rho| < 0.6$ см, $|z| < 12$ см)
- суммарное энерговыделение треков в калориметре $0.4 + 0.25 \cdot (\sqrt{s} - 1.2)$ (ГэВ)
- как минимум 2 фотона с $E_\gamma > 50$ МэВ
- к. фит в гипотезе $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma\gamma$, $\chi_{\pi^+\pi^-\gamma\gamma}^2 < 40$
- отбор по $m_{\gamma\gamma}$ после к. фита в гипотезе $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma\gamma$: 0.51 ГэВ $< m_{\gamma\gamma} < 0.59$ ГэВ
- к. фит в гипотезе $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$, $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ ($m_{\gamma\gamma} = m_\eta$), требуется сходимость фита, отборы по $\chi_{\eta\pi^+\pi^-}^2$ не делаются

число событий, эффективность, сечение

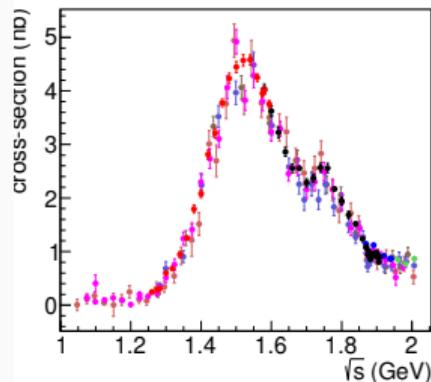
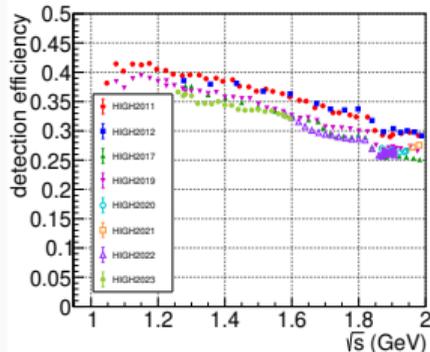


Подсчёт числа событий

Число событий определяется из подгонки спектров $m_{\gamma\gamma}$ суммой «сигнал + фон». Форма спектра для сигнала берётся из моделирования. В качестве фона используется фоновая подложка. Делается коррекция к разрешению и положению сигнала. Моделирование делается с учётом промежуточных состояний $\rho(770)\eta$ и $a_2(1320)\pi$. Поправки к эффективности пока не выполнялись.

Эффективность

Эффективность рассчитывается по моделированию $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ как отношение событий, прошедших критерии отбора, к изначально заложенному числу событий.



Сечение

Сечение рассчитывалось по формуле:

$$\sigma_{\mathbf{B}}(s) = \frac{N(s)}{\mathcal{B}\varepsilon(s)L_{\text{int}}(s)(1 + \delta_{\text{rad}}(s))},$$

$N(s)$ — число событий, $\varepsilon(s)$ — эффективность, $L_{\text{int}}(s)$ — интегральная светимость, $\delta_{\text{rad}}(s)$ — рад. поправка, \mathcal{B} — бранчинг $\eta \rightarrow \gamma\gamma$.

плотность вероятности

В точке с фиксированной энергией плотность вероятности имеет вид:

$$\tilde{f}(p_1, \dots, p_n; \tilde{C}_{\text{sig}}, C_{\text{bkg}}) = \frac{\tilde{\varepsilon}_{\text{ph sig}}(p_1, \dots, p_n) \tilde{C}_{\text{sig}}^\dagger \hat{a}(p_1, \dots, p_n) \tilde{C}_{\text{sig}} + C_{\text{bkg}}^\top \hat{b}(p_1, \dots, p_n) C_{\text{bkg}}}{\int \tilde{\varepsilon}_{\text{ph sig}}(p_1, \dots, p_n) \tilde{C}_{\text{sig}}^\dagger \hat{a}(p_1, \dots, p_n) \tilde{C}_{\text{sig}} d\Phi_n + \int C_{\text{bkg}}^\top \hat{b}(p_1, \dots, p_n) C_{\text{bkg}} d\Phi_n},$$

где $\tilde{\varepsilon}_{\text{ph sig}}(p_1, \dots, p_n) = \varepsilon_{\text{ph sig}}(s) \text{PDF}_{\text{ph sig}}(p_1, \dots, p_n)$ — плотность эффективности отбора событий моделирования сигнала по фазовому объёму, $\text{PDF}_{\text{ph sig}}(p_1, \dots, p_n)$ — плотность вероятности для событий моделирования сигнала по фазовому объёму (нормированная на единицу плотность эффективности), $\varepsilon_{\text{ph sig}}(s)$ — эффективность отбора событий моделирования сигнала по фазовому объёму в точке с энергией \sqrt{s} . Матричный элемент и квадрат модуля матричного элемента, усреднённого по поляризациям начальных частиц, для сигнального процесса:

$$\mathcal{M}_{\text{sig}}(p_1, \dots, p_n) = \sum_{j=1}^m \tilde{C}_j(s) \mathcal{M}_j(p_1, \dots, p_n), \quad |\overline{\mathcal{M}_{\text{sig}}(p_1, \dots, p_n)}|^2 = \tilde{C}_{\text{sig}}^\dagger \hat{a}(p_1, \dots, p_n) \tilde{C}_{\text{sig}}, \quad \tilde{C}_{\text{sig}}^\dagger = \begin{pmatrix} \tilde{C}_1^\dagger & \dots & \tilde{C}_m^\dagger \end{pmatrix}.$$

$|\overline{\mathcal{M}_{\text{sig}}(p_1, \dots, p_n)}|^2$ зависит от импульсов p_1, p_2, \dots, p_n конечных частиц через комплексную эрмитову матрицу $\hat{a}(p_1, \dots, p_n)$, вектор коэффициентов $\tilde{C}_{\text{sig}} \in \mathbb{C}^m$, где m — число не s -канальных промежуточных состояний. Диагональная вещественная матрица $\hat{b}(p_1, \dots, p_n)$ имеет следующий вид:

$$\hat{b}(p_1, \dots, p_n) = \begin{pmatrix} \text{PDF}_{\text{bkg } 1}(p_1, \dots, p_n) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \text{PDF}_{\text{bkg } r}(p_1, \dots, p_n) \end{pmatrix}, \quad C_{\text{bkg}}(s) \in \mathbb{R}^r \text{ — коэффициенты фона.}$$

плотность вероятности

$\text{PDF}_{\text{bkg } k}(p_1, \dots, p_n)$ — плотность вероятности k -того фонового вклада (например, можно получить из моделирования, если известен модель); r — количество рассматриваемых по отдельности фоновых процессов. Переопределим коэффициенты \tilde{C}_{sig} , внося $\sqrt{\varepsilon_{\text{ph sig}}(s)}$ внутрь этих коэффициентов:

$$C_{\text{sig}}(s) = \sqrt{\varepsilon_{\text{ph sig}}(s)} \tilde{C}_{\text{sig}}(s), \quad \text{впредь полезно помнить, что } C_{\text{sig}}(s) \propto \sqrt{\varepsilon_{\text{ph sig}}(s)}.$$

Заметим, что k -тый элемент вектора C_{bkg} по построению $C_{\text{bkg } k}(s) \propto \sqrt{\varepsilon_{\text{bkg } k}(s)}$, где $\varepsilon_{\text{bkg } k}(s)$ — эффективность k -того фонового процесса в рамках заложенной модели. Таким образом, формула для плотности вероятности принимает вид:

$$f(p_1, \dots, p_n; C_{\text{sig}}, C_{\text{bkg}}) = \frac{\text{PDF}_{\text{ph sig}}(p_1, \dots, p_n) C_{\text{sig}}^\dagger \hat{a}(p_1, \dots, p_n) C_{\text{sig}} + C_{\text{bkg}}^\top \hat{b}(p_1, \dots, p_n) C_{\text{bkg}}}{\int \text{PDF}_{\text{ph sig}}(p_1, \dots, p_n) C_{\text{sig}}^\dagger \hat{a}(p_1, \dots, p_n) C_{\text{sig}} d\Phi_n + \int C_{\text{bkg}}^\top \hat{b}(p_1, \dots, p_n) C_{\text{bkg}} d\Phi_n}$$

или

$$f(p_1, \dots, p_n; C_{\text{sig}}, C_{\text{bkg}}) = \frac{\text{PDF}_{\text{ph sig}}(p_1, \dots, p_n) I_{\text{sig}}(p_1, \dots, p_n; C_{\text{sig}}) + I_{\text{bkg}}(p_1, \dots, p_n; C_{\text{bkg}})}{\int \text{PDF}_{\text{ph sig}}(p_1, \dots, p_n) I_{\text{sig}}(p_1, \dots, p_n; C_{\text{sig}}) d\Phi_n + \int I_{\text{bkg}}(p_1, \dots, p_n; C_{\text{bkg}}) d\Phi_n},$$

где

$$I_{\text{sig}}(p_1, \dots, p_n; C_{\text{sig}}) = C_{\text{sig}}^\dagger \hat{a}(p_1, \dots, p_n) C_{\text{sig}}, \quad I_{\text{bkg}}(p_1, \dots, p_n; C_{\text{bkg}}) = C_{\text{bkg}}^\top \hat{b}(p_1, \dots, p_n) C_{\text{bkg}}.$$

нормировка плотности вероятности

Число событий (зарегистрированных и найденных из амплитудного фита) сигнального процесса:

$$N_{\text{sig}}(s) = \int \text{PDF}_{\text{ph sig}}(p_1, \dots, p_n) I_{\text{sig}}(p_1, \dots, p_n; \mathbf{C}_{\text{sig}}) d\Phi_n \approx \Phi_n(s) \cdot \frac{1}{\tilde{N}_0} \sum_j' I_{\text{sig}}(\{p_1, \dots, p_n\}_j, \mathbf{C}_{\text{sig}})$$
$$\Rightarrow \boxed{N_{\text{sig}}(s) \approx \mathbf{C}_{\text{sig}}^\dagger \hat{A} \mathbf{C}_{\text{sig}}}, \text{ где } \hat{A}(s) = \Phi_n(s) \cdot \frac{1}{\tilde{N}_0} \sum_j' \hat{a}(\{p_1, \dots, p_n\}_j),$$

где \sum_j' — сумма по событиям моделирования (с учётом отклика детектора) сигнального процесса, прошедшим критерии отбора; \tilde{N}_0 — число таких событий.

Число событий фоновых процессов:

$$N_{\text{bkg}}(s) = \int I_{\text{bkg}}(p_1, \dots, p_n; \mathbf{C}_{\text{bkg}}) d\Phi_n = \int \text{PDF}_{\text{ph sig}}(p_1, \dots, p_n) \frac{I_{\text{bkg}}(p_1, \dots, p_n; \mathbf{C}_{\text{bkg}})}{\text{PDF}_{\text{ph sig}}(p_1, \dots, p_n)} d\Phi_n \approx$$
$$\approx \Phi_n(s) \cdot \frac{1}{\tilde{N}_0} \sum_j' \frac{I_{\text{bkg}}(\{p_1, \dots, p_n\}_j; \mathbf{C}_{\text{bkg}})}{\text{PDF}_{\text{ph sig}}(\{p_1, \dots, p_n\}_j)} \Rightarrow \boxed{N_{\text{bkg}}(s) = \mathbf{C}_{\text{bkg}}^\top \hat{B} \mathbf{C}_{\text{bkg}}}, \text{ где } \hat{B} = \frac{\Phi_n(s)}{\tilde{N}_0} \sum_j' \frac{\hat{b}(\{p_1, \dots, p_n\}_j)}{\text{PDF}_{\text{ph sig}}(\{p_1, \dots, p_n\}_j)}.$$

Суммарное число событий (нормировка):

$$N_{\text{tot}}(s) = N_{\text{sig}}(s) + N_{\text{bkg}}(s).$$

extended maximum likelihood

Extended Maximum Likelihood (EML)³:

$$\mathcal{L}_{\text{ext}} = \frac{N_{\text{tot}}^{N_{\text{exp}}}}{N_{\text{exp}}!} e^{-N_{\text{tot}}} \prod_{l \in \text{exp}} f(\{p_1, \dots, p_n\}_l; C_{\text{sig}}, C_{\text{bkg}}) = \frac{1}{N_{\text{exp}}!} e^{-N_{\text{tot}}} \prod_{l \in \text{exp}} N_{\text{tot}} f(\{p_1, \dots, p_n\}_l; C_{\text{sig}}, C_{\text{bkg}})$$

$$\Rightarrow \ln \mathcal{L}_{\text{ext}} = \sum_{l \in \text{exp}} \ln \left(C_{\text{sig}}^\dagger \hat{a}(\{p_1, \dots, p_n\}_l) C_{\text{sig}} + C_{\text{bkg}}^\dagger \frac{\hat{b}(\{p_1, \dots, p_n\}_l)}{\text{PDF}_{\text{ph sig}}(\{p_1, \dots, p_n\}_l)} C_{\text{bkg}} \right) - C_{\text{sig}}^\dagger \hat{A}(s) C_{\text{sig}} - C_{\text{bkg}}^\dagger \hat{B}(s) C_{\text{bkg}}$$

Точка по энергии \sqrt{s} — фиксирована.

- Позволяет найти число событий сигнала $N_{\text{sig}}(s)$, число событий фона $N_{\text{bkg}}(s)$ и полное число событий N_{tot} (см. предыдущий слайд).
- Матрицы $\hat{a}(\{p_1, \dots, p_n\}_l)$, $\hat{b}(\{p_1, \dots, p_n\}_l)/\text{PDF}_{\text{ph sig}}(\{p_1, \dots, p_n\}_l)$, $\hat{A}(s)$ и $\hat{B}(s)$ рассчитываются перед фитом.
- В данном анализе $\hat{b}(\{p_1, \dots, p_n\}_l) \equiv \text{PDF}_{\text{bkg}}(\{p_1, \dots, p_n\}_l)$ — матрица 1×1 , т.к. рассматривается фон только от $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$.

³Roger Barlow. “**Extended maximum likelihood**”. В: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 297.3 (1990), с. 496—506.

метод нахождения $PDF_{ph\ sig}$ и PDF_{bkg}

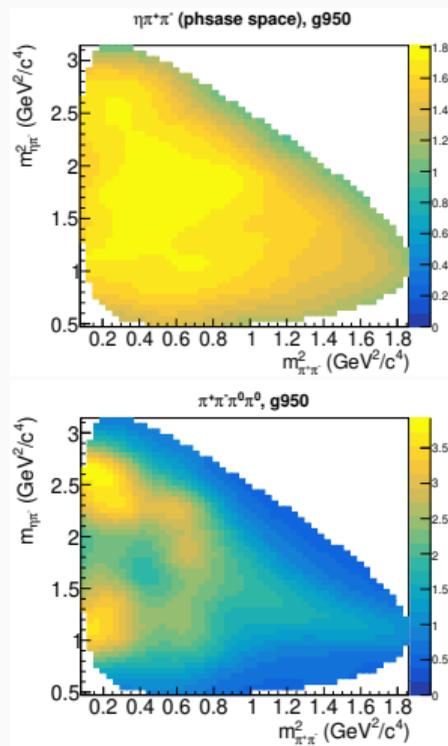
Плотность вероятности сигнала по фазовому объёму $PDF_{ph\ sig}$ и плотность вероятности фона PDF_{bkg} в переменных трех-частичного процесса находились с помощью Kernel Density Estimation (KDE) с некоторыми модификациями⁴. Для трех-частичных процессов можно указать 5 независимых кинематических переменных. Были выбраны следующие переменные:

- $m_{\pi^+\pi^-}^2$,
- $m_{\eta\pi^-}^2$,
- $\cos\theta_\eta$,
- ϕ_η ,
- угол между плоскостями $(\vec{p}_{\pi^+}, \vec{p}_{\pi^-})$ и $(\vec{p}_\eta, \vec{e}_z)$, будем обозначать этот угол как α .

Так как пучки неполяризованные, то от угла ϕ_η ничего не зависит (в пренебрежении неработающими каналами и т.п.).

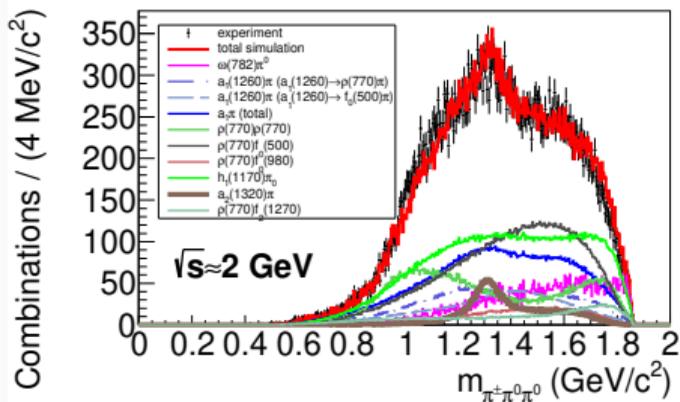
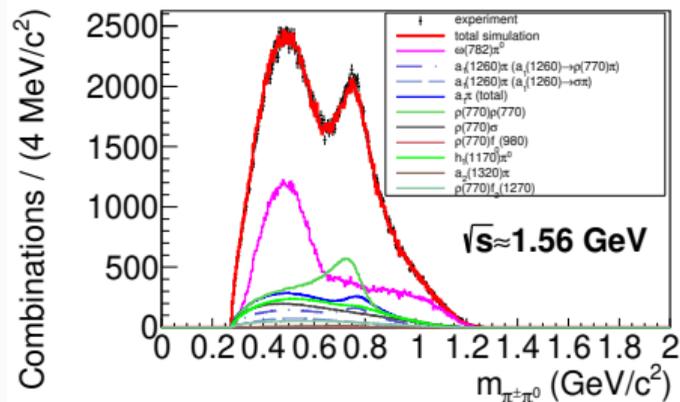
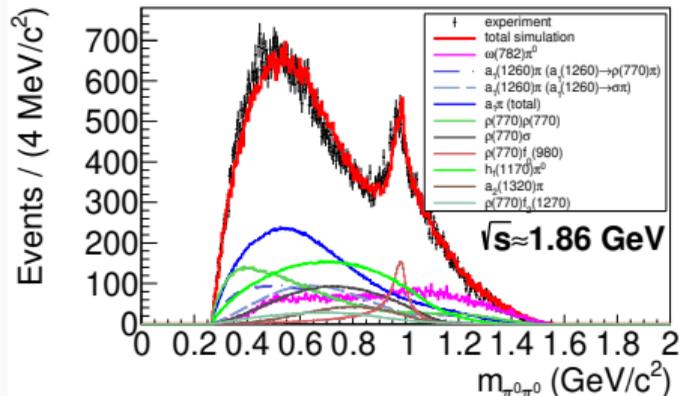
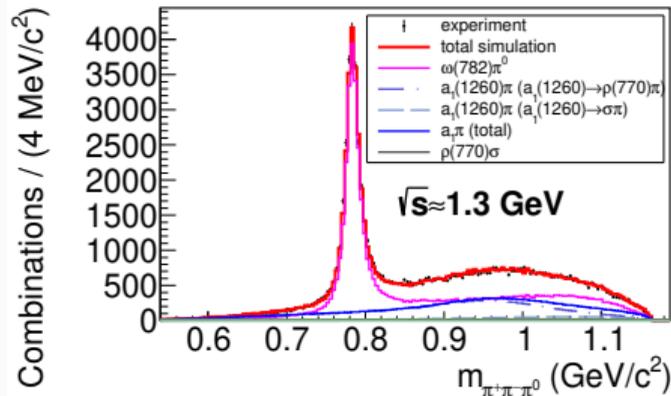
На рисунках справа приведены характерные срезы четырехмерных плотностей вероятности для событий $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ (по фазовому объёму) и событий $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$ (в некоторой модели). Рисунки получены с учётом отклика детектора и наложения критериев отбора.

Модель фона $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$ была определена по предварительным результатам совместного амплитудного анализа процессов $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$ и $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$. Примеры спектров инвариантных масс для процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$ приведены на следующем слайде.



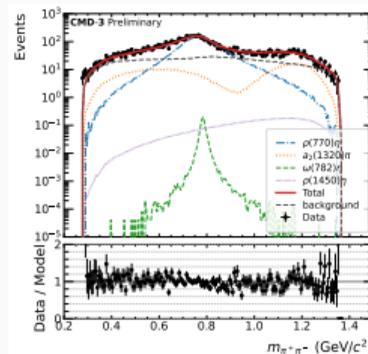
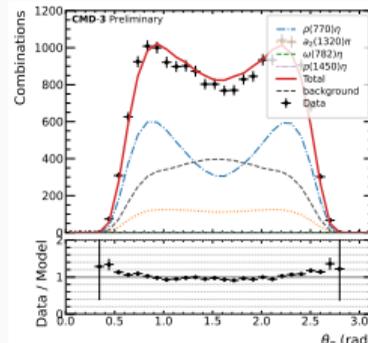
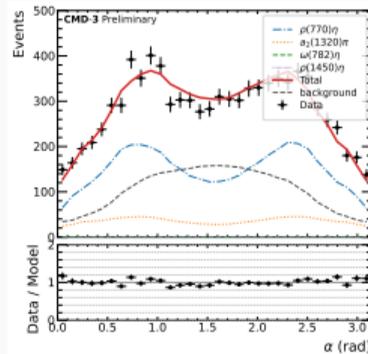
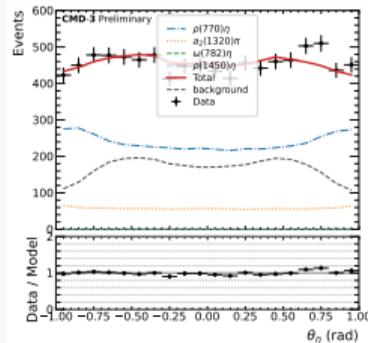
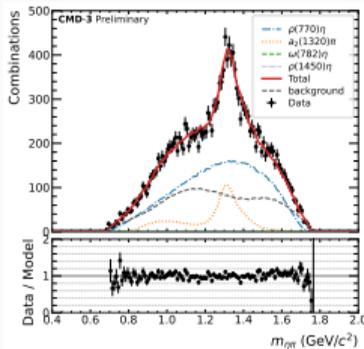
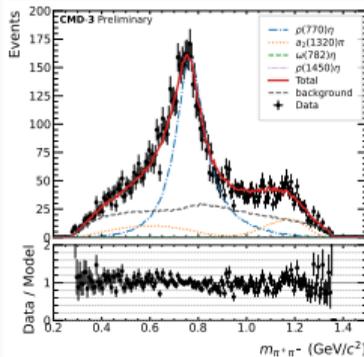
⁴A. Poluektov. “Kernel density estimation of a multidimensional efficiency profile”. *B: Journal of Instrumentation* 10.02 (февр. 2015), P02011

характерные спектры для $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$

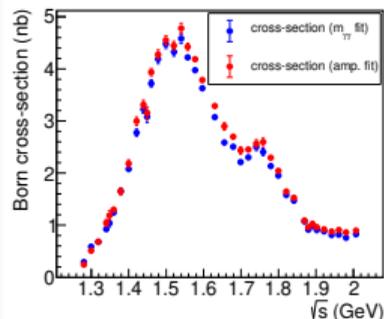
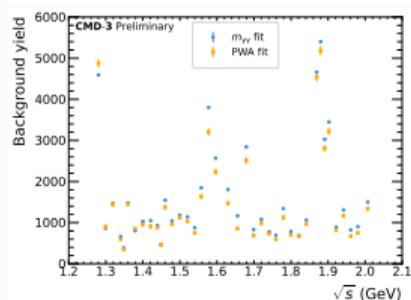
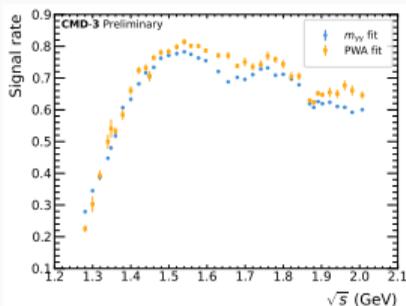
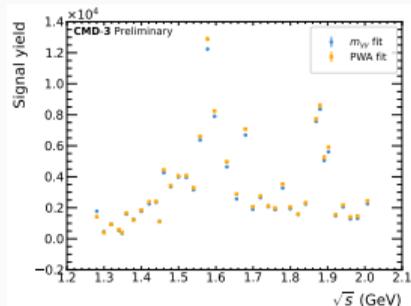


Поточечный амплитудный фит

Все энергетические точки разбиваются на группы с близкими значениями энергии в С.Ц.М. В каждой такой энергетической группе выполняется отдельный амплитудный фит. Сравнение спектров с результатами амплитудного фита для группы точек с энергией $\sqrt{s} \approx 1.9$ ГэВ приведено справа.



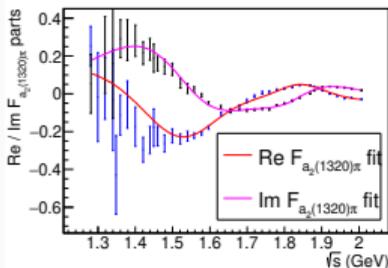
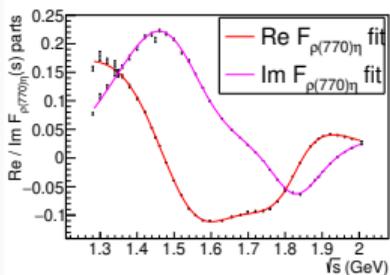
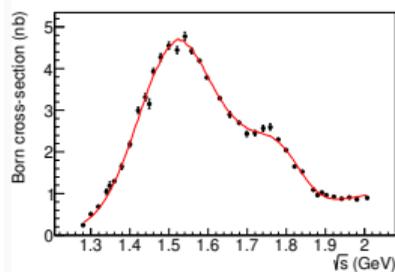
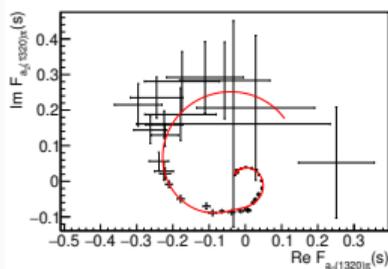
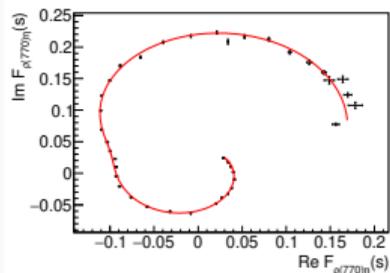
число событий и сечение в поточечном амплитудном фите



Подсчёт числа событий в амплитудном фите

- Число событий можно определять в поточечном амплитудном анализе (extended maximum likelihood fit)
- В амплитудном анализе число событий сигнала слегка завышено, а число событий фона слегка занижено, по отношению к аналогичным числам при фите спектров $m_{\gamma\gamma}$
- Это приводит к небольшому систематическому отличию в сечениях, полученных с использованием чисел событий, определенных по спектрам $m_{\gamma\gamma}$ и из амплитудного фита
- Гипотезы, почему так происходит: точность описания фона в амплитудном анализе, точность описания фона в спектрах $m_{\gamma\gamma}$, неучёт коррекции разрешения в амплитудном анализе, неучёт (неправильный учёт) ISR в амплитудном анализе и много других вариантов — нужно проверять.

фиты коэффициентов в рамках модели векторной доминантности



Фит коэффициентов

Коэффициенты C_{sig} перед амплитудами промежуточных состояний $\rho(770)\eta$, $a_2(1320)\pi$ пересчитываются в соответствующие s -канальные форм-факторы, которые затем совместно подгоняются во всех энергетических точках в модели векторной доминантности. В s -канале задействованы резонансы $\rho(1450)$, $\rho(1700)$, $\rho(1900)$, $\rho(2140)$.

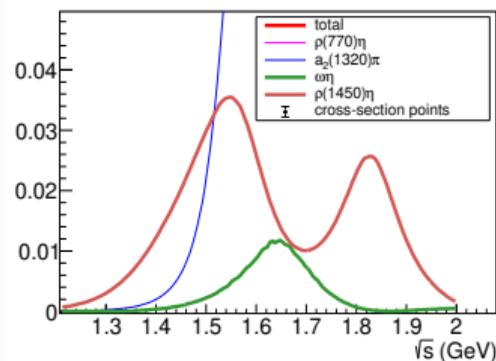
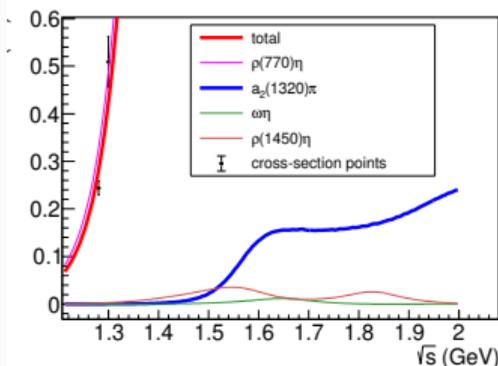
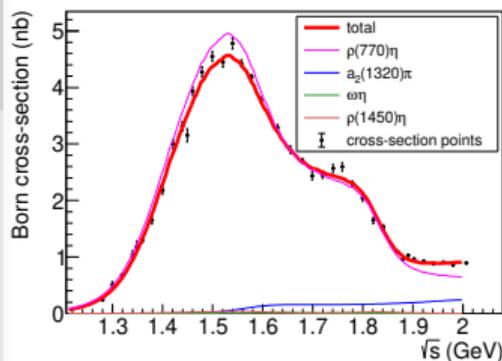
Модельная кривая на графике с экспериментальными точками сечения была восстановлена из фита коэффициентов.

Результаты предварительные. Важная проблема — учёт радиационной поправки.

амплитудный фит совместно во всех энергетических точках (бинах) в рамках модели векторной доминантности (далее: совместный фит)

Совместный амплитудный фит

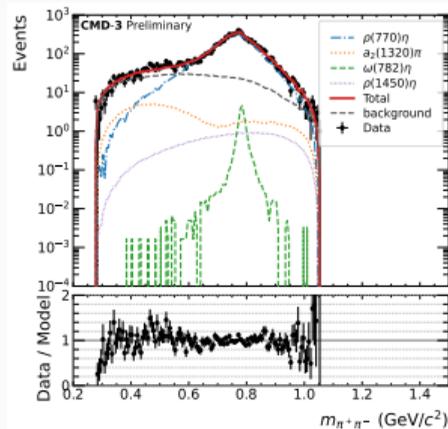
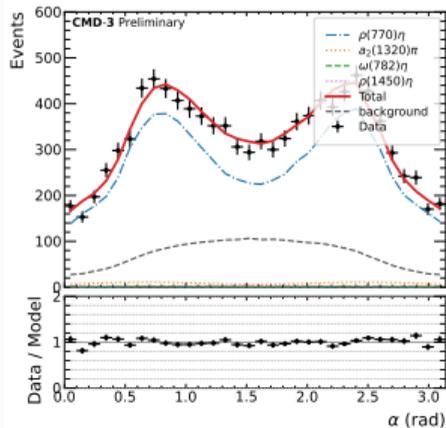
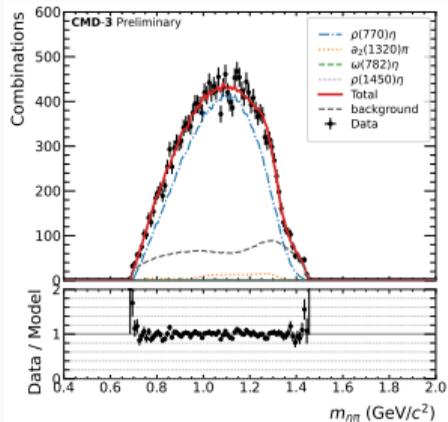
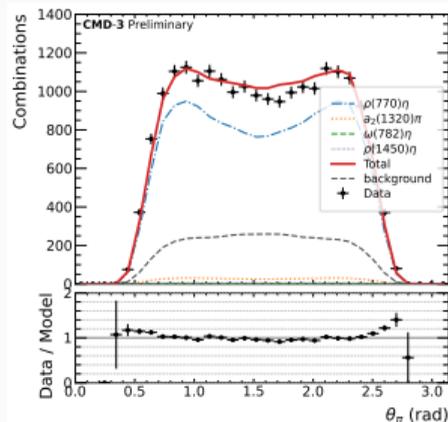
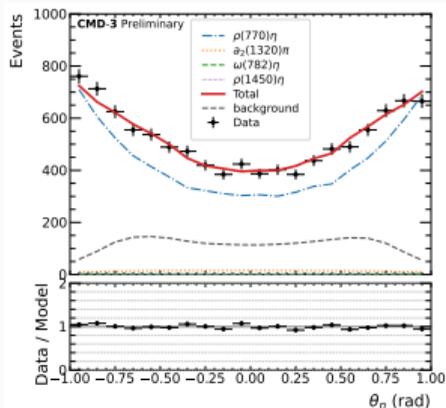
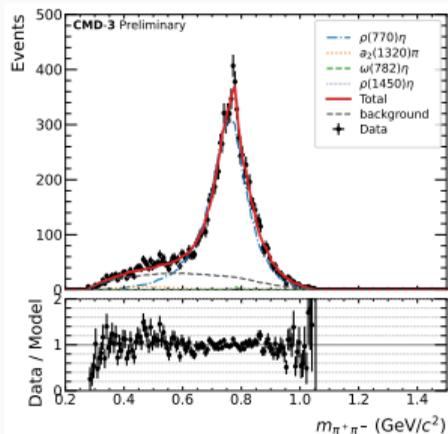
Коэффициенты C_{sig} выражаются через s-канальные форм-факторы промежуточных состояний $\rho(770)\eta$, $a_2(1320)\pi$, $\omega(782)\eta$ и $\rho(1450)\eta$, параметризованные в модели векторной доминантности. Выраженные таким образом коэффициенты C_{sig} , подставляются в функцию максимального правдоподобия. Делается амплитудный фит совместно во всех энергетических точках. По результатам такого амплитудного фита восстанавливается модельная зависимость сечения $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ и парциальных сечений от энергии. Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \omega(782)\eta$ получается заниженным.



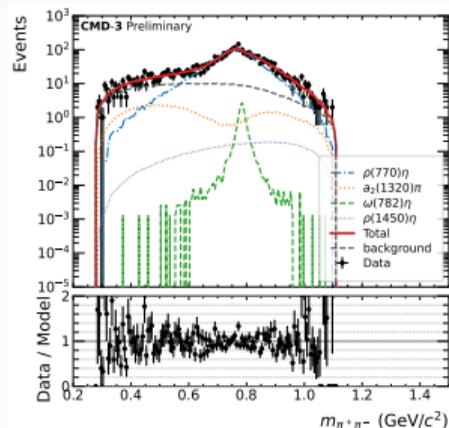
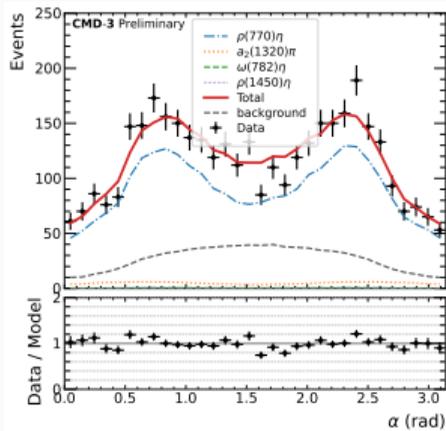
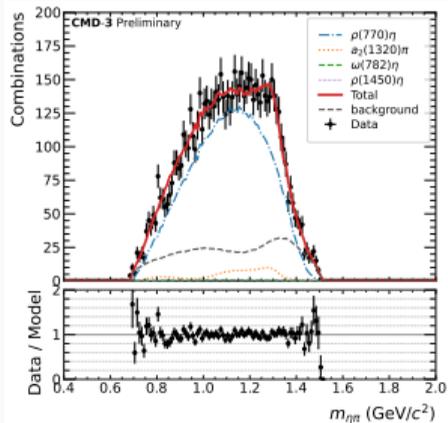
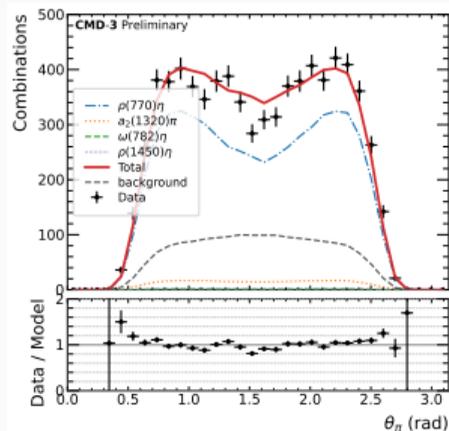
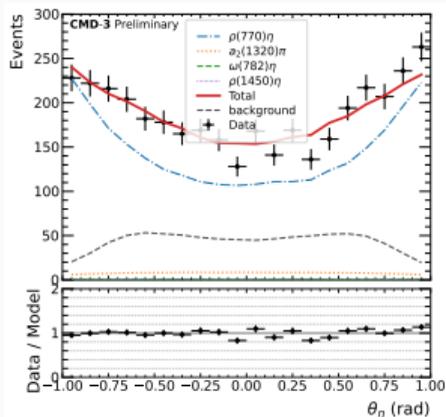
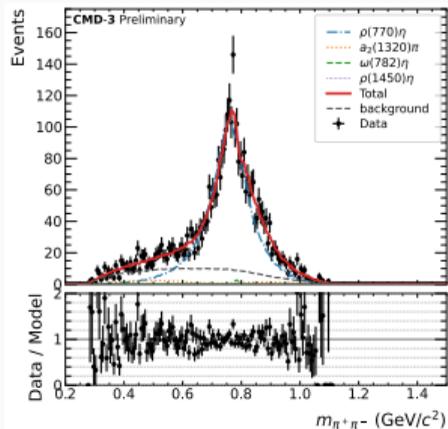
Спектры

Сравнение спектров с результатами совместного амплитудного фита в модели векторной доминантности приведено на следующих слайдах.

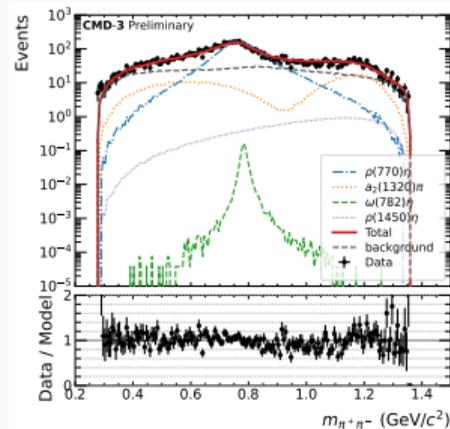
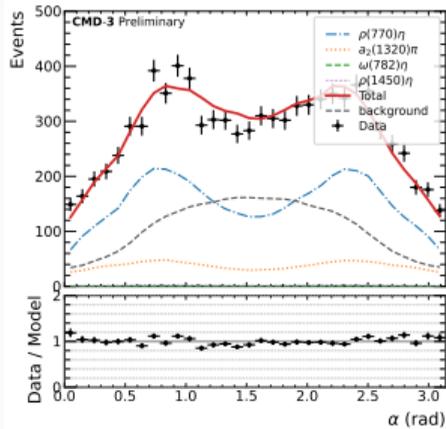
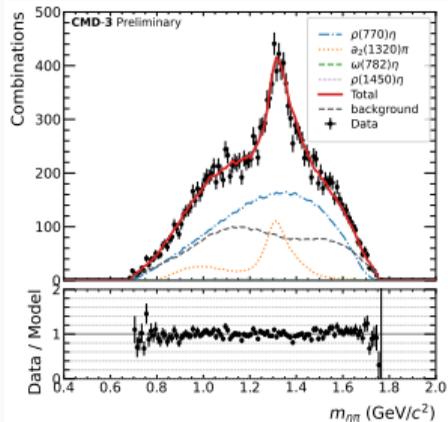
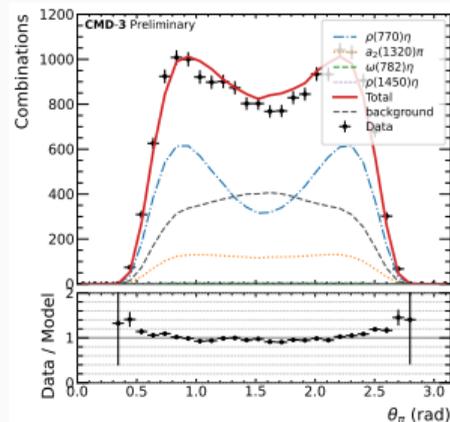
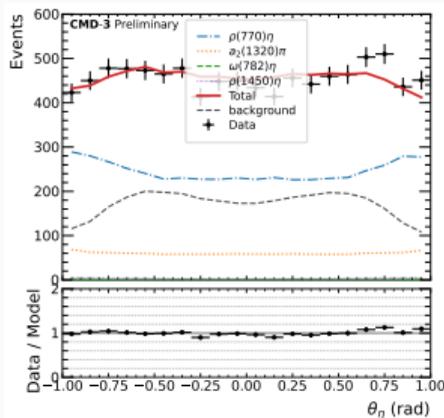
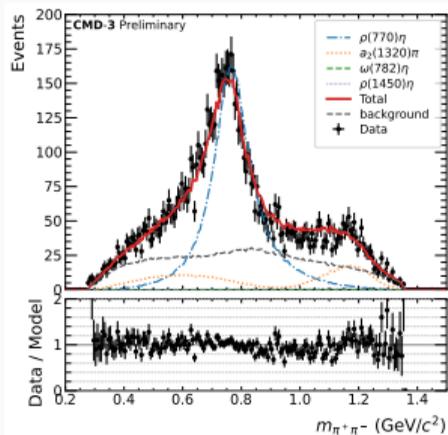
энергетическая группа $\sqrt{s} \approx 1.80$ гэв (совместный фит)



энергетическая группа $\sqrt{s} \approx 1.86$ гэВ (совместный фит)

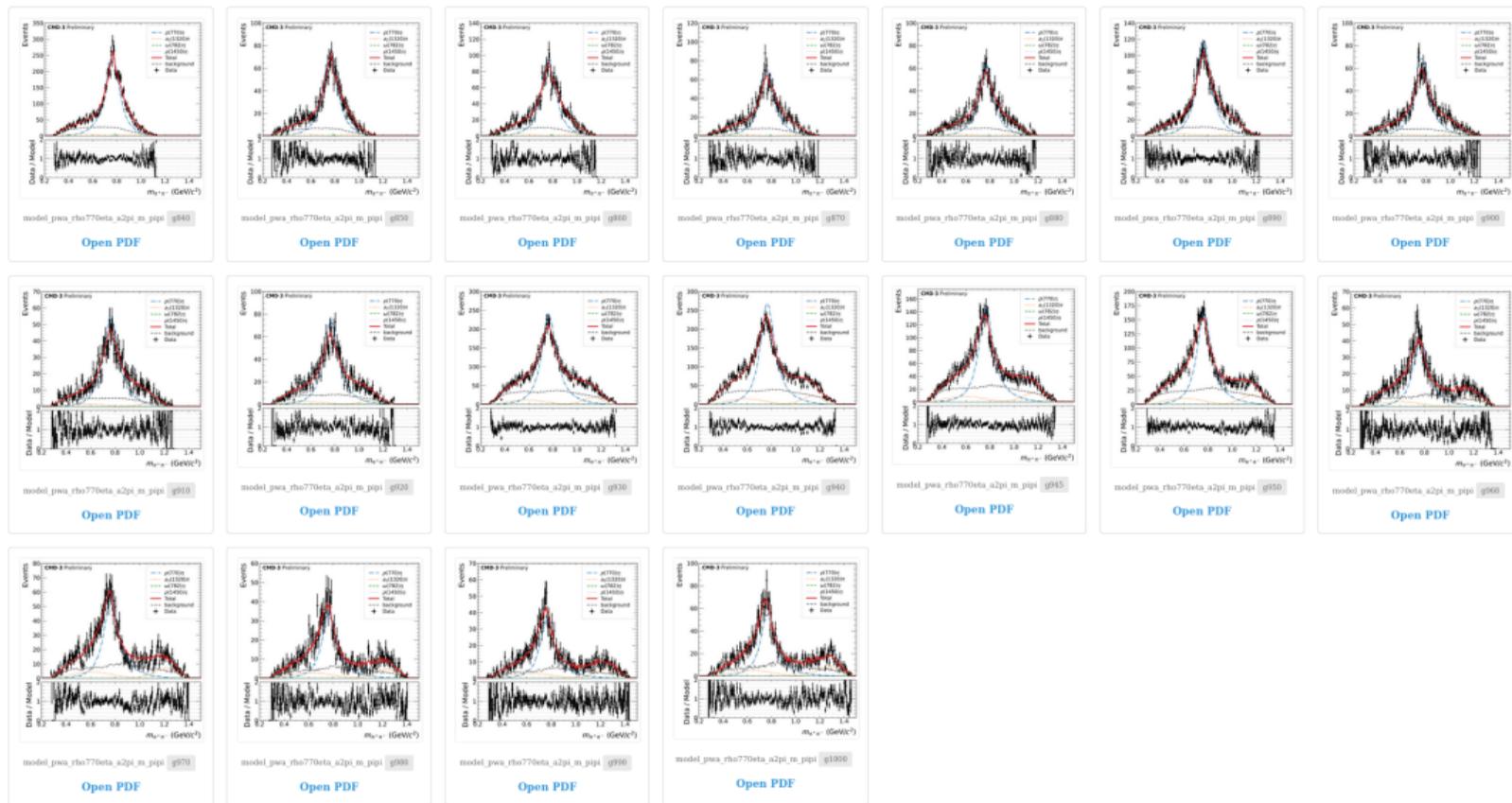


энергетическая группа $\sqrt{s} \approx 1.9$ гэв (совместный фит)

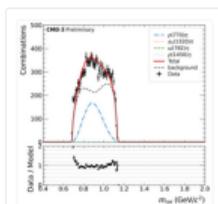


Спасибо за внимание!

$m_{\pi^+\pi^-}$ после совместного фита (часть 2)

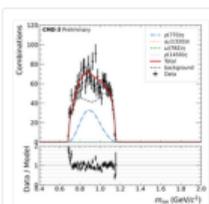


$m_{\eta\pi}$ после совместного фита (часть 1)



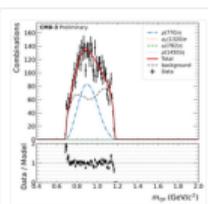
model_g640

[Open PDF](#)



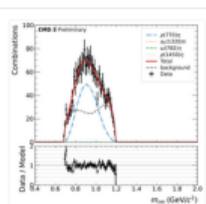
model_g650

[Open PDF](#)



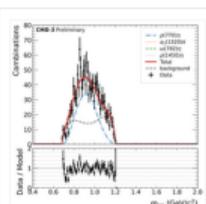
model_g660

[Open PDF](#)



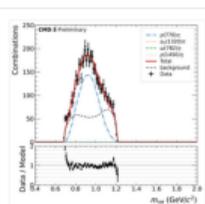
model_g670

[Open PDF](#)



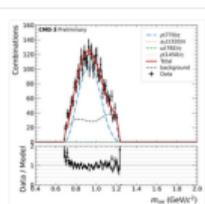
model_g675

[Open PDF](#)



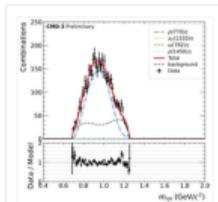
model_g680

[Open PDF](#)



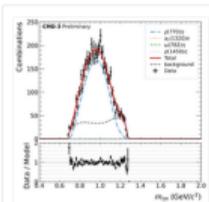
model_g690

[Open PDF](#)



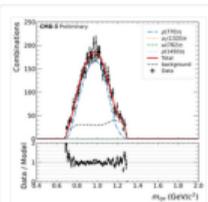
model_g700

[Open PDF](#)



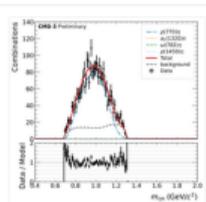
model_g712

[Open PDF](#)



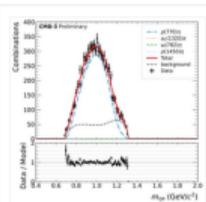
model_g720

[Open PDF](#)



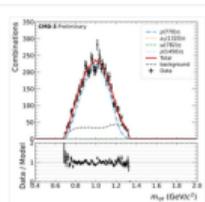
model_g725

[Open PDF](#)



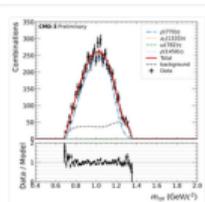
model_g730

[Open PDF](#)



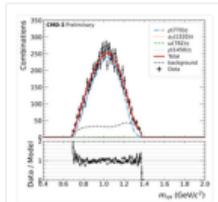
model_g740

[Open PDF](#)



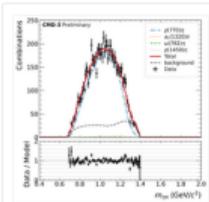
model_g750

[Open PDF](#)



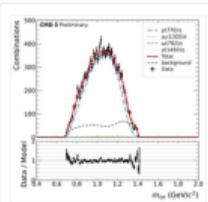
model_g760

[Open PDF](#)



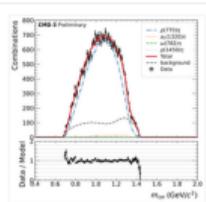
model_g770

[Open PDF](#)



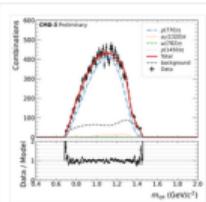
model_g780

[Open PDF](#)



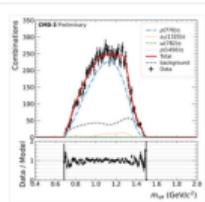
model_g790

[Open PDF](#)



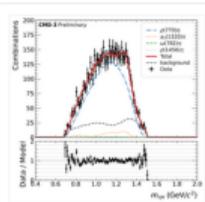
model_g800

[Open PDF](#)



model_g815

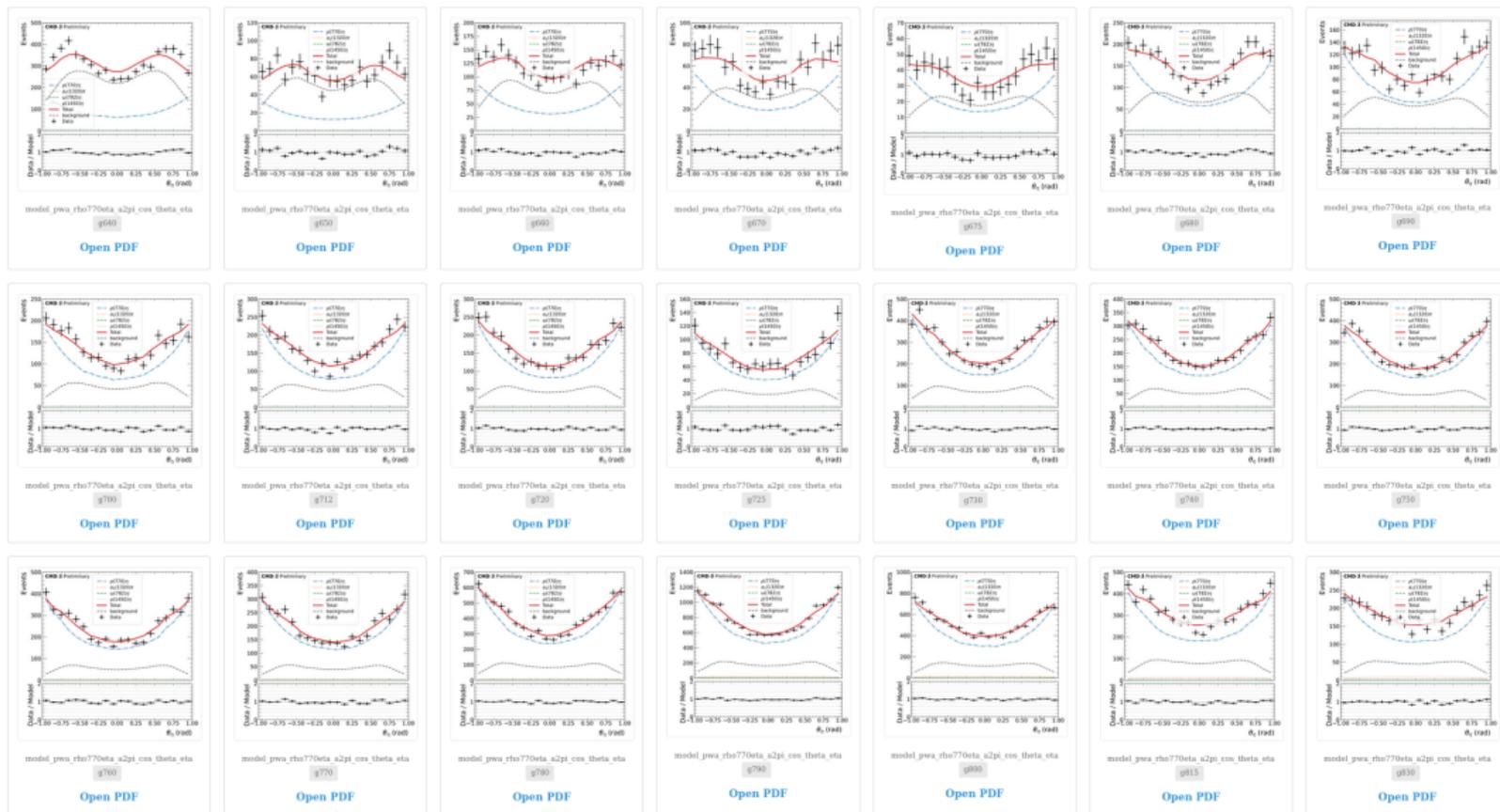
[Open PDF](#)



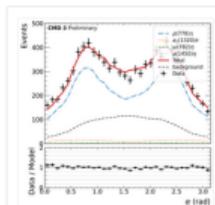
model_g830

[Open PDF](#)

$\cos \theta_\eta$ после совместного фита (часть 1)



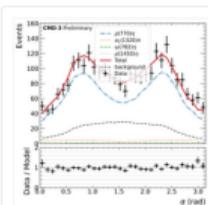
угол между плоскостями ($\vec{p}_{\pi^+}, \vec{p}_{\pi^-}$) и ($\vec{p}_{\eta}, \vec{e}_z$) после совместного фита (часть 2)



model_pwa_rho770eta_s2pi_decay_plane_angle

g840

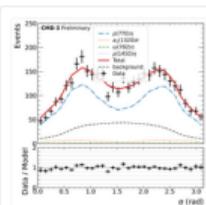
[Open PDF](#)



model_pwa_rho770eta_s2pi_decay_plane_angle

g850

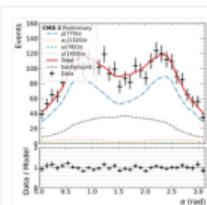
[Open PDF](#)



model_pwa_rho770eta_s2pi_decay_plane_angle

g860

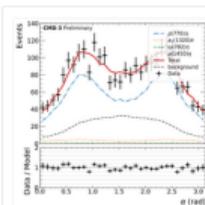
[Open PDF](#)



model_pwa_rho770eta_s2pi_decay_plane_angle

g870

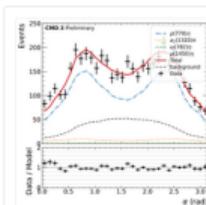
[Open PDF](#)



model_pwa_rho770eta_s2pi_decay_plane_angle

g880

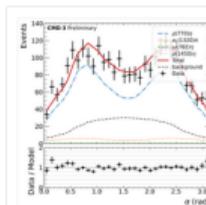
[Open PDF](#)



model_pwa_rho770eta_s2pi_decay_plane_angle

g890

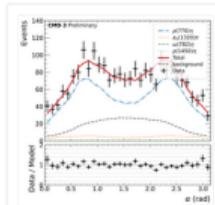
[Open PDF](#)



model_pwa_rho770eta_s2pi_decay_plane_angle

g900

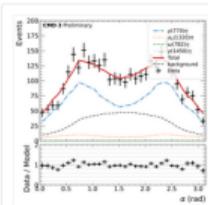
[Open PDF](#)



model_pwa_rho770eta_s2pi_decay_plane_angle

g910

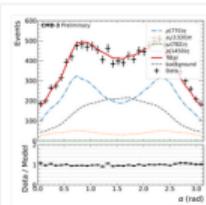
[Open PDF](#)



model_pwa_rho770eta_s2pi_decay_plane_angle

g920

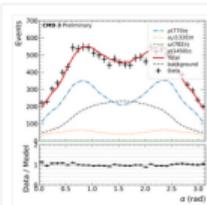
[Open PDF](#)



model_pwa_rho770eta_s2pi_decay_plane_angle

g930

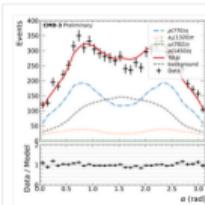
[Open PDF](#)



model_pwa_rho770eta_s2pi_decay_plane_angle

g940

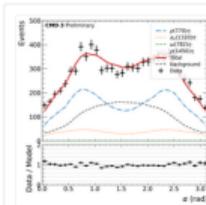
[Open PDF](#)



model_pwa_rho770eta_s2pi_decay_plane_angle

g953

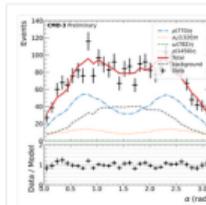
[Open PDF](#)



model_pwa_rho770eta_s2pi_decay_plane_angle

g950

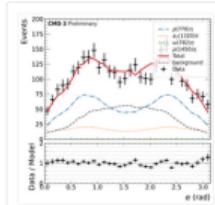
[Open PDF](#)



model_pwa_rho770eta_s2pi_decay_plane_angle

g960

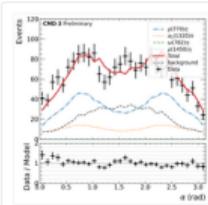
[Open PDF](#)



model_pwa_rho770eta_s2pi_decay_plane_angle

g970

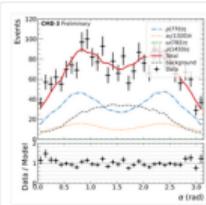
[Open PDF](#)



model_pwa_rho770eta_s2pi_decay_plane_angle

g980

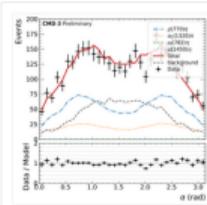
[Open PDF](#)



model_pwa_rho770eta_s2pi_decay_plane_angle

g990

[Open PDF](#)

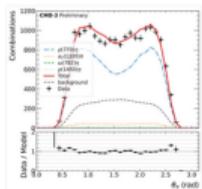


model_pwa_rho770eta_s2pi_decay_plane_angle

g1000

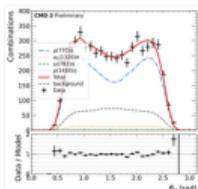
[Open PDF](#)

θ_π после совместного фита (часть 2)



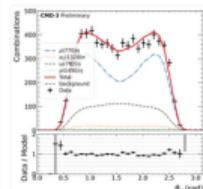
model_pwa_rho770eta_s2pi_theta_pi_g880

[Open PDF](#)



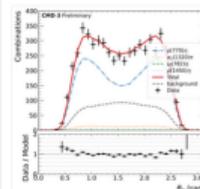
model_pwa_rho770eta_s2pi_theta_pi_g850

[Open PDF](#)



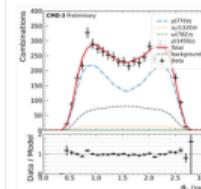
model_pwa_rho770eta_s2pi_theta_pi_g860

[Open PDF](#)



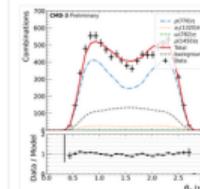
model_pwa_rho770eta_s2pi_theta_pi_g870

[Open PDF](#)



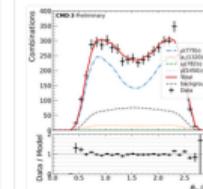
model_pwa_rho770eta_s2pi_theta_pi_g880

[Open PDF](#)



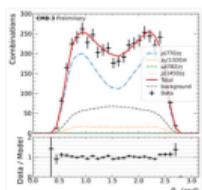
model_pwa_rho770eta_s2pi_theta_pi_g890

[Open PDF](#)



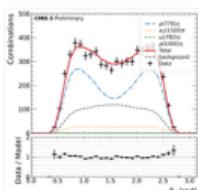
model_pwa_rho770eta_s2pi_theta_pi_g900

[Open PDF](#)



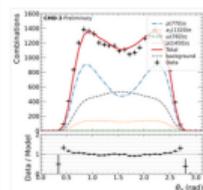
model_pwa_rho770eta_s2pi_theta_pi_g910

[Open PDF](#)



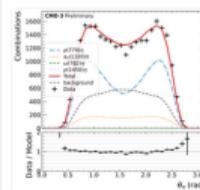
model_pwa_rho770eta_s2pi_theta_pi_g920

[Open PDF](#)



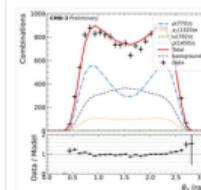
model_pwa_rho770eta_s2pi_theta_pi_g930

[Open PDF](#)



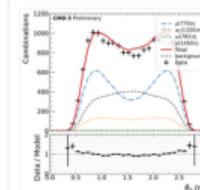
model_pwa_rho770eta_s2pi_theta_pi_g940

[Open PDF](#)



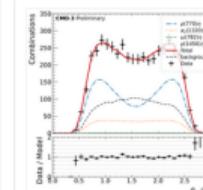
model_pwa_rho770eta_s2pi_theta_pi_g950

[Open PDF](#)



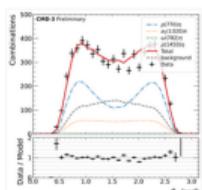
model_pwa_rho770eta_s2pi_theta_pi_g960

[Open PDF](#)



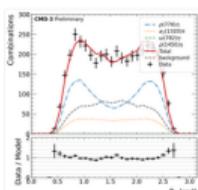
model_pwa_rho770eta_s2pi_theta_pi_g970

[Open PDF](#)



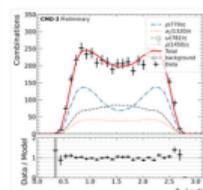
model_pwa_rho770eta_s2pi_theta_pi_g970

[Open PDF](#)



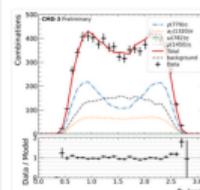
model_pwa_rho770eta_s2pi_theta_pi_g980

[Open PDF](#)



model_pwa_rho770eta_s2pi_theta_pi_g990

[Open PDF](#)



model_pwa_rho770eta_s2pi_theta_pi_g1000

[Open PDF](#)