

Изучение динамики процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$

Димова Т.В.

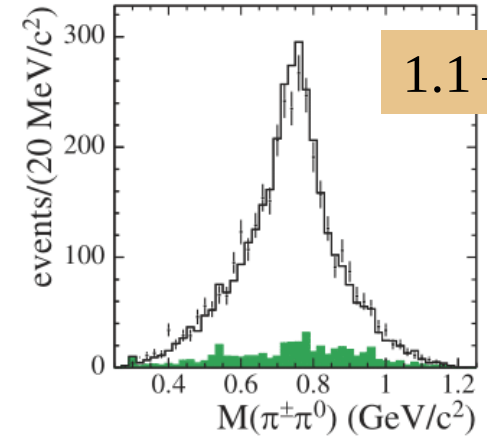
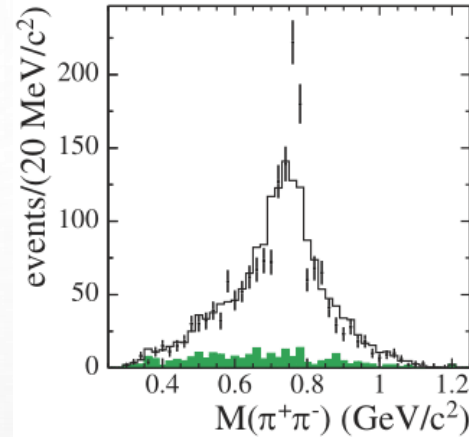
Институт Ядерной Физики им. Г.И.Будкера
Новосибирский Государственный Университет

11 марта 2020

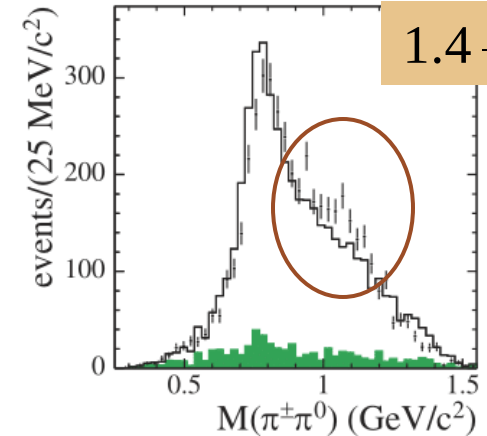
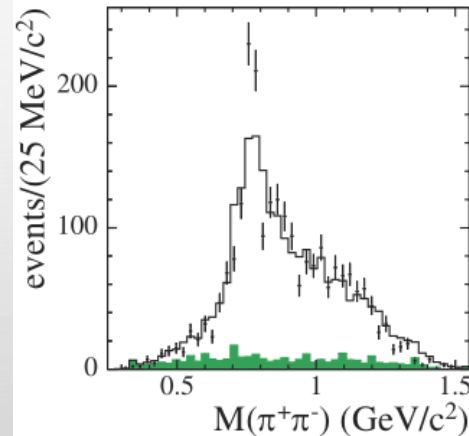
Мотивация

1. Наблюдение на детекторе Babar «плеча» в спектре инвариантных масс $M_{\pi^+\pi^0}$ в диапазоне энергий 1.4 – 1.8 ГэВ
2. Наблюдение на детекторах CLEO&BESIII существенного различия в распределениях инвариантных масс пар пионов в распадах J/Ψ и Ψ' в $\pi^+\pi^-\pi^0$

Babar



1.1 – 1.4 ГэВ



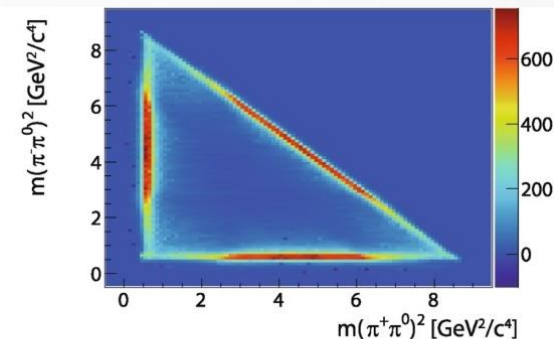
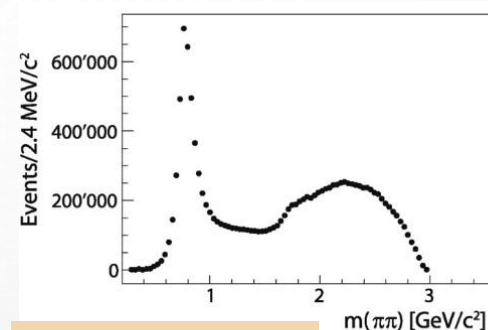
1.4 – 1.8 ГэВ

Мотивация

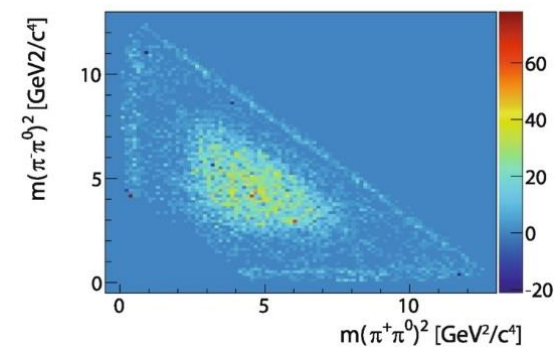
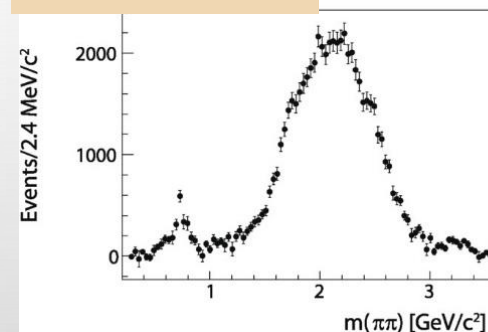
1. Наблюдение на детекторе Babar «плеча» в спектре инвариантных масс $M_{\pi^+\pi^0}$ в диапазоне энергий 1.4 – 1.8 ГэВ
2. Наблюдение на детекторах CLEO&BESIII существенного различия в распределениях инвариантных масс пар пионов в распадах J/Ψ и Ψ' в $\pi^+\pi^-\pi^0$

BESIII

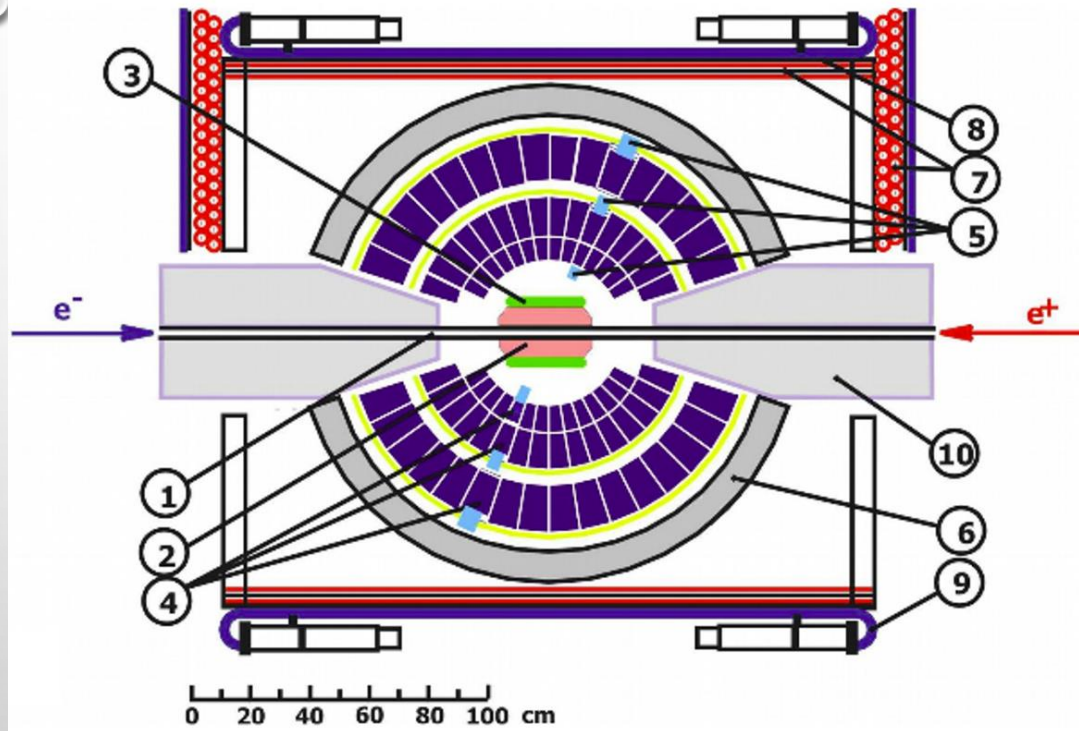
$$J/\Psi \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$$



$$\Psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$$



Детектор СНД



1 – вак.камера, 2 – трековый детектор, 3 – аэрогель, 4 – кристаллы NaI(Tl), 5 – фототриоды, 6 – мюонный фильтр, 7–9 – мюонный детектор, 10 – СП соленоиды.

Calorimeter

Thickness	$13.5 X_0$
Acceptance	$0.95 \times 4\pi$
Energy resolution	$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{0.042}{\sqrt[4]{E[GeV]}}$
Angular resolution	$\sigma_{\phi, \theta} = \frac{0.82^\circ}{\sqrt[4]{E[GeV]}} \oplus 0.63^\circ$

Tracking system

Acceptance (9 layers)	$0.94 \times 4\pi$
Angular resolution	$\sigma_\phi = 0.55^\circ, \sigma_\theta = 1.2^\circ$
Vertex resolution	$\sigma_R = 0.12cm,$ $\sigma_Z = 0.45cm$

Aerogel counters

K/ π separation	$E < 1 \text{ GeV}$
---------------------	---------------------

Использованные данные

Для измерения сечения

Эксперимент	Число точек	Светимость (пб ⁻¹)	
MHAD 2011	40	22	JETP (2015) 121 pp 27-34
MHAD 2012	15	12	

Для исследования динамики процесса

Эксперимент	Число точек	Светимость (пб ⁻¹)
MHAD 2011+2012	14	30

Условия отбора $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$

Предварительный отбор:

- 2 заряженные центральные частицы
($R < 0.5$ см, $|z| < 10$ см, $|z(1) - z(2)| < 1.5$)
- 2 фотона с энергией > 30 MeV
- $-0.3 < E_{\text{tot}} / (2E_{\text{beam}}) < 0.8$

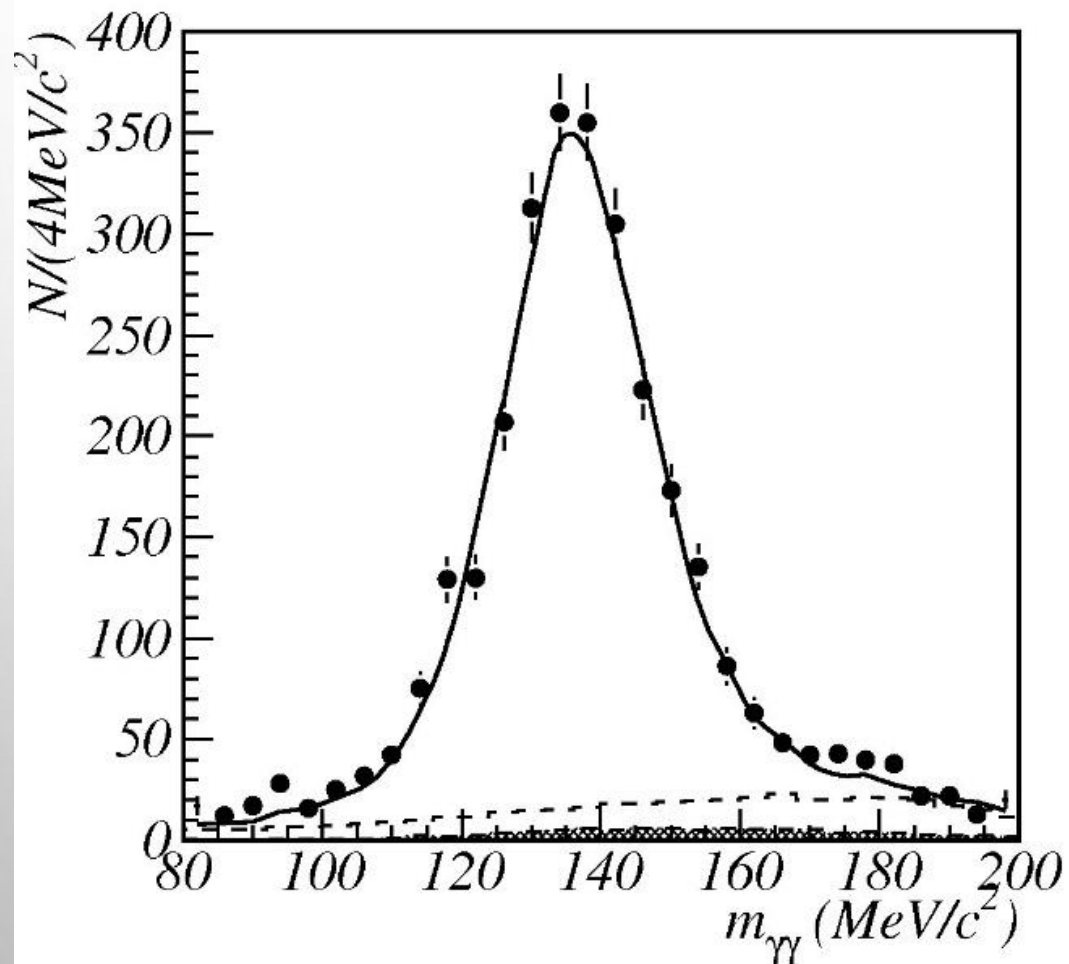
Отбор после кинематической реконструкции:

- z вершины после реконструкции < 10 см
- $30^\circ < \theta$ заряженных частиц $< 150^\circ$
- $\Delta\phi$ заряженных частиц $> 10^\circ$
- ΣE_{dep} заряженных частиц $< E_{\text{beam}} * 1.2$
- $\chi^2_R < 40$
- $\chi^2_E < 30$
- Энерговыделение E_{dep} вне частиц < 70 МэВ

Дополнительные условия отбора для анализа динамики процесса:

- ❖ $\chi^2_E < 20$
- ❖ $110 \text{ MeV} < M_{\gamma\gamma} < 170 \text{ MeV}$,
- ❖ Отсутствие срабатываний мюонной системы

Процедура вычитания фона



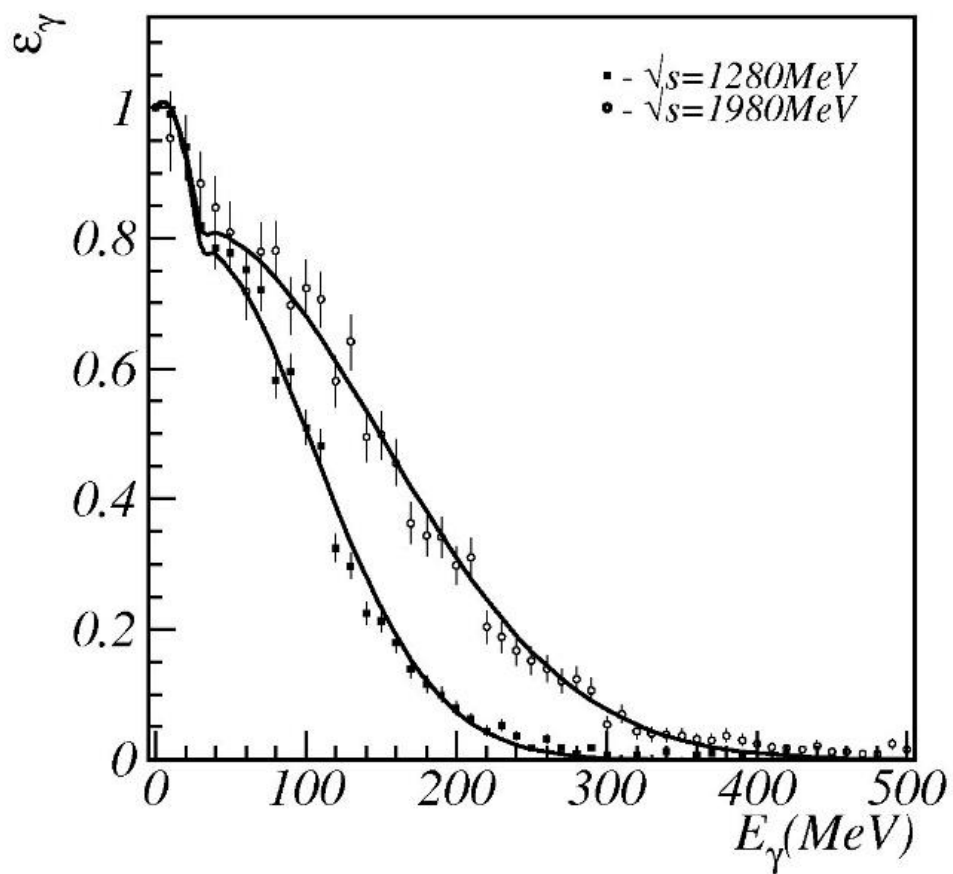
Основные фоновые процессы:

$$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$$

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

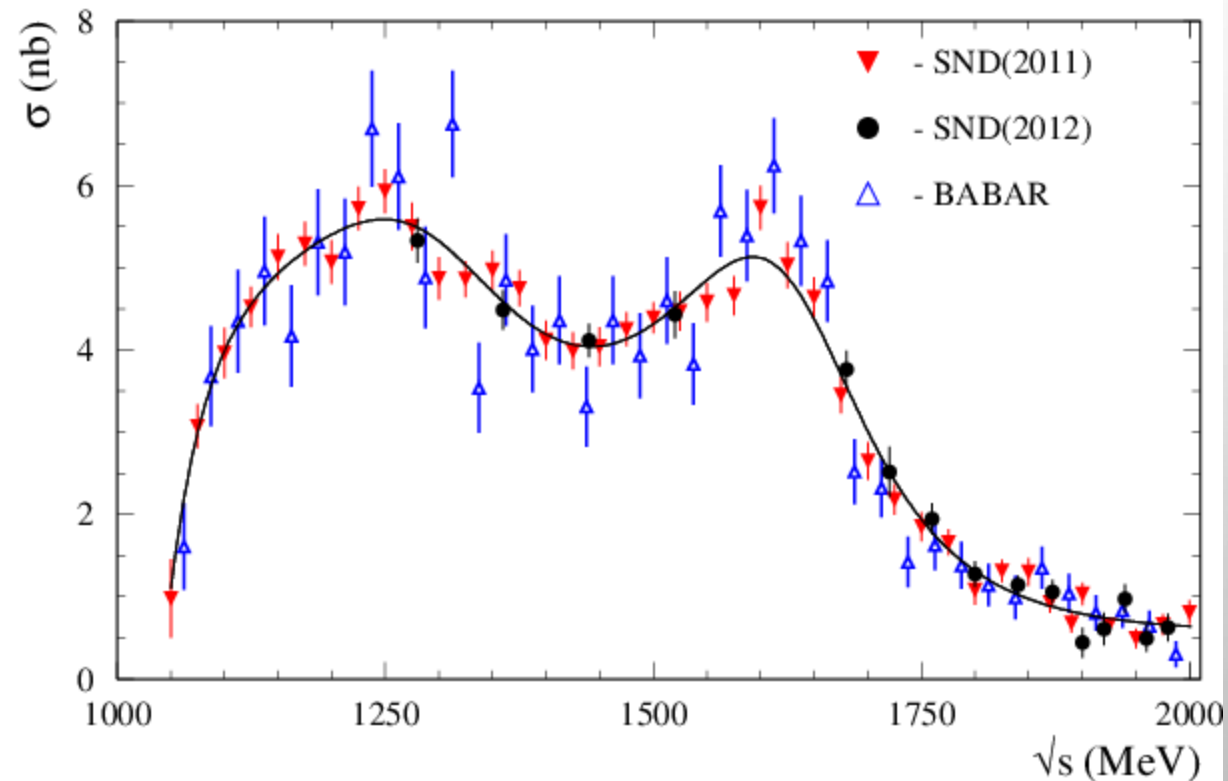
Фит выполняется суммой распределений $m_{\gamma\gamma}$ для основного и фоновых процессов, при этом определяются число событий $N_{3\pi}$ и $N_{4\pi}$, а вклад от $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ описывался полиномом 1й степени

Зависимость эффективности от энергии рад.фотона



Аппроксимация сечения

Учитывались вклады от промежуточных состояний ω , ϕ , ω' , ω'' и нерезонансный член



Изучение динамики процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$: параметризация сечения

$$\frac{d\sigma}{d\Gamma} = |\alpha A_{\rho\pi} + \beta A_{\rho'\pi} + \gamma A_{\omega\pi}|^2$$

$$A_{\rho^{(\prime)}\pi} \sim \sum_{k=+,-,0} \frac{m_{\rho_k^{(\prime)}}^2}{q_k^2 - m_{\rho_k^{(\prime)}}^2 + i q_k \Gamma_{\rho_k^{(\prime)}}(q_k^2)}$$

$$\Gamma_{\rho_k^{(\prime)}}(q_k^2) = \Gamma_{\rho_k} \frac{m_{\rho_k^{(\prime)}}^2}{q_k^2} \left[\frac{p_\pi(q_k^2)}{p_\pi(m_{\rho_k^{(\prime)}}^2)} \right]^3$$

$$A_{\omega\pi} \sim \frac{m_\omega^2}{q_0^2 - m_\omega^2 + i m_\omega \Gamma_\omega}$$

$$\begin{aligned} \frac{dN_{3\pi}}{dq_k} = & |\alpha|^2 H_{\rho\pi} + |\beta|^2 H_{\rho'\pi} + |\gamma|^2 H_{\omega\pi} + 2|\alpha||\beta| \cos(\varphi_1) R_{\rho\pi-\rho'\pi} + 2|\alpha||\beta| \sin(\varphi_1) I_{\rho\pi-\rho'\pi} + \\ & + 2|\alpha||\gamma| \cos(\varphi_2) R_{\rho\pi-\omega\pi} + 2|\alpha||\gamma| \sin(\varphi_2) I_{\rho\pi-\omega\pi} + \\ & + 2|\beta||\gamma| \cos(\varphi_2 - \varphi_1) R_{\rho'\pi-\omega\pi} + 2|\beta||\gamma| \sin(\varphi_2 - \varphi_1) I_{\rho'\pi-\omega\pi} \end{aligned}$$

$H(q_k, s)$ – определяются из моделирования с использованием соответствующей A

$R(q_k, s), I(q_k, s)$ – определяются из соотношений:

$$2R_{\rho\pi-\rho'\pi}(q_k, s) = H_{\rho\pi+\rho'\pi} - H_{\rho\pi} - H_{\rho'\pi}$$

$$2I_{\rho\pi-\rho'\pi}(q_k, s) = H_{\rho\pi+i\rho'\pi} - H_{\rho\pi} - H_{\rho'\pi}$$

Изучение динамики процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$: вклад от амплитуды $A_{\omega\pi}$

Расчетное число событий:

$$N_{\omega\pi} = \epsilon_{\omega\pi} \sigma_{\pi\pi\gamma} (1+\delta) L / B(\omega \rightarrow \pi^0\gamma) \cdot B(\omega \rightarrow \pi^+\pi^-)$$

Определение $|\gamma|$:

$$N_{\omega\pi} = |\gamma|^2 \epsilon_{\omega\pi} \int |A_{\omega\pi}|^2 d\Gamma$$

Учет вклада от фоновых событий

Для процессов $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$ и $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ строились распределения нормированные на сечение и светимость

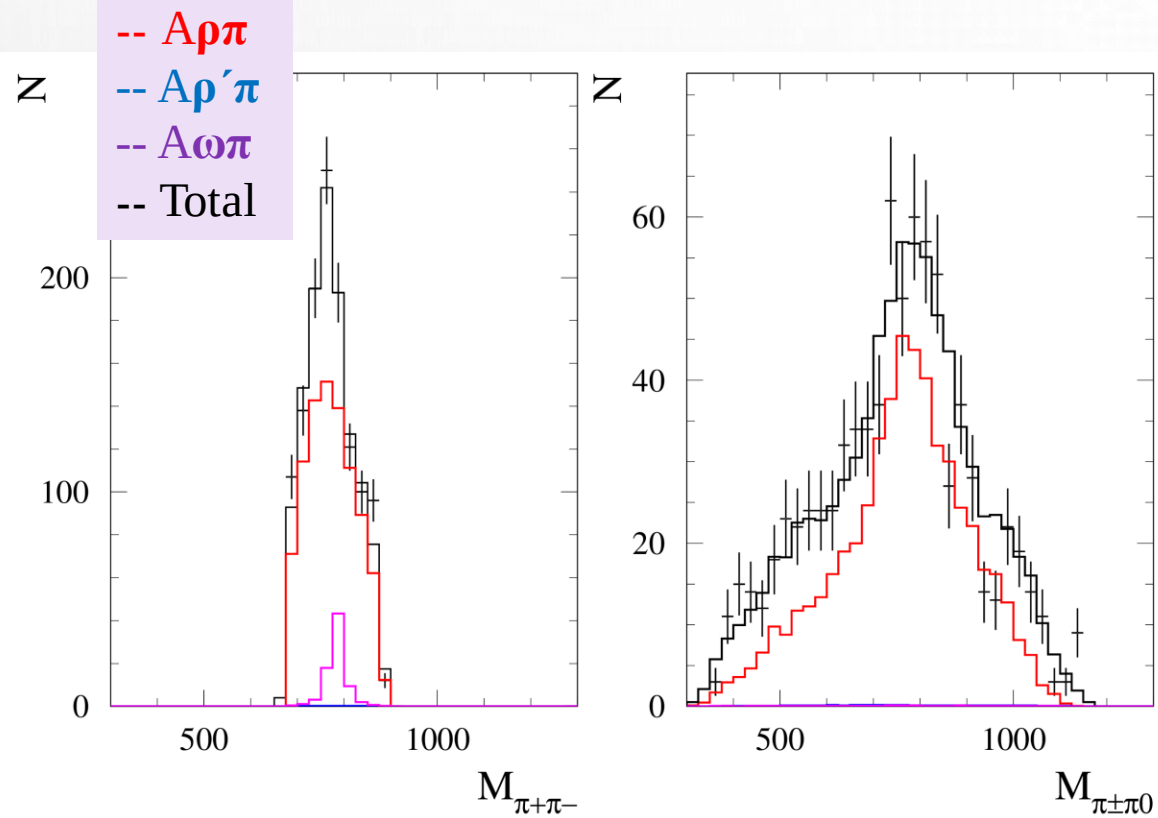
Построение спектров для аппроксимации

Использовались следующие спектры :

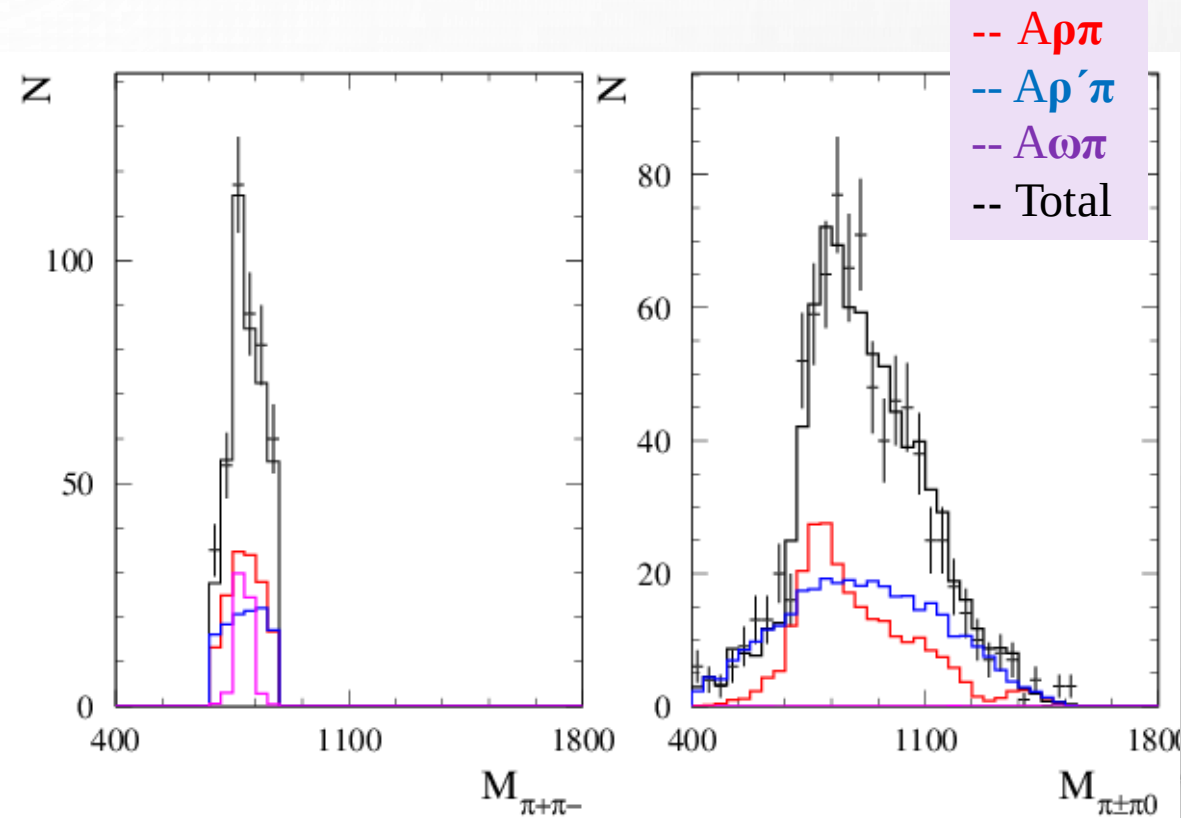
- по инвариантной массе $\pi^+\pi^-$ в диапазоне 680 – 880 МэВ
- По инвариантной массе $\pi^\pm\pi^0$ для тех событий, которые не попали в пред. гистограмму.

Результат аппроксимации спектров инвариантных масс

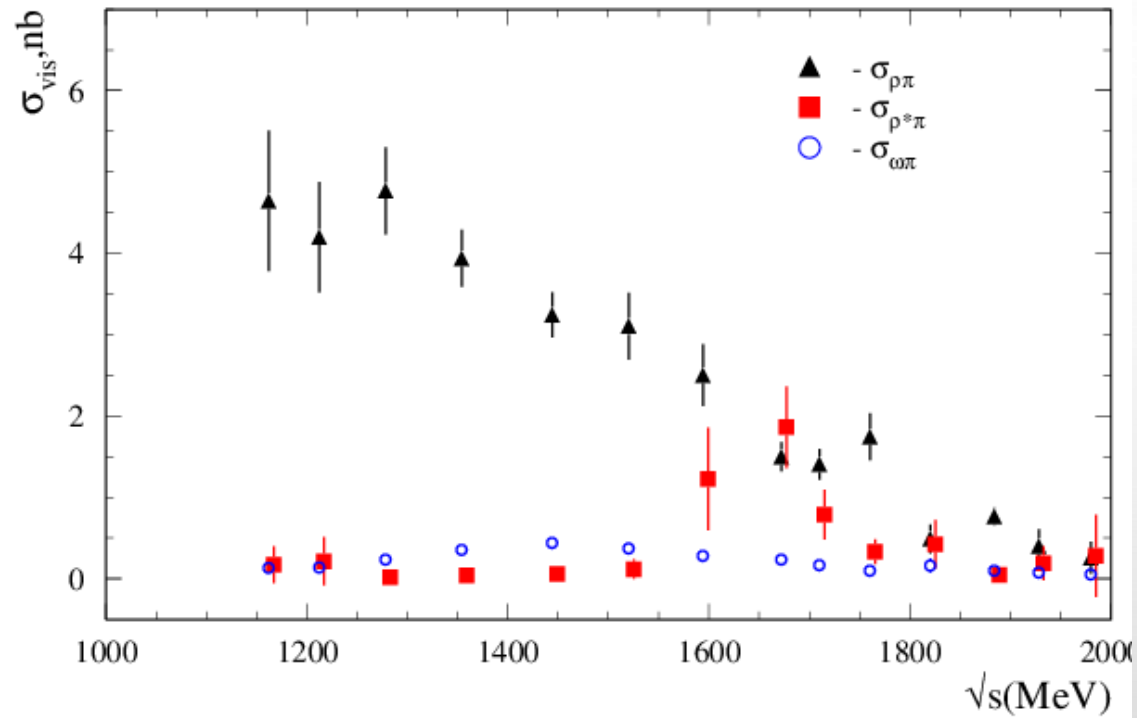
$2E = 1.28 \text{ ГэВ}$



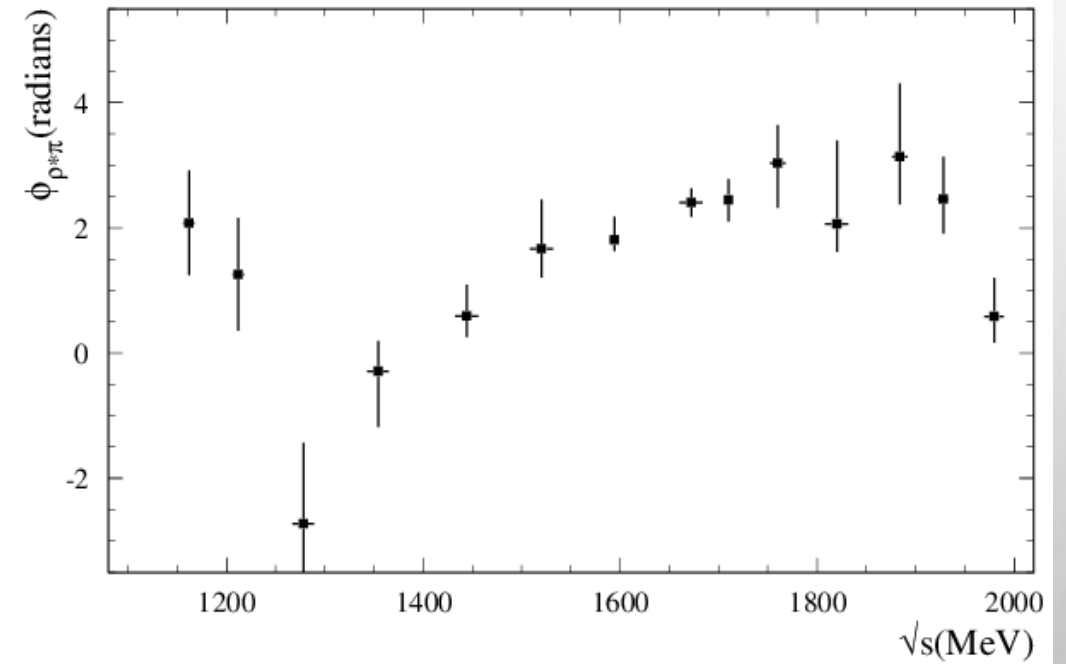
$2E = 1.67 \text{ ГэВ}$



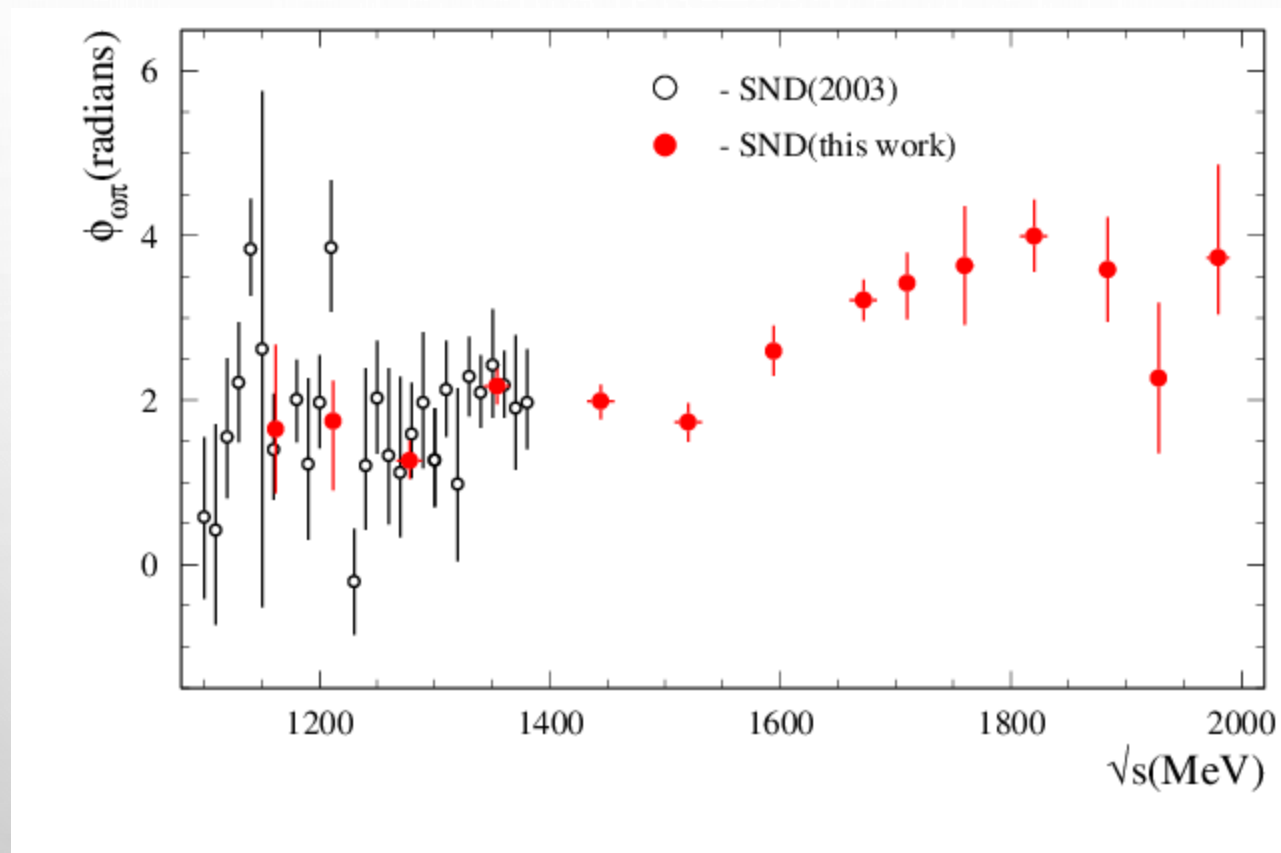
Видимое сечение отдельных компонент



Поведение фазы $A_{\rho'\pi}(\varphi_1)$



Поведение фазы $A_{\omega\pi}(\varphi_2)$

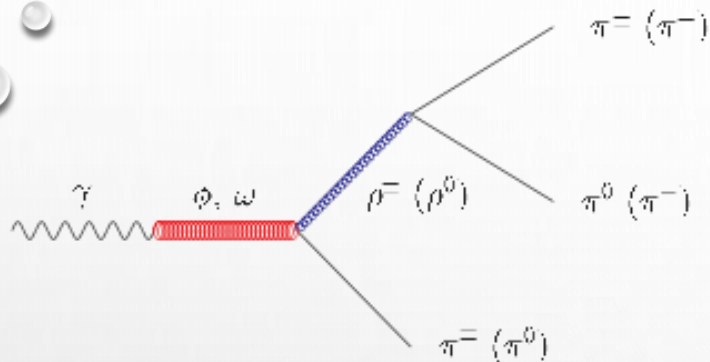


Заключение & планы

1. Измеренное сечение по данным 2012 года хорошо согласуется с нашим предыдущим результатом
2. В области энергий 1.55 – 1.75 ГэВ наблюдается вклад от перехода $\gamma^* \rightarrow \rho' \pi$, что соответствует тому, что распад возбужденного состояния ω'' идет в основном через канал $\rho' \pi$.
3. Получена фаза между амплитудами $A_{\rho\pi}$ и $A_{\rho'\pi}$ и ее зависимость от энергии
4. Получена фаза между амплитудами $A_{\rho\pi}$ и $A_{\omega\pi}$, результат согласуется с предыдущим измерением.
5. В планах: повторить анализ, используя статистику набранную в 2017 и 2019 годах (всего $\sim 100 \text{ пб}^{-1}$, из них около 23 пб^{-1} в области массы ω''), что позволит уточнить свойства перехода $\gamma^* \rightarrow \rho' \pi$.

Спасибо за внимание

Описание процесса в Phokhara

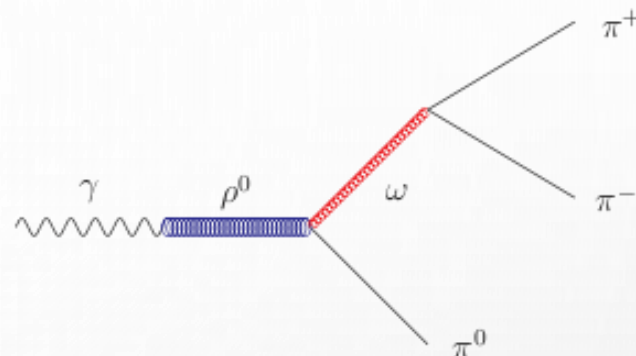


$$F_{3\pi}^{I=0}(q_+, q_-, q_0) = H_{\rho(770)}(Q_+^2, Q_-^2, Q_0^2) \cdot \left[A \cdot BW_{\omega(782)}(Q^2) + B \cdot BW_{\phi(1020)}(Q^2) + C \cdot BW_{\omega(1420)}(Q^2) + D \cdot BW_{\omega(1650)}(Q^2) \right] + E \cdot BW_{\phi(1020)}(Q^2) \cdot H_{\rho(1450)}(Q_+^2, Q_-^2, Q_0^2) + F \cdot BW_{\omega(1650)}(Q^2) \cdot H_{\rho(1700)}(Q_+^2, Q_-^2, Q_0^2), \quad (10)$$

A,B,C,D,E,F – результат фитирования сечения с BABAR'a

where

A	18.20(8)
B	-0.87(5)
C	-0.77(5)
D	-1.12(4)
E	-0.72(10)
F	-0.59(4)



$$F_{3\pi}^{I=1}(q_+, q_-, q_0) = G_{\omega} \cdot BW_{\omega}(Q^2) / \tilde{m}_{\omega}^2 [BW_{\rho}(Q_0^2) / \tilde{m}_{\rho}^2 + \sigma BW_{\rho''}(Q_0^2) / \tilde{m}_{\rho''}^2], \quad (7)$$

$$G_{\omega} = \frac{1.55}{\sqrt{2}} 12.924 \text{ GeV}^{-1} 0.266 m_{\rho}^2 g_{\omega\pi\pi} \quad (8)$$

