

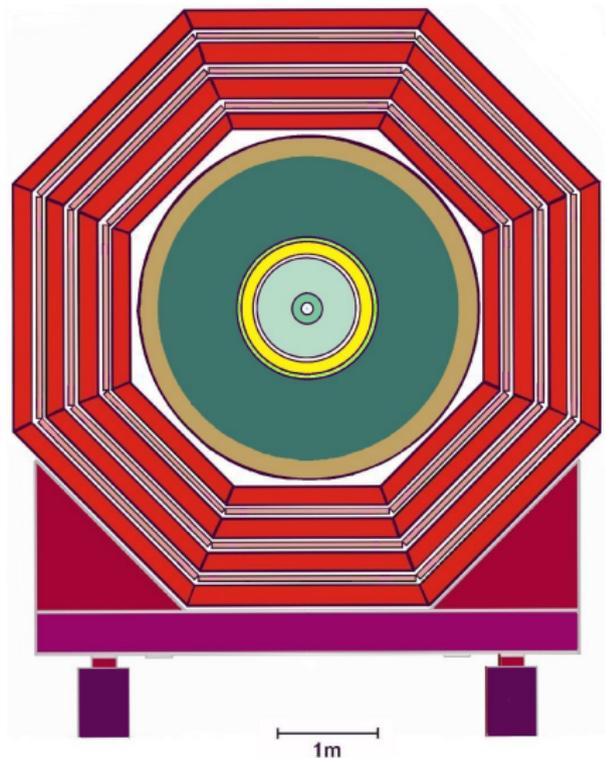
Исследование процессов распадов $J/\psi \rightarrow \rho\eta$ и
 $J/\psi \rightarrow \phi\eta$ на эксперименте с детектором КЕДР

Кыштымов Дмитрий
и коллаборация КЕДР

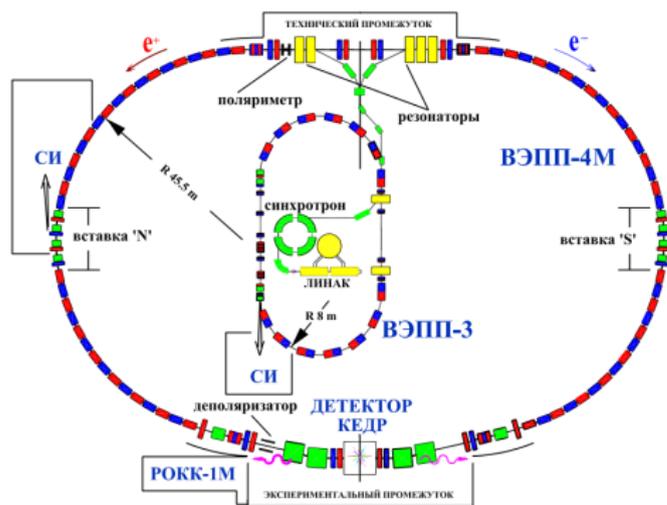
Сессия-конференция секции ядерной физики ОФН РАН
10 — 13 марта 2026

ИЯФ СО РАН, г. Новосибирск
D.A.Kyshtymov@inp.nsk.su

- 1 Детектор КЕДР
- 2 Процесс $J/\psi \rightarrow \rho\eta$
 - Сечение распада
 - Процедура анализа
 - Результаты
 - Оценка неопределённостей
- 3 Процесс $J/\psi \rightarrow \phi\eta$
 - Условия отбора
 - Результаты
 - Оценка неопределённостей
- 4 Заключение

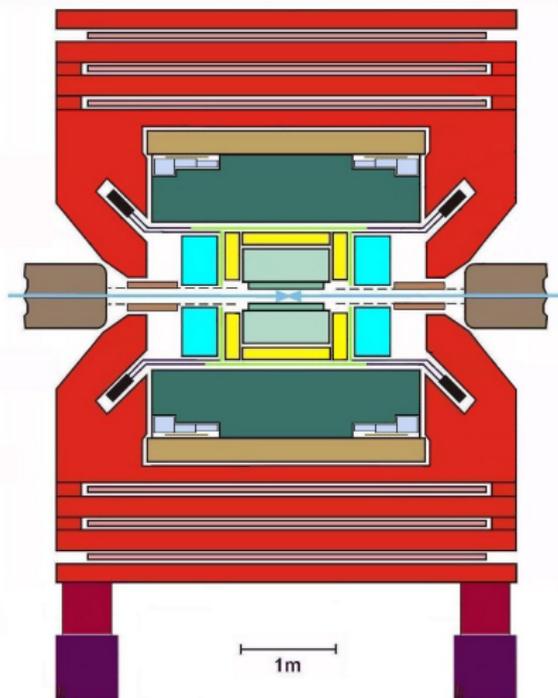


Коллайдер ВЭПП-4М



- Анализ проведён на данных, набранных в 2014 - 2015 годах
- На энергии J/ψ набрано 1.4 пб^{-1} (5 млн. распадов)
- На подложке J/ψ — 0.278 пб^{-1}

- Энергия пучка — $(0.9 \div 5) \text{ ГэВ}$
- Число сгустков — 2×2
- Светимость ($E = 1.8 \text{ ГэВ}$) — $2 \times 10^{30} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$
- Периметр — 366 м
- Частота обращения — 818.9 кГц



Детектор состоит из:

- Вершинный детектор
- Дрейфовая камера
- Аэрогелевые счетчики
- Сцинтилляционные счетчики
- LKr калориметр
- CsI калориметр
- Мюонная система

Процесс $J/\psi \rightarrow \rho\eta$

Процесс $J/\psi \rightarrow \rho\eta$

- Процесс $J/\psi \rightarrow \rho\eta$ измерялся в 1988 и 1990 годах на детекторах MARK-III и DM2 и является доминирующей модой в $J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$
- $J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$ измерялся BaBar при помощи ISR и BES-III

$$\text{MARK-III: } (1.93 \pm 0.13 \pm 0.29) \times 10^{-4}$$

$$\text{DM2: } (1.94 \pm 0.17 \pm 0.29) \times 10^{-4}$$

$$\text{PDG: } (1.93 \pm 0.23) \times 10^{-4}$$

$$J/\psi \rightarrow \rho\eta$$

$$\text{BES-III: } (3.78 \pm 0.68) \times 10^{-4}$$

$$\text{BaBar: } (4.2 \pm 0.8) \times 10^{-4}$$

$$\text{PDG: } (3.8 \pm 0.7) \times 10^{-4}$$

$$J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$$

$$\mathcal{B}(\rho \rightarrow \pi^+\pi^-) \simeq 100\%$$

$$\mathcal{B}(\eta \rightarrow \gamma\gamma) = (39.36 \pm 0.18)\%$$

Дополнительно были пронаблюдены вклады от процессов $\rho(1450)\eta$ и $a_2(1320)^\pm\pi^\mp$

Присутствует значительная интер. с процессом $J/\psi \rightarrow \omega\eta$, несмотря на малую вероятность распада

$$\mathcal{B}(\omega \rightarrow \pi^+\pi^-) = (1.53_{-0.13}^{+0.11})\%$$

В силу большого

$$\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \omega\eta) = (1.74 \pm 0.20) \times 10^{-3}$$

Распад J/ψ мезона на векторную и псевдоскалярную частицы:

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Gamma}\right)_{V+P} \propto \left| \sum_{k=\rho,\omega,\rho(1450)} a_k e^{i\phi_k} \right|^2 =$$

$$\sum_{k=\rho,\omega,\rho(1450)} |a_k|^2 + \sum_{k,j=\rho,\omega,\rho(1450), k \neq j} a_k a_j^* e^{i(\phi_k - \phi_j)}$$

Амплитуда распада:

$$a_\rho = |\mathbf{P}_{\pi^+} \times \mathbf{P}_{\pi^-}| \sin(\theta_n) \frac{m_\rho^2}{q^2 - m_\rho^2 + iq\Gamma_\rho(q^2)}$$

$$\sqrt{\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \rho\eta)\mathcal{B}(\rho \rightarrow \pi\pi)}$$

Ширина распада:

$$\Gamma_\rho(q^2) = \Gamma_\rho \left(\frac{p_\pi(q^2)}{p_\pi(m_\rho^2)} \right)^3 \left(\frac{m_\rho^2}{q^2} \right)$$

Интерференционные слагаемые можно переписать следующим образом:

$$a_k a_j^* e^{-i\phi} + a_k^* a_j e^{i\phi} \propto A^{c+} \cos(\phi) - B^{c-} \cos(\phi) + C^{s+} \sin(\phi) - D^{s-} \sin(\phi)$$

Каждый вклад в сечение моделируется отдельно

Также необходимо учесть распад J/ψ мезона на тензорную и псевдоскалярную частицы, который моделируется методом спиральных амплитуд без интерференционных эффектов

Полное сечение:

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Gamma}\right)_{\pi^+\pi^-\eta} = \left(\frac{d\sigma}{d\Gamma}\right)_{V+P} + \left(\frac{d\sigma}{d\Gamma}\right)_{T+P}$$

Подгонка осуществлялась при помощи максимизации функции

$$L_{\pi^+\pi^-\eta}$$

$$L_{\pi^+\pi^-\eta} = -2 \sum_{j,l} \left(N_{exp}[j, l] - N_{obs}[j, l] + N_{obs}[j, l] \ln \frac{N_{obs}[j, l]}{N_{exp}[j, l]} \right)$$

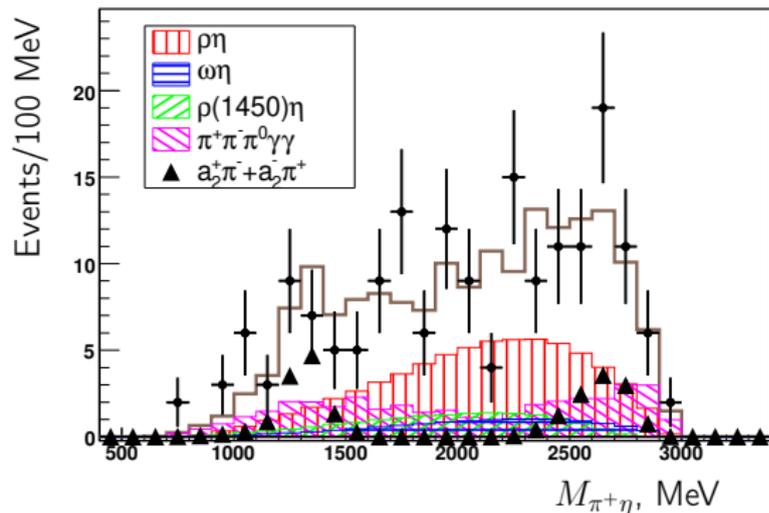
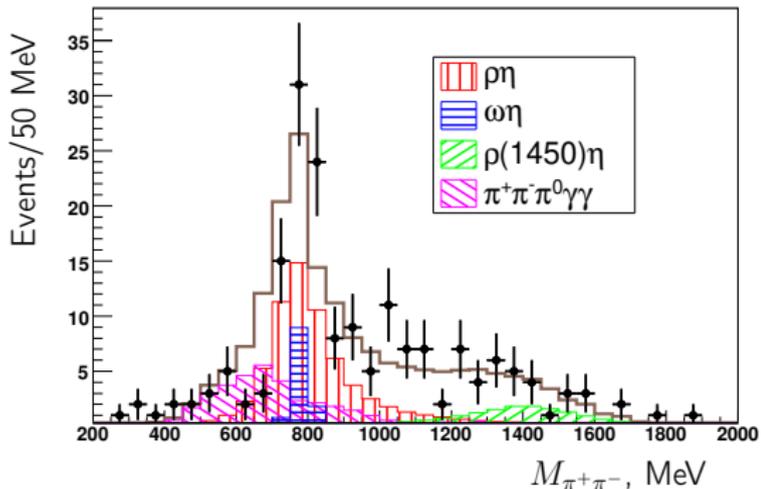
- 1 $\chi_{\pi^+\pi^-\eta}^2 < 70$
- 2 $\chi_{\pi^+\pi^-\eta}^2 < \chi_{K^+K^-\eta}^2$, для разделения π/K событий
- 3 $0.4 < \cos(\theta_{\gamma\gamma})$, подавляет фон от $\rho\pi$
- 4 $500 \text{ МэВ} < M_{\gamma\gamma} < 600 \text{ МэВ}$, $M_{\gamma\gamma}$ — инвариантная масса двух свободных фотонов
- 5 $N_{cl} < 3$ подавляет фон от $\pi^+\pi^-\pi^0\gamma\gamma$

Эффективность отбора $\sim 17\%$



Проекция на инвариантную
массу двух пионов с учетом
интерференции

Вероятность согласия по
Колмогорову ~ 0.43



Проекция на инвариантную
массу пионов и η мезона
Вероятность согласия по
Колмогорову ~ 1

Результаты измерения бранчингов:

- 1 $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta) = (4.73 \pm 0.49 \pm 1.17) \times 10^{-4}$
- 2 $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \rho \eta) = (2.04 \pm 0.58 \pm 0.39) \times 10^{-4}$
- 3 $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow a_2^\pm \pi^\mp) < 1.69 \times 10^{-3}$, CL 90%
- 4 $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \rho(1450) \eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta) < 1.32 \pm \times 10^{-4}$, CL 90%

Результаты измерения фаз:

- 1 $\phi_{\rho-\omega} = (88.4 \pm 2.5 \pm 3.1)^\circ$
- 2 $\phi_{\rho-\rho(1450)} = (148.6 \pm 44.3 \pm 41.0)^\circ$

Оценка неопределённостей в $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \rho\eta)$, условия отбора

Критерий	Отбор	Вариация	Вариация $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \rho\eta)$, %
$\chi_{\pi^+\pi^-\eta}^2$	$\chi_{\pi^+\pi^-\eta}^2 < 70$	$\chi_{\pi^+\pi^-\eta}^2 < 90$	4.6
$\chi_{K^+K^-\eta}^2$	$\chi_{\pi^+\pi^-\eta}^2 < \chi_{K^+K^-\eta}^2$	$\chi_{\pi^+\pi^-\eta}^2 < 0.8\chi_{K^+K^-\eta}^2$	пренебр.
$\cos(\theta_{\gamma\gamma})$	$0.4 < \cos(\theta_{\gamma\gamma})$	$0.5 < \cos(\theta_{\gamma\gamma})$	1.6
$M_{\gamma\gamma}$	$500 < M_{\gamma\gamma} < 600$	$470 < M_{\gamma\gamma} < 630$	8.5
Квадратичная сумма			9.8

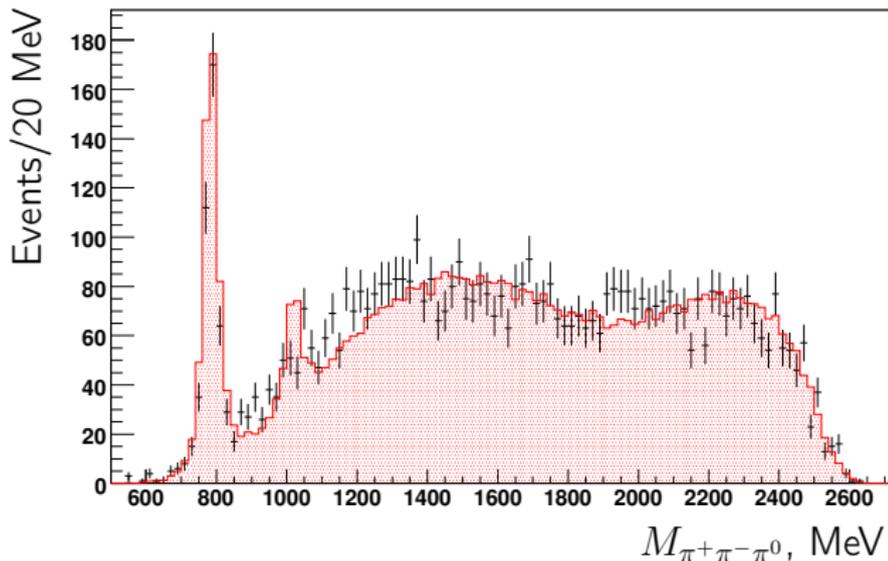
Вариация условий отбора для процесса $\rho\eta$

Оценка неопределённостей в $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \rho\eta)$

- Не резонансный распад $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$ был оценен варьированием сечения на величину ошибки в результате ВаВар. Неопределённость от нерез. распада была оценена путём сравнения результата подгонки от двух моделирований (0.9%)
- Вклады от интерференционных свойства a_2 оценивается на уровне 10.7%, а вклад от числа фотонов на уровне 10.5%
- Систематическая неопределённость, связанная с физическим фоном, была оценена при помощи дополнительного учёта в подгонке событий от $K^+K^-\eta$, $\rho\pi$, $K\pi K_s$, $K\pi K$, $K_s\pi^0 K_s$. Итоговая неопределённость составляет 4.7%

Моделирование процесса $\pi^+\pi^-\pi^0\gamma\gamma$

Моделирование доминирующего фона осуществлялось методом спиральных амплитуд из $\omega\eta$, $\phi\eta$, $a_2\rho$ и нерезонансных распадов. Веса между амплитудами подгонялись для соответствия инвариантной массы трёх пионов



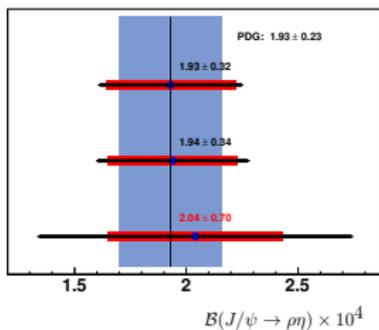
Оценка систематической неопределённости составляет 2.7%. Она была найдена из вариаций весов в пределах относительной неопределённости в измерении бранчингов из PDG

Оценка неопределённостей в $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \rho\eta)$

MARK-III, 1988

DM2, 1990

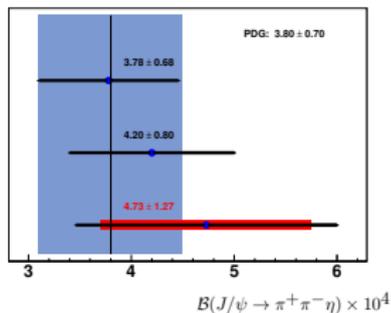
KEDR, 2025



BES-III, 2019

BaBar, 2018

KEDR, 2025

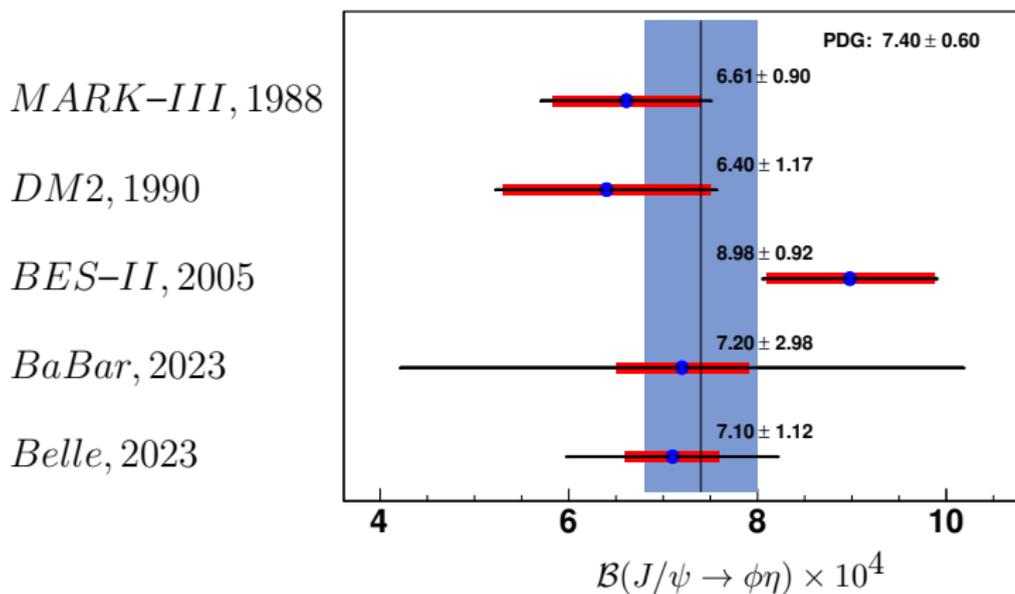


Источник	Неопр., %
Отклик детектора	3.1
Ядер. вз.	1.4
$N_{J/\psi}$	1.1
m_ρ и Γ_ρ	0.8
$\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \omega\eta)$	2.6
$\mathcal{B}(\eta \rightarrow \gamma\gamma)$	0.5
$\epsilon_{\rho\eta}$	0.3
$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$	0.9
$J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\gamma\gamma$	2.7
Физический фон	4.7
N_{ph}	10.5
Интер. $a_2\pi$	10.7
Условия отбора	9.8
Сумма	19.3

Процесс $J/\psi \rightarrow \phi\eta$

Процесс $J/\psi \rightarrow \phi\eta$

- $J/\psi \rightarrow \phi\eta$ измерялся Belle и BaBar при помощи ISR в 2023, BES-II в 2005, DM2 в 1990 и MARK-III в 1988



PDG: $(7.4 \pm 0.6) \times 10^{-4}$
 $J/\psi \rightarrow \phi\eta$

$\mathcal{B}(\phi \rightarrow K^+K^-) = (49.1 \pm 0.5)\%$
 $\mathcal{B}(\eta \rightarrow \gamma\gamma) = (39.36 \pm 0.18)\%$

Моделирование процесса:

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Gamma}\right)_{K^+K^-\eta} = \left(\frac{d\sigma}{d\Gamma}\right)_{\phi\eta} + \left(\frac{d\sigma}{d\Gamma}\right)_{\text{non-res}}$$

$$N_{exp}[j] = p_6 H_{\phi\eta}[j] + p_7 H_{\text{non-res}}[j]$$

1 $\chi^2_{K^+K^-\eta} < 70$

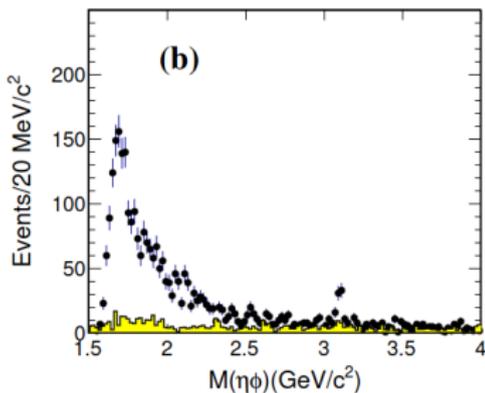
2 $\chi^2_{K^+K^-\eta} < \chi^2_{\pi^+\pi^-\eta}$

3 $500 \text{ МэВ} < M_{\gamma\gamma} < 600 \text{ МэВ}$

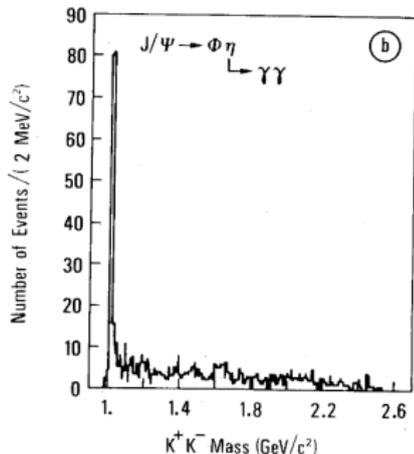
4 $N_{cl} < 3$

5 $M_{K^+K^-} < 1090 \text{ МэВ}$

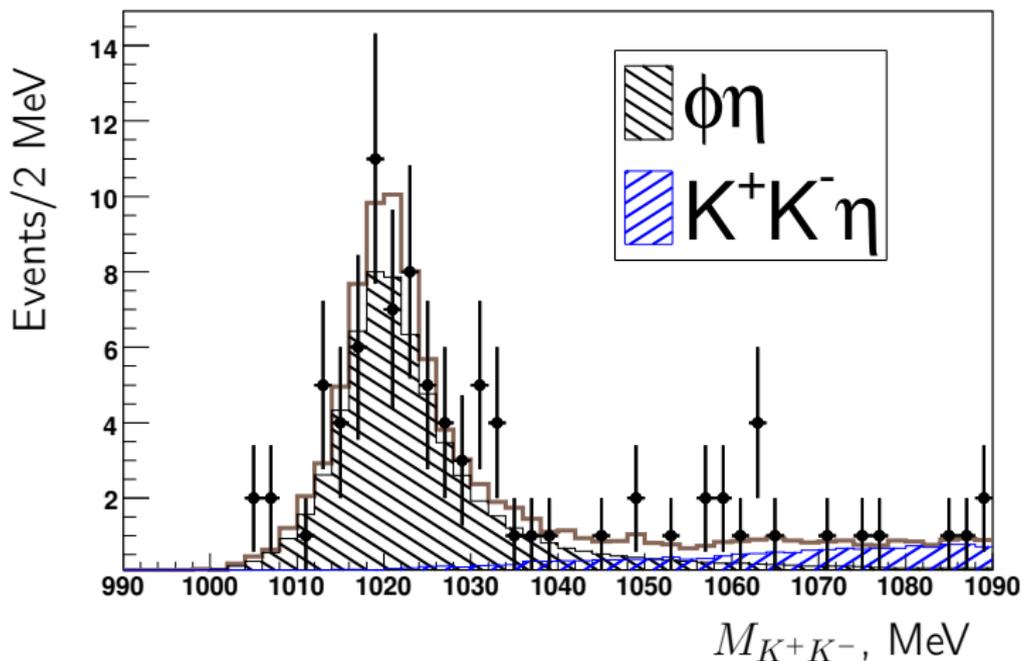
$$\varepsilon_{\phi\eta} \approx 9\%$$



Масса $\phi\eta$ в измерении Belle в
моду $\eta \rightarrow \gamma\gamma$



Масса ϕ в измерении DM2



Подгонка инвариантной массы двух каонов
 $L_{K^+K^-\eta}/n.d.o.f. = 46/50$, Вероятность согласия по
 Колмогорову ~ 1

Оценка неопределённостей в $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \phi\eta)$, условия отбора

Критерий	Отбор	Вариация	Вариация $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \phi\eta)$, %
$\chi_{K^+K^-\eta}^2$	$\chi_{K^+K^-\eta}^2 < 70$	$\chi_{K^+K^-\eta}^2 < 90$	0.7
$\chi_{\pi^+\pi^-\eta}^2$	$\chi_{K^+K^-\eta}^2 < \chi_{\pi^+\pi^-\eta}^2$	$\chi_{K^+K^-\eta}^2 < 0.8\chi_{\pi^+\pi^-\eta}^2$	0.5
$M_{\gamma\gamma}$	$500 < M_{\gamma\gamma} < 600$	$470 < M_{\gamma\gamma} < 630$	0.1
$M_{K^+K^-}$	$M_{K^+K^-} < 1090$	$M_{K^+K^-} < 1190$	3.4
Квадратичная сумма			3.5

Вариация условий отбора для процесса $\phi\eta$

Оценка неопределённостей в $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \phi\eta)$

- Неопределённость от отклика детектора аналогична процессу $\rho\eta$ и составляет 3.1%. Вклады от m_ϕ и Γ_ϕ — 0.6%
- Вклад от ядерного взаимодействия (2.0%) оценивался масштабированием сечения ядерного взаимодействия в LKr калориметре в пакете GHEISHA на 20%
- Не резонансный распад $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$ был оценен сравнением результата подгонки с использованием альтернативного моделирования по фазовому объёму. Неопределённость от нерез. распада была оценена путём сравнения результата подгонки от двух моделирований (4.3%)
- Вклад от фиксированного числа фотонов составил 2.7%
- Для оценки физического фона (0.2%) были учтены в подгонке вклады от $\pi^+\pi^-\eta$, $K\pi K_s$, $K_s\pi^0 K_s$, $K^+K^-\pi^0\pi^0$, $\omega\pi^0$

Оценка неопределённостей в $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \phi\eta)$

$$\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \phi\eta) = (7.82 \pm 1.17 \pm 0.58) \times 10^{-4}$$

MARK-III, 1988

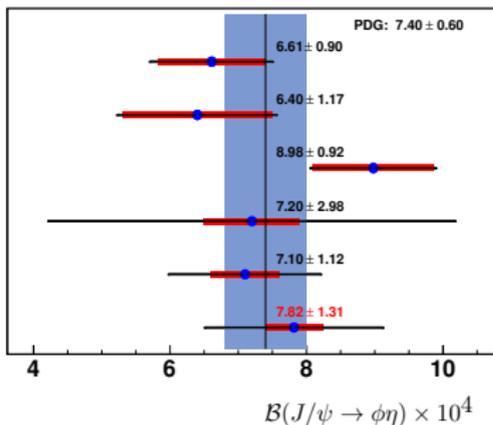
DM2, 1990

BES-II, 2005

BaBar, 2023

Belle, 2023

KEDR, 2025



Источник	Неопр., %
Отклик детектора	3.1
Ядер. вз.	2.0
$N_{J/\psi}$	1.1
$K^+K^-\eta$	4.3
m_ϕ и Γ_ϕ	0.6
$\mathcal{B}(\eta \rightarrow \gamma\gamma)$	0.5
$\mathcal{B}(\phi \rightarrow K^+K^-)$	1.0
$\epsilon_{\phi\eta}$	0.5
Физический фон	0.2
N_{ph}	2.7
Условия отбора	3.5
Сумма	7.4

- В результате работы:
 - Измерены бранчинги для $J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$, $J/\psi \rightarrow \rho\eta$ и $J/\psi \rightarrow \phi\eta$, результаты которых сопоставимы с предыдущими измерениями
 - Были обнаружены указания на наличие распадов $J/\psi \rightarrow \rho(1450)\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$ и $J/\psi \rightarrow a_2^\pm(1320)\pi^\mp$
 - Измерены фазы интерференций между $\rho - \omega$ и $\rho - \rho(1450)$
- Значения бранчингов:
 - $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \rho\eta) = (2.04 \pm 0.58 \pm 0.39) \times 10^{-4}$
 - $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\eta) = (4.73 \pm 0.49 \pm 1.17) \times 10^{-4}$
 - $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \phi\eta) = (7.82 \pm 1.17 \pm 0.58) \times 10^{-4}$
 - $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \rho(1450)\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\eta) < 1.32 \pm \times 10^{-4}$
 - $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow a_2^\pm(1320)\pi^\mp) < 1.69 \times 10^{-3}$

Благодарю за внимание!

Дополнительные материалы

Анализ осуществляется подгонкой двухмерной гистограммы

$M_{\pi+\eta}$ и $M_{\pi-\eta}$, где ожидаемое число событий в бине j, l :

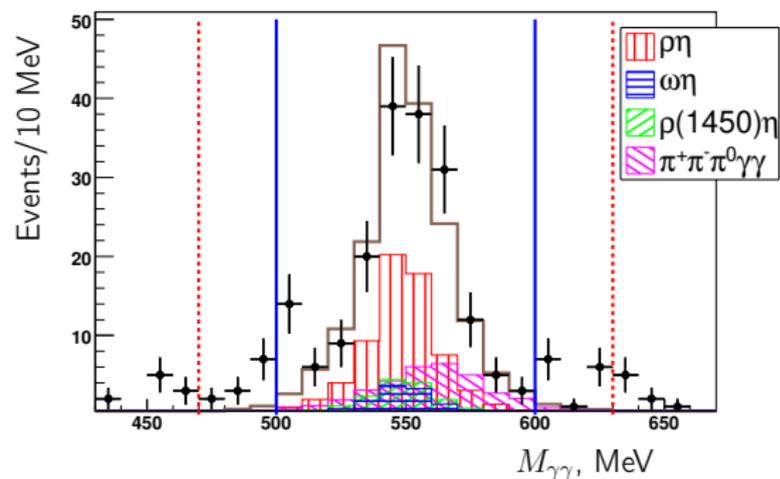
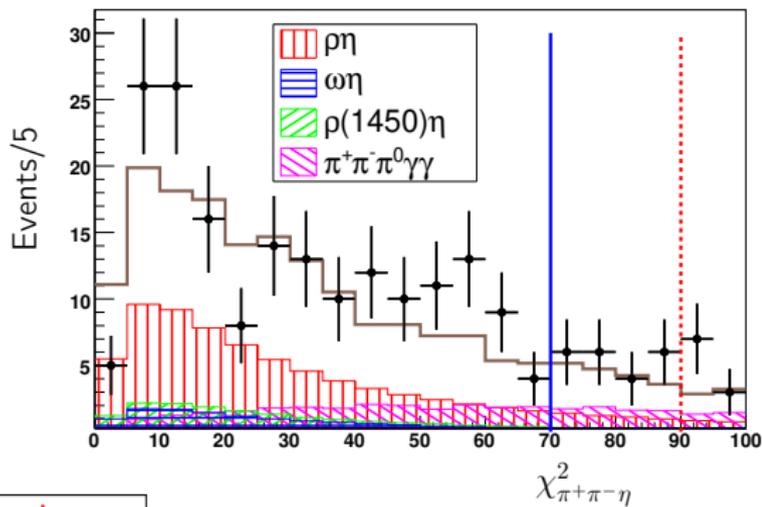
$$N_{exp}[j, l] = \left(p_1 H_{\rho\eta}[j, l] + p_2 H_{\omega\eta}[j, l] + p_3 H_{\rho(1450)\eta}[j, l] + \sqrt{p_1 p_2} \left[(H_{\rho\eta, \omega\eta}^{c+}[j, l] - H_{\rho\eta, \omega\eta}^{c-}[j, l]) \cos(\phi_1) + (H_{\rho\eta, \omega\eta}^{s+}[j, l] - H_{\rho\eta, \omega\eta}^{s-}[j, l]) \sin(\phi_1) \right] + \dots + p_4 H_{a_2^{\pm}(1320)\pi^{\mp}}[j, l] + p_5 H_{\pi+\pi-\pi^0\gamma\gamma}[j, l] + p_6 H_{cont}[j, l] \right)$$

Гистограммы $H_k[j, l]$ — распределение отобранных событий при моделировании соответствующего вклада в сечение, p_m и ϕ_i — свободные параметры

Распределение $\chi^2_{\pi^+\pi^-\eta}$
кинематической реконструкции

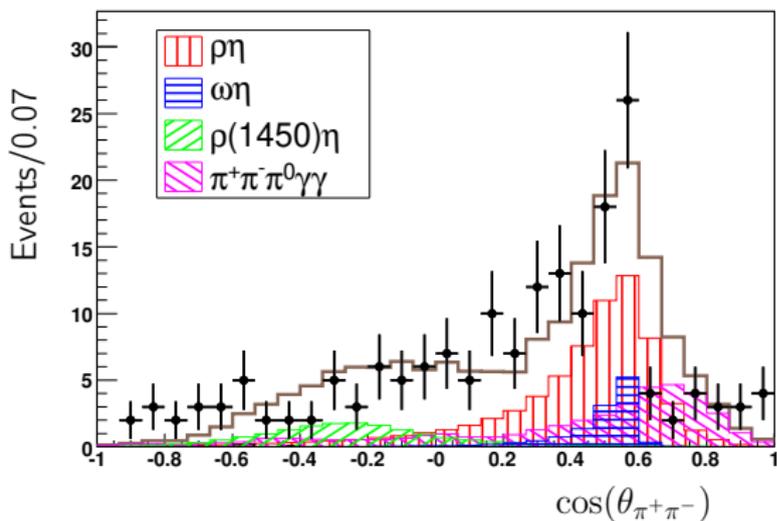
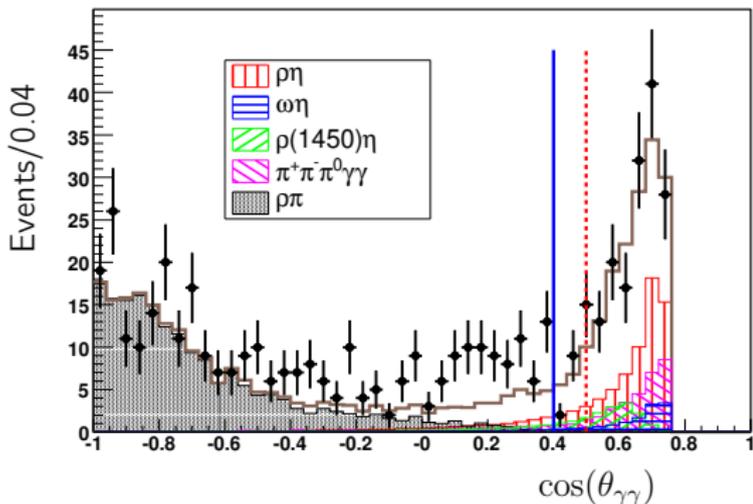


Вероятность согласия по
Колмогорову — 0.74



⇐ Инвариантная масса двух
свободных фотонов
Вероятность согласия по
Колмогорову — 0.50

Косинус угла между двумя
фотонами \Rightarrow
Вероятность согласия по
Колмогорову ~ 1

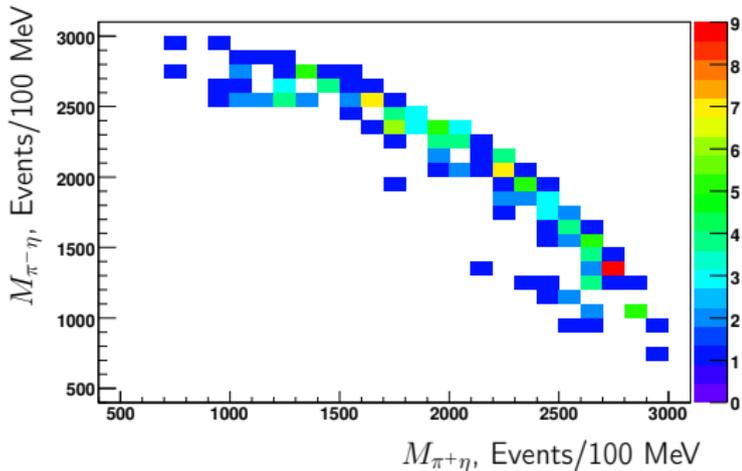


\Leftarrow Косинус угла между двумя
пионами
Вероятность согласия по
Колмогорову — 0.67

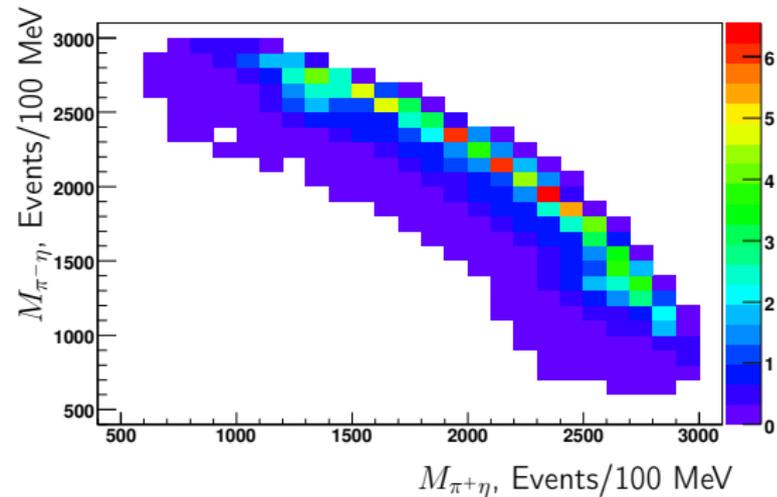


Результаты на эксперименте

$$L_{\pi^+\pi^-\eta}/n.d.o.f. = 207/227$$



$M_{\pi^+\eta}$, Events/100 MeV



$M_{\pi^+\eta}$, Events/100 MeV

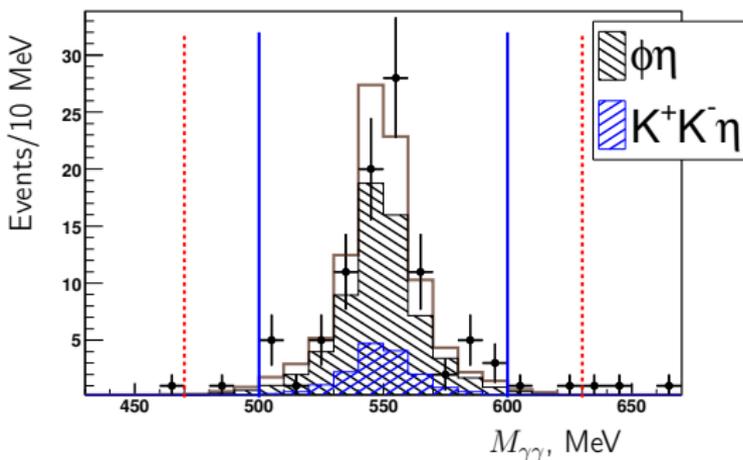
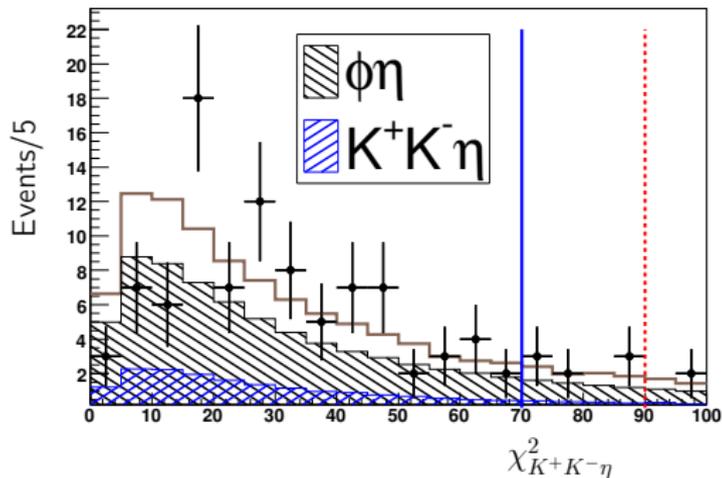


Результаты на
моделировании

Оценка неопределённостей в $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \rho\eta)$

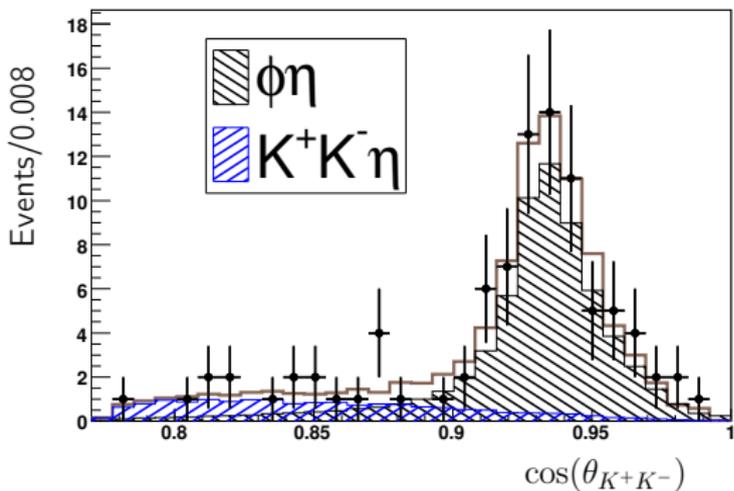
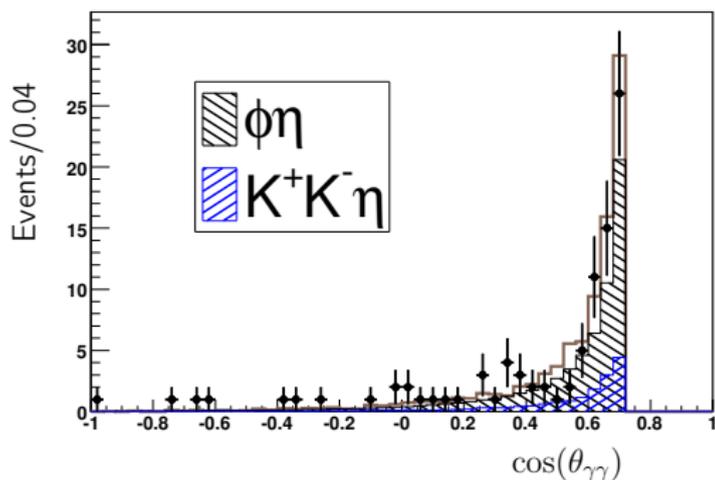
- Вклад неопределённости от потери трека составляет 0.5%, от потери фотона — 0.2%
- Для оценки вклада от p/θ (3%) использовались различные алгоритмы воспроизведения пространственного разрешения при реконструкции траекторий на моделировании
- Вклады от m_ρ и Γ_ρ — 0.8%, оценивались из моделирования при варьировании массы и ширины ρ мезона на ошибку измерения из PDG
- Вклад от ядерного взаимодействия (1.4%) оценивался путём сравнения моделирования в пакетах FLUKA и GHEISHA

Распределение $\chi^2_{K^+K^-\eta} \Rightarrow$
 кинематической реконструкции
 Вероятность согласия по
 Колмогорову — 0.21



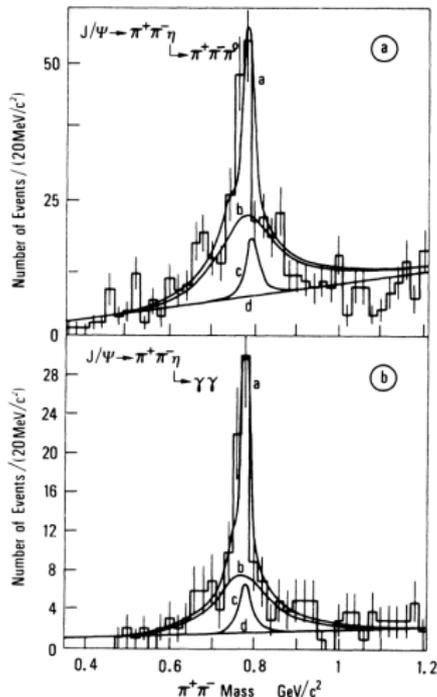
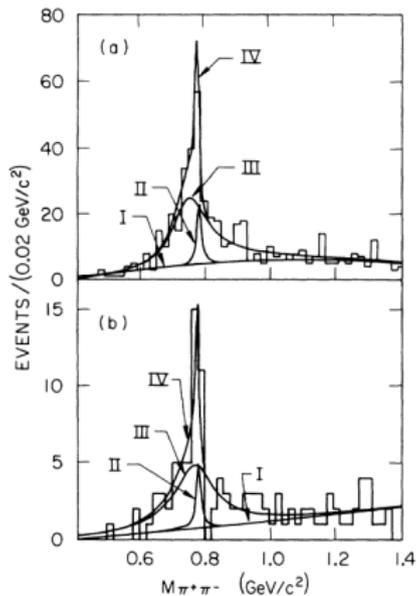
\Leftarrow Инвариантная масса двух
 фотонов
 Вероятность согласия по
 Колмогорову — 0.87

Косинус угла между двумя фотонами \Rightarrow
Вероятность согласия по Колмогорову — 0.61



\Leftarrow Косинус угла между двумя каонами
Вероятность согласия по Колмогорову ~ 1

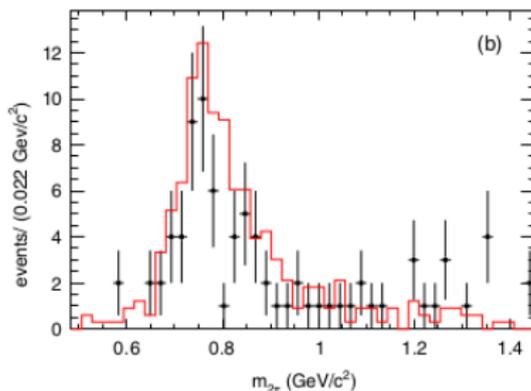
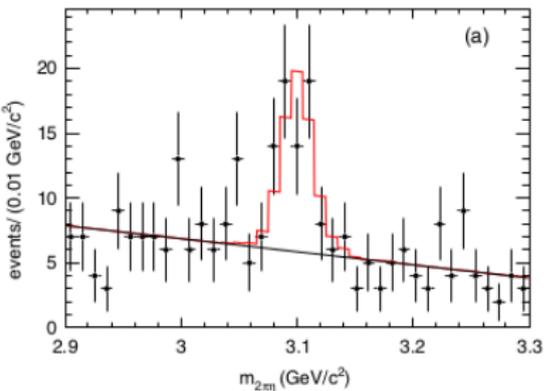
Процесс $J/\psi \rightarrow \rho\eta$. MARK-III и DM2



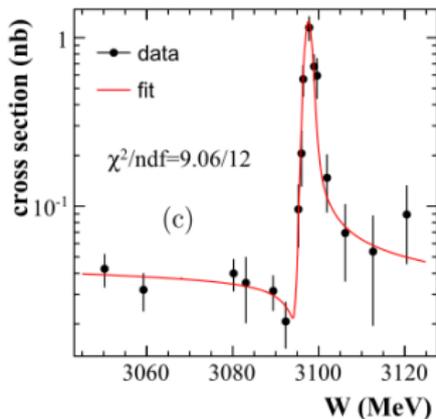
$$F(m_{\pi^+\pi^-}) = |A_\rho(m_{\pi^+\pi^-}) + A_\omega(m_{\pi^+\pi^-})e^{i\phi}|^2 + \text{linear background} .$$

$$A_V(m_{\pi^+\pi^-}) = \sqrt{N_V} F_{\text{BW}_V}(m_{\pi^+\pi^-}) \quad (V \equiv \omega, \rho)$$

$J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$. BaBar и BES-III



← BaBar



$$\sigma^0(W) = \left(\frac{\mathcal{A}}{W^2} \right)^2 \frac{4\pi\alpha^2}{W^2} \times \left| 1 + \frac{3W^2 \sqrt{\Gamma_{ee}\Gamma_{\mu\mu}} C_1 e^{i\Phi_{\gamma,\text{cont}}} (1 + C_2 e^{i\Phi})}{\alpha M(W^2 - M^2 + iM\Gamma)} \right|^2$$

$\Phi = 0^\circ$ фиксирован

BES-III ⇒

Интерференционные слагаемые: $a_\rho a_\omega^* e^{-i\phi} + a_\rho^* a_\omega e^{i\phi} =$

$$= \frac{\sqrt{\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \rho\eta)\mathcal{B}(\rho \rightarrow \pi^+\pi^-)}\sqrt{\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \omega\eta)\mathcal{B}(\omega \rightarrow \pi^+\pi^-)}}{((q^2 - m_\rho^2)^2 + q^2\Gamma_\rho^2(q^2))((q^2 - m_\omega^2)^2 + q^2\Gamma_\omega^2(q^2))} \times$$

$$\times 2|\mathbf{P}_{\pi^+} \times \mathbf{P}_{\pi^-}|^2 \sin^2(\theta_n) m_\rho^2 m_\omega^2 \times \left[(q^4 + m_\rho^2 m_\omega^2 + \right.$$

$$q^2\Gamma_\rho(q^2)\Gamma_\omega(q^2))\cos(\phi) - q^2(m_\rho^2 + m_\omega^2)\cos(\phi) + (q^3\Gamma_\omega(q^2) +$$

$$\left. q\Gamma_\rho(q^2)m_\omega^2)\sin(\phi) - (q^3\Gamma_\rho(q^2) + q\Gamma_\omega(q^2)m_\rho^2)\sin(\phi) \right]$$

Также необходимо учесть распад J/ψ мезона на тензорную и псевдоскалярную частицы:

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Gamma}\right)_{\pi^+\pi^-\eta} = \left(\frac{d\sigma}{d\Gamma}\right)_{V+P} + \left(\frac{d\sigma}{d\Gamma}\right)_{T+P}$$

Результат при фиксированном $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \omega\eta)$:

$$\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \rho\eta) = (2.04 \pm 0.58 \pm 0.39) \times 10^{-4} \quad (N_{\rho\eta} \approx 67)$$

$$\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\eta) = (4.73 \pm 0.49 \pm 1.17) \times 10^{-4} \quad (N_{\pi^+\pi^-\eta} \approx 134)$$

$$\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \omega\eta) = 2.352 \times 10^{-3} \quad (N_{\omega\eta} \approx 12)$$

$$\text{MARK-III: } (1.93 \pm 0.13 \pm 0.29) \times 10^{-4} \quad (N_{\rho} \approx 100)$$

$$\text{DM2: } (1.94 \pm 0.17 \pm 0.29) \times 10^{-4} \quad (N_{\rho} \approx 300)$$

$$\text{PDG: } (1.93 \pm 0.23) \times 10^{-4} \\ J/\psi \rightarrow \rho\eta$$

$$\text{BES-III: } (3.78 \pm 0.68) \times 10^{-4} \quad (N_{\pi^+\pi^-\eta} \approx 470)$$

$$\text{BaBar: } (4.2 \pm 0.8) \times 10^{-4} \quad (N_{\pi^+\pi^-\eta} \approx 50)$$

$$\text{PDG: } (3.8 \pm 0.7) \times 10^{-4} \\ J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$$

$$\text{BES-II: } (2.352 \pm 0.273) \times 10^{-3} \quad (N_{\omega} \approx 1250)$$

$$\text{BaBar: } (3.0 \pm 1.3 \pm 0.5) \times 10^{-3} \quad (N_{\omega} \approx 50)$$

$$\text{PDG: } (1.74 \pm 0.2) \times 10^{-3} \\ J/\psi \rightarrow \omega\eta$$

$$\text{MARK-III: } (1.71 \pm 0.08 \pm 0.2) \times 10^{-3} \quad (N_{\omega} \approx 70)$$

$$\textcircled{1} \mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \phi\eta) = (7.82 \pm 1.17 \pm 0.56) \times 10^{-4} \quad (N_{\phi\eta} \approx 64)$$

$$\text{Belle: } (7.1 \pm 1.0 \pm 0.5) \times 10^{-4} \quad (N_{\phi\eta} \approx 99, 2023)$$

$$\text{BaBar: } (7.2 \pm 2.9 \pm 0.9) \times 10^{-4} \quad (N_{\phi\eta} \approx 149, 2023)$$

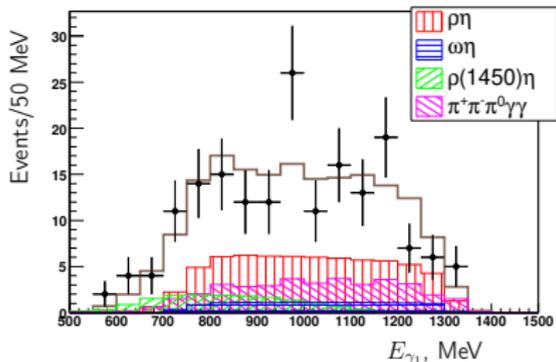
$$\text{BES: } (8.99 \pm 0.18 \pm 0.89) \times 10^{-4} \quad (2005)$$

$$\text{DM2: } (6.4 \pm 0.4 \pm 1.1) \times 10^{-4} \quad (N_{\phi\eta} \approx 346, 1990)$$

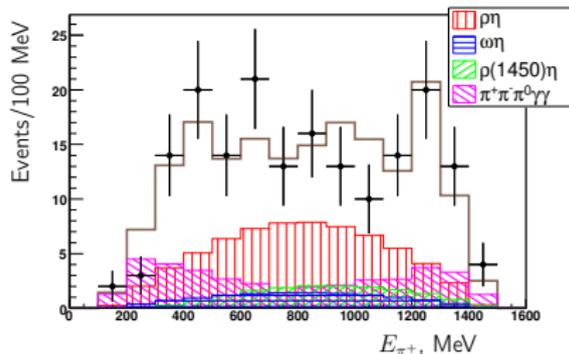
$$\text{MARK-III: } (6.61 \pm 0.45 \pm 0.78) \times 10^{-4} \quad (1988)$$

$$\text{PDG: } (7.4 \pm 0.6) \times 10^{-4} \\ J/\psi \rightarrow \phi\eta$$

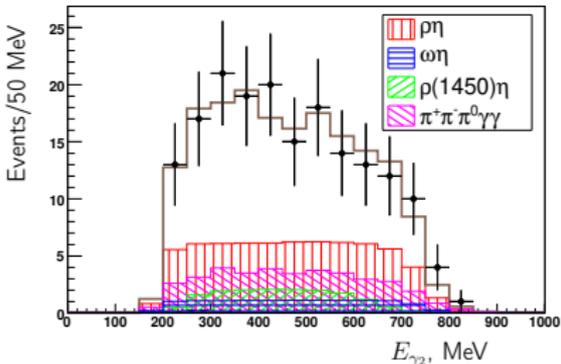
Результаты $\rho\eta$



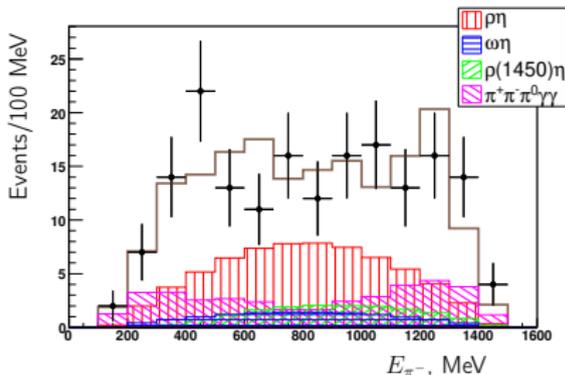
Энергия первого фотона



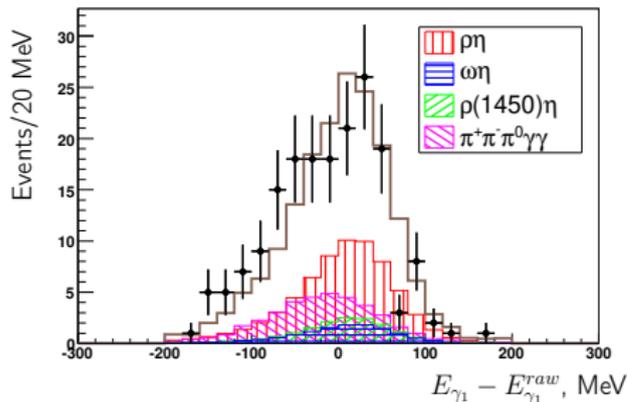
Энергия π^+



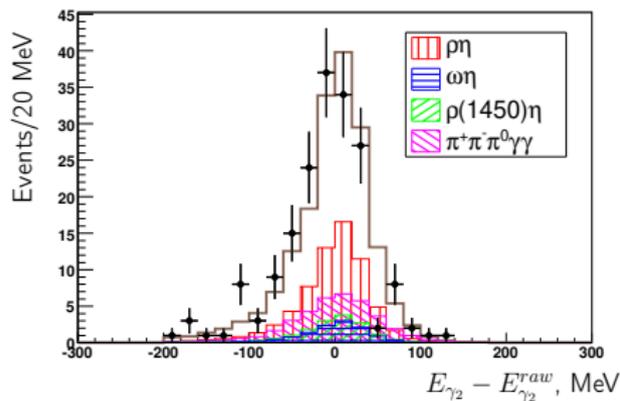
Энергия второго фотона



Энергия π^-

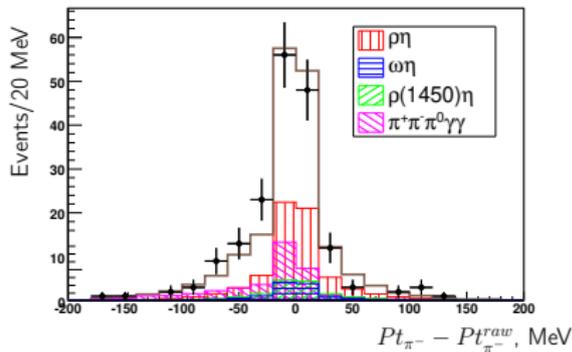
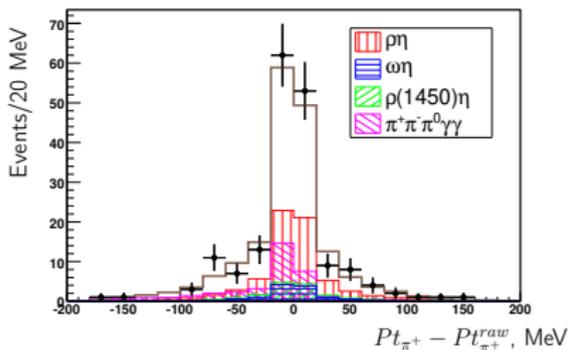


Точность рек. энергии первого фотона



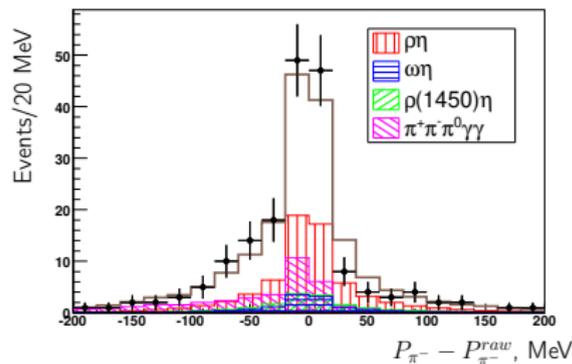
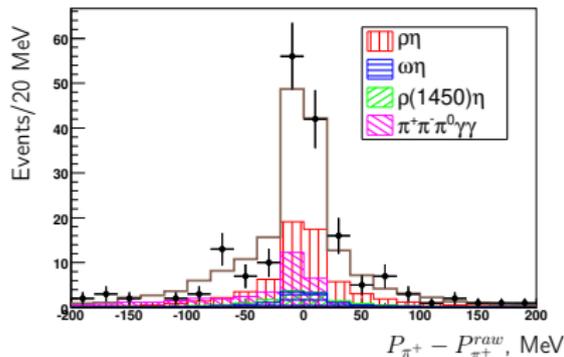
Точность рек. энергии второго фотона

Результаты $\rho\eta$



Точность рек. попереч. импульса π^+

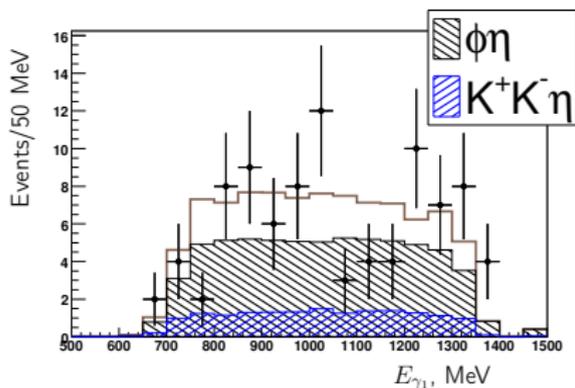
Точность рек. попереч. импульса π^-



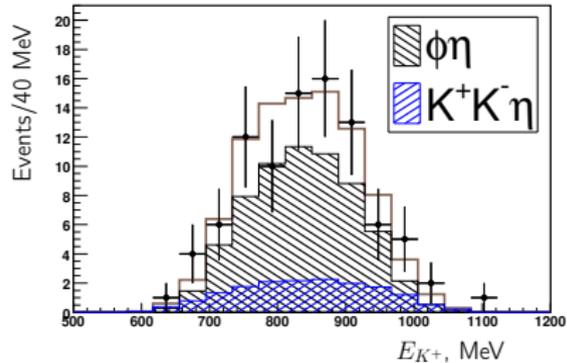
Точность рек. импульса π^+

Точность рек. импульса π^-

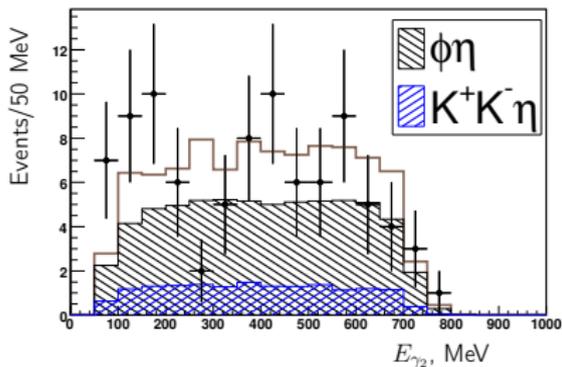
Результаты $\phi\eta$



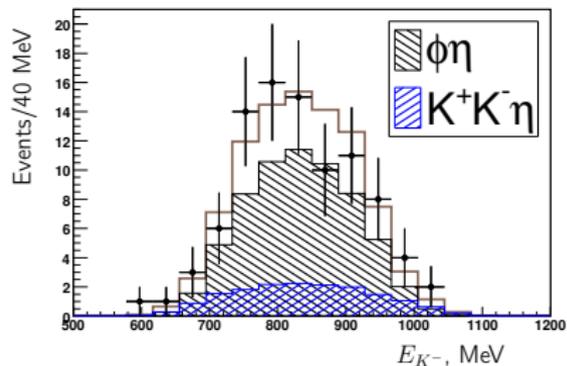
Энергия первого фотона



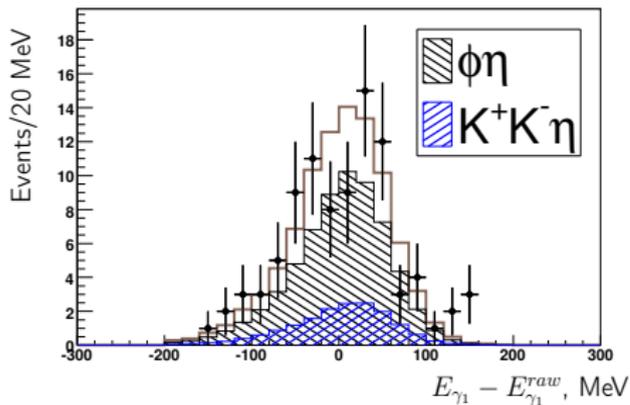
Энергия K^+



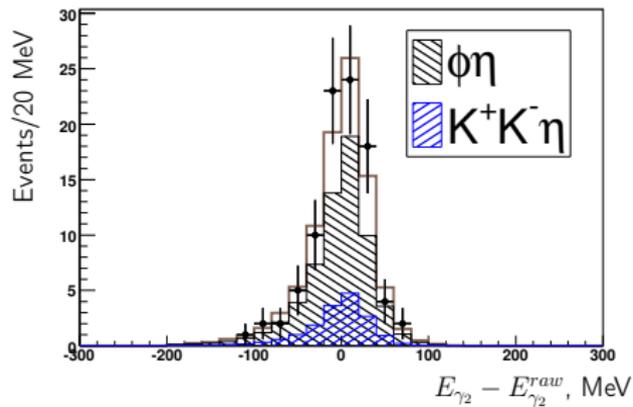
Энергия второго фотона



Энергия K^-

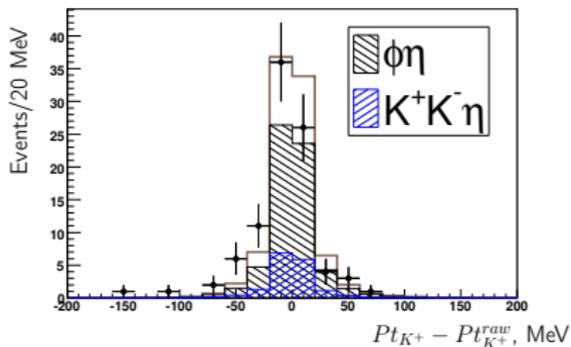


Точность рек. энергии первого фотона

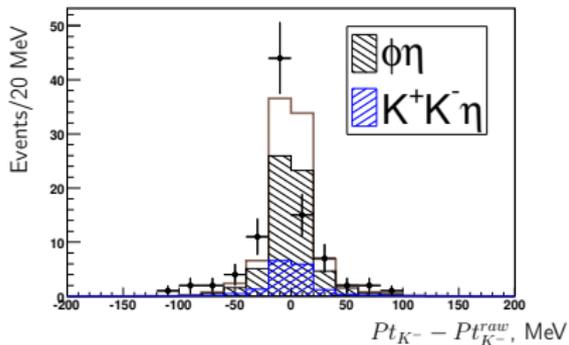


Точность рек. энергии второго фотона

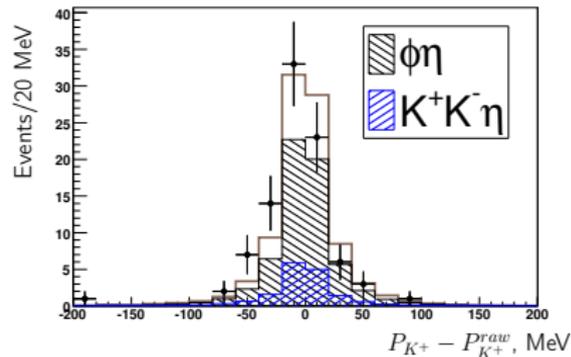
Результаты $\phi\eta$



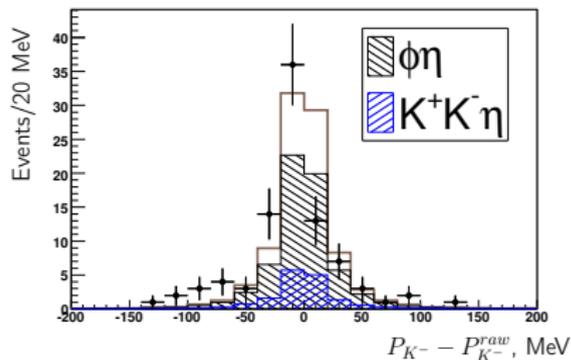
Точность рек. попереч. импульса K^+



Точность рек. импульса K^+



Точность рек. попереч. импульса K^-



Точность рек. импульса K^- 23 / 23

Параметры детектора КЕДР

Дрейфовая камера:

- Внутренний радиус: 125 мм
- Наружный радиус: 535 мм
- Длина: 1100 мм
- Количество аксиальных суперслоев: 4
- Количество стерео суперслоев: 3
- Число измерений: 42
- Число ячеек: 252
- Пространственное разрешение: 150 мкм
- dE/dx : 8.2%

CsI калориметр:

- Полярный угол: (6 - 38) градусов мм
- Толщина калориметра: 30 см ($15 X_0$)
- Энергетическое разрешение для 0.1 ГэВ: 3%
- Энергетическое разрешение для 1 ГэВ: 2.5%
- Угловое разрешение для 0.1 ГэВ: 18 мрад
- Угловое разрешение для 1 ГэВ: 9 мрад

LKr калориметр:

- Полярный угол: (38 - 142) градусов мм
- Внутренний радиус: 75 см
- Толщина калориметра: 68 см ($14.8 X_0$)
- Энергетическое разрешение для 0.1 ГэВ: 6%
- Энергетическое разрешение для 1 ГэВ: 2.5%
- Угловое разрешение для 0.1 ГэВ: 4 мрад
- Угловое разрешение для 1 ГэВ: 4 мрад

$$\mathcal{B}(\pi^+\pi^-\eta) = (3.8 \pm 0.8) \times 10^{-4}$$

$$\mathcal{B}(\rho\eta) = (1.93 \pm 0.23) \times 10^{-4}$$

$$\mathcal{B}(\omega\eta) = (1.74 \pm 0.2) \times 10^{-3}$$

$$\mathcal{B}(\rho\pi) = (1.69 \pm 0.15) \times 10^{-2}$$

$$\mathcal{B}(\phi\eta) = (7.4 \pm 0.8) \times 10^{-4}$$

$$\mathcal{B}(\rho(1450)\pi \rightarrow 3\pi) = (2.3 \pm 0.7) \times 10^{-3}$$

$$\mathcal{B}(\pi^+\pi^-\pi_0\eta) = (1.17 \pm 0.2) \times 10^{-2}$$

$$\mathcal{B}(\omega\pi_0) = (4.5 \pm 0.5) \times 10^{-3}$$

$$\mathcal{B}(\omega\pi_0\pi_0) = (3.4 \pm 0.8) \times 10^{-3}$$

$$\mathcal{B}(\omega\eta\pi_0) = (3.4 \pm 1.7) \times 10^{-4}$$

$$\mathcal{B}(\rho(1450)\eta' \rightarrow 2\pi\eta') = (3.3 \pm 0.7) \times 10^{-6}$$

$$\mathcal{B}(\rho \rightarrow \pi^+\pi^-) \approx 100\%$$

$$\mathcal{B}(\omega \rightarrow \pi^+\pi^-) = (1.53 \pm 0.13) \times 10^{-2}$$

$$\mathcal{B}(\eta \rightarrow \gamma\gamma) = (39.36 \pm 0.18) \times 10^{-2}$$

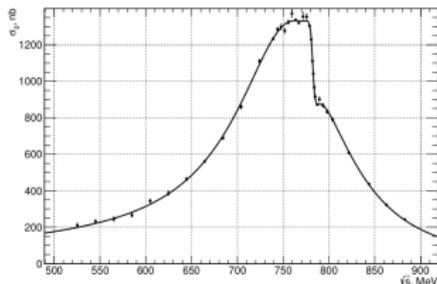
$$\mathcal{B}(\pi_0 \rightarrow \gamma\gamma) = (98.823 \pm 0.034) \times 10^{-2}$$

$$\mathcal{B}(\phi \rightarrow K^+K^-) = (49.1 \pm 0.5) \times 10^{-2}$$

$$\mathcal{B}(\eta' \rightarrow \gamma\gamma) = (2.307 \pm 0.033) \times 10^{-2}$$

SND (Novosibirsk) and BES-III (China)

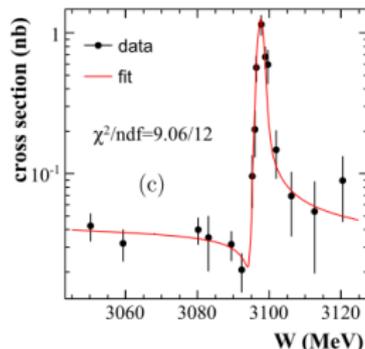
Achasov, M. N., et al. "Measurement of the $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ process cross section with the SND detector at the VEPP-2000 collider in the energy region $0.525 < \sqrt{s} < 0.883$ GeV." *Journal of High Energy Physics* 2021.1 (2021): 1-24.



$$|A_{\pi\pi}(s)|^2 = \left| \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{1}{\alpha} \sum_{V=\rho,\omega,\rho'} \frac{\Gamma_V m_V^3 \sqrt{m_V} \sigma(V \rightarrow \pi^+\pi^-)}{D_V(s)} \frac{e^{i\phi_{\rho V}}}{\sqrt{q_\pi^3(m_V)}} \right|^2$$

$$\phi = (110.7 \pm 1.1 \pm 1.0)^\circ$$

Ablikim, M., et al. "Measurement of the phase between strong and electromagnetic amplitudes of J/ψ decays." *Physics Letters B* 791 (2019): 375-384.

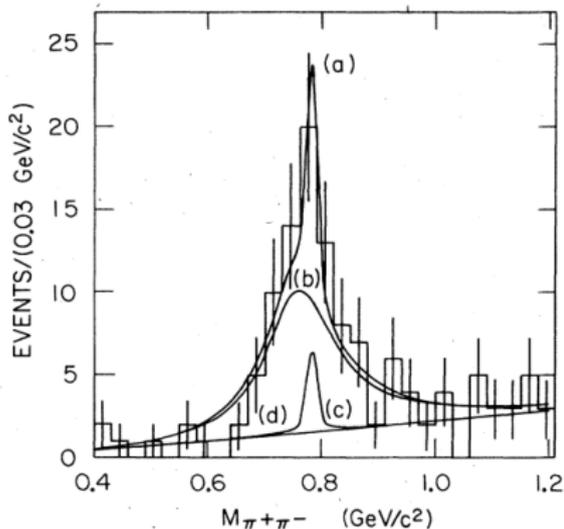


$$\sigma^0(W) = \left(\frac{A}{W^2} \right)^2 \frac{4\pi\alpha^2}{W^2}$$

$$\times \left| 1 + \frac{3W^2 \sqrt{\Gamma_{ee}\Gamma_{\mu\mu}} C_1 e^{i\Phi_{\gamma,\text{cont}}} (1 + C_2 e^{i\Phi})}{\alpha M(W^2 - M^2 + iM\Gamma)} \right|^2$$

$$\phi(\text{fixed}) = 0^\circ$$

The MARK-III old work



Fit 1	Fit 2
$N_\omega = 5.0 \pm 2.4$	$N_\omega = 8.9, \text{ fixed}$
$N_{\rho^0} = 58.5 \pm 7.4$	$N_{\rho^0} = 49.5 \pm 6.3$
$\phi = 0.4 \pm 0.5$	$\phi = 0.4 \pm 0.5$

$$\frac{d^3\sigma}{d \cos\theta_V d \cos\theta_1 d\varphi_1} \propto \sin^2\theta_1 [1 + \cos^2\theta_V + \sin^2\theta_V \cos(2\varphi_1)]$$

$$\begin{aligned} N_T &= N_{\rho^0} + N_\omega + 2 \left[\frac{\Gamma_\omega}{\Gamma_\rho} N_{\rho^0} N_\omega \right]^{1/2} \cos\phi \\ &= N_{\rho^0} + N_\omega + 0.507 (N_{\rho^0} N_\omega)^{1/2} \cos\phi . \end{aligned}$$