

# Измерение вероятности распада $J/\psi \rightarrow \eta\phi$ по каналам $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ и $\phi \rightarrow \pi^-\pi^+\pi^0$ в эксперименте BESIII

Погодин Святослав Николаевич

ОИЯИ, ЛЯП, НЭОВП  
МГУ, ФФ, ФЭЧ, 209м

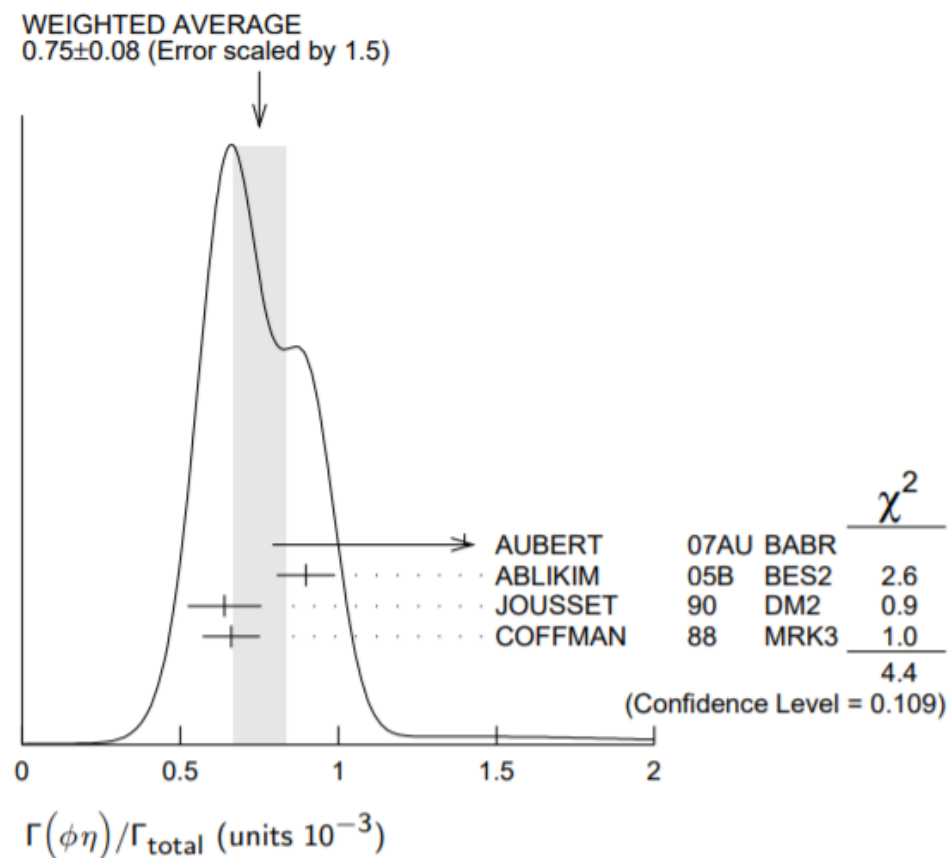
Нефедов Юрий Анатольевич

ОИЯИ, ЛЯП, НЭОВП

# Структура презентации

1. Цель исследования
2. Эксперимент BESIII
3. Использованные данные
4. Отбор событий
5. Исследование интерференции между  $\omega$  и  $\phi$
6. Описание данных с учетом интерференции
7. Расчет эффективности
8. Расчет относительной ширины и ошибок
9. Заключение

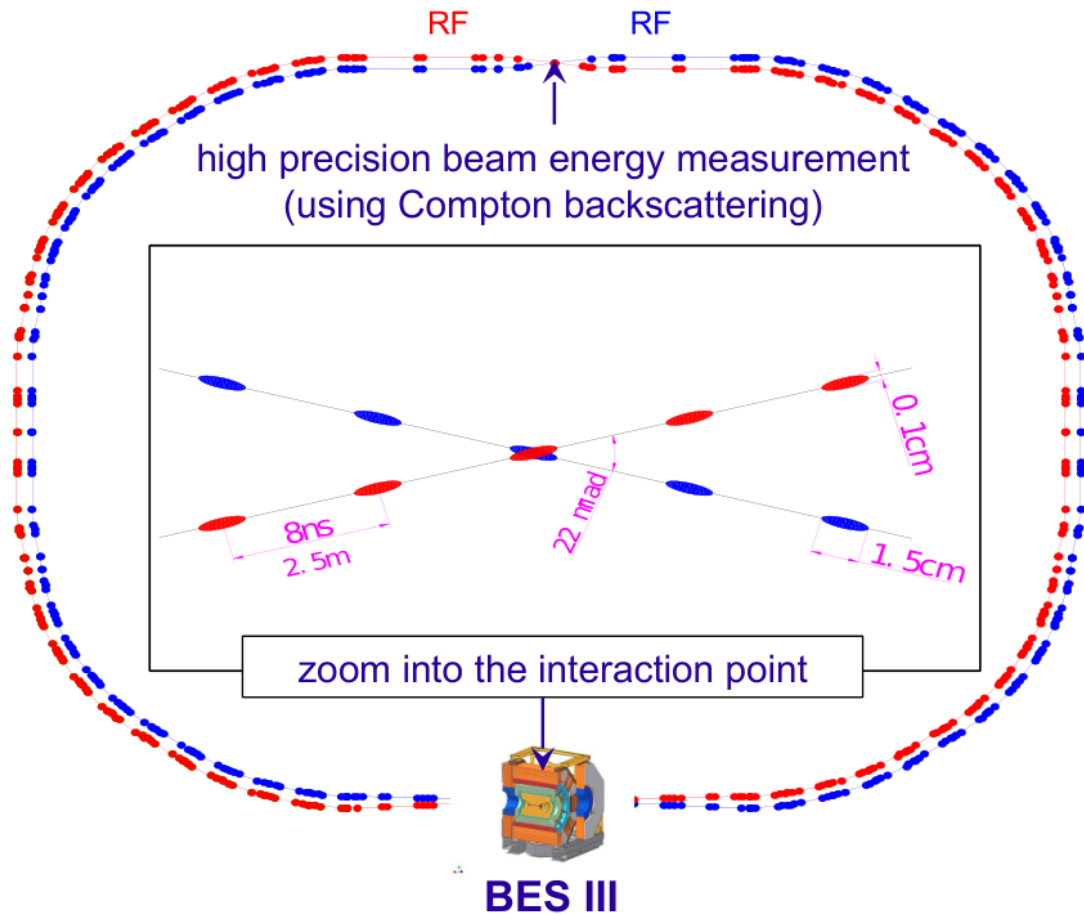
# Цель исследования



Исследуется канал распада  $J/\psi \rightarrow \eta\phi$ , в котором  $\eta \rightarrow \gamma\gamma$  и  $\phi \rightarrow \pi^-\pi^+\pi^0$ . Ранее исследовался этот процесс по каналу  $\phi \rightarrow K^+K^-$  (см. рис.) и результаты противоречивы.

На данных BES3 имеется возможность исследовать этот же процесс с каналом распада  $\phi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  и определить парциальную ширину распада.

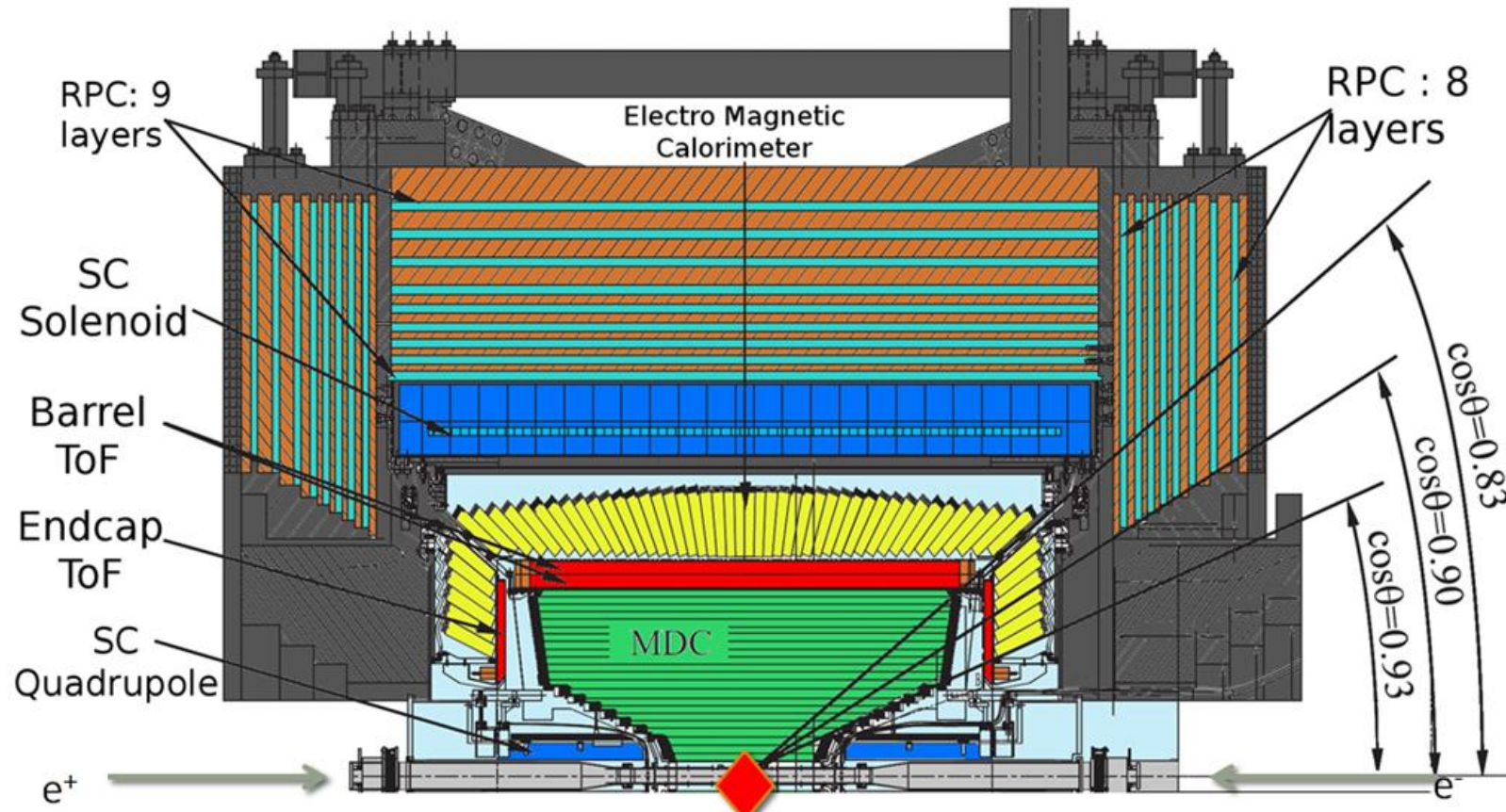
# Ускоритель ВЕРСИИ



- Независимые пучки
- Пучки пересекаются под углом 22 мрад
- Энергия пучка меняется от 1 до 2.45 ГэВ (от 2 до 4.9 ГэВ суммарная энергия в системе центра масс)
- Высокая светимость

# BESIII detector

NIM A614, 345(2010)



**Acceptance: 93% of  $4\pi$**

# Использованные данные

Для работы взяты  $J/\psi$  данные 2009 года ( $(223.7 \pm 1.4) \cdot 10^6$  событий) в формате Data Summary Tape (DST) полученные программой BOSS-6.6.4

MC inc – инклюзивное Монте Карло, набор 225M событий в формате DST также полученные программой BOSS-6.6.4

MC sig – для оценки эффективности было разыграно 100 000 событий с помощью BesEvenGen через цепочки распадов:  $J/\psi \rightarrow \phi\eta$  (HELAMP),  $\eta \rightarrow 2\gamma$  (PHSP),  $\phi \rightarrow \rho\pi$  (84% HELAMP),  $\phi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  (16% PHSP)

Анализ DST файлов осуществлялся с помощью программы Bean

# Критерии отбора. Заряженные частицы.

Так как ищется распад  $J/\psi \rightarrow \eta\phi$ ,  $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ ,  $\phi \rightarrow \pi^-\pi^+\pi^0$ , то сигнатура события  $\pi^+$ ,  $\pi^-$ ,  $4\gamma$ . Были разработаны следующие критерии:

1. Все треки проходят достаточно близко к номинальной точки столкновения:  $R_{xy} < 1$  мм,  $Z < 10$  мм. Треки регистрируются дрейфовой камерой детектора:  $\cos(\theta) < 0.93$
2. Событие содержит равное количество положительно и отрицательно заряженных треков. Заряженные пионы идентифицируются по  $dE/dx$  и  $TOF$  ( $P(\pi) > P(K)$ ,  $P(\pi) > P(p)$ ,  $P(\pi) > 0.001$ ); отбираются события содержащие ровно по одному треку  $\pi^+$  и  $\pi^-$

# Критерии отбора. Нейтральные треки.

Отбираются события с четырьмя и более нейтральными треками каждый из которых удовлетворяет условиям:

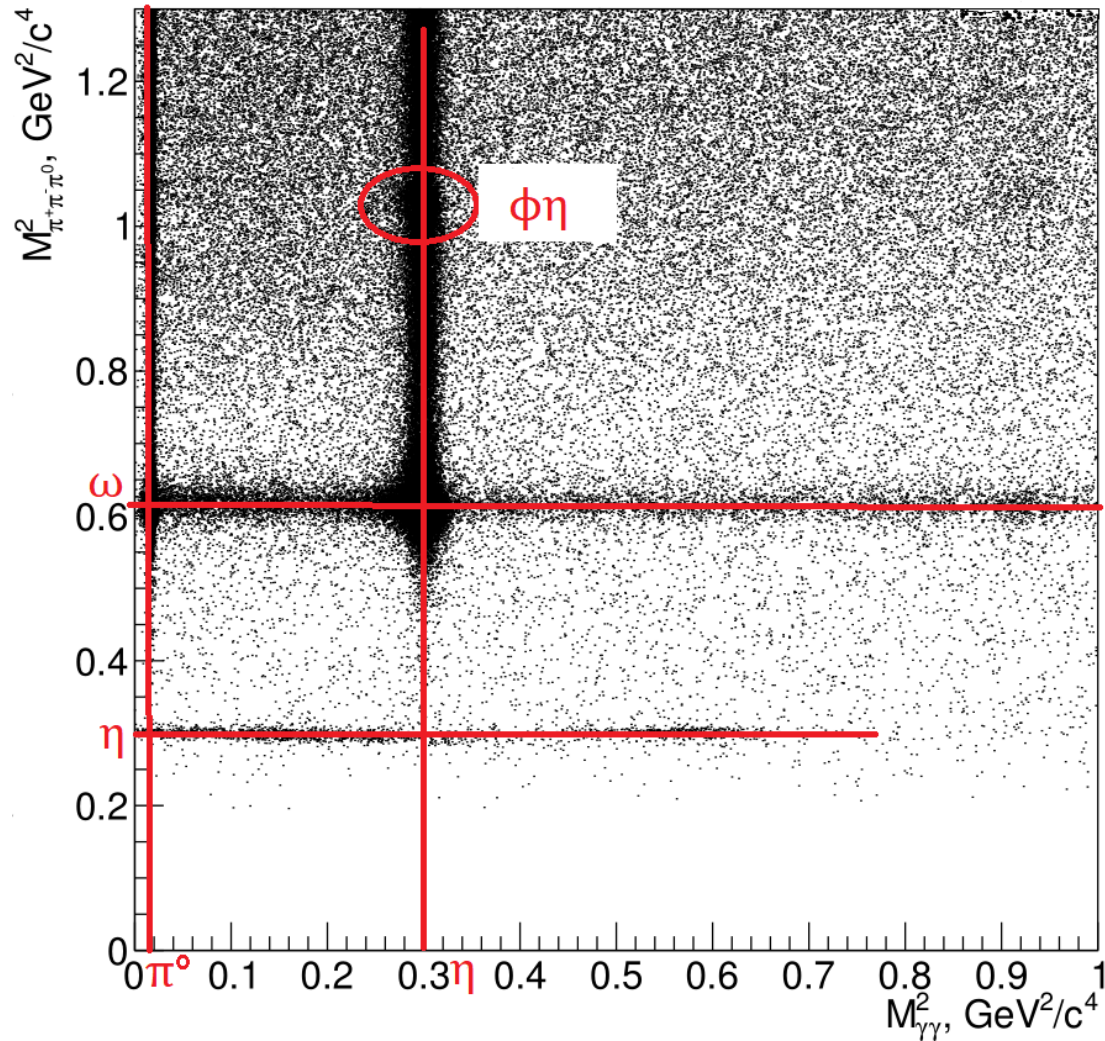
1. Время в электромагнитном калориметре (ЕМС)  $t \in [0; 700]$  нс
2. Энергия ЕМС:  $E_{barrel} > 25 \text{ MeV}$ ,  $E_{end\ cup} > 50 \text{ MeV}$
3. Угол между нейтральными и заряженными треками больше 10 градусов



# Критерии отбора. Кинематический 5С фит.

1. Суммарный 4-х импульс  $P_{4\gamma\pi^+\pi^-}$  равен суммарному 4-х импульсу пучковых частиц
2. Для двух фотонов  $M_{2\gamma}^{inv} = M_{\pi^0}$ ; из 4 $\gamma$  выбираются 2 $\gamma$ :  $\chi_{2\gamma}^2 = \min \chi^2$
3. Если фотонов больше 4, то отбираются те, которые формируют минимальный  $\chi^2(5C)$
4. Отбираем события с  $\chi^2(5C) < 100$

Invariant masses of events in selection

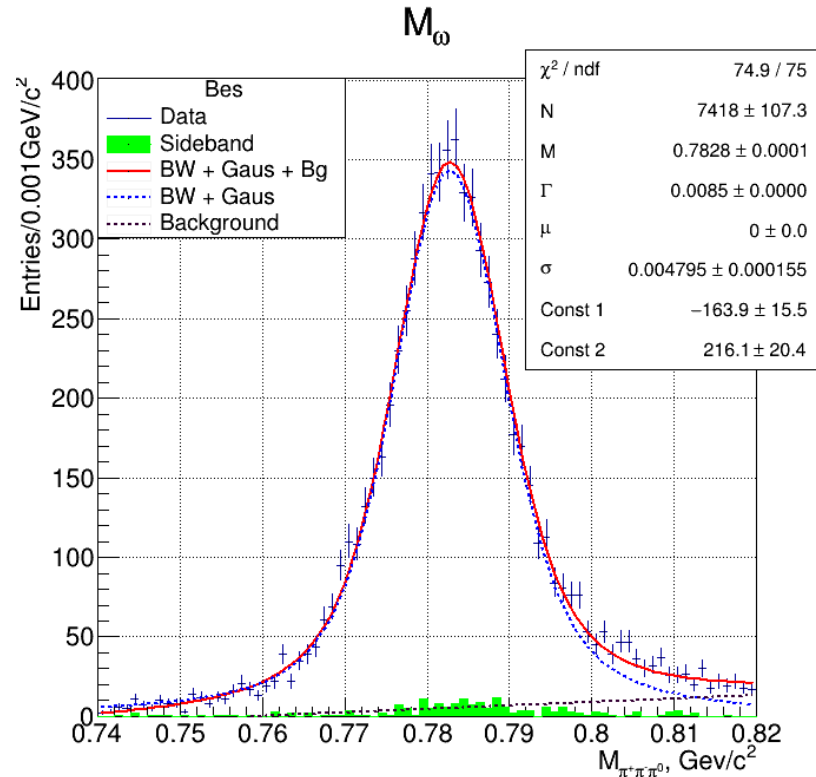


## Инвариантные массы

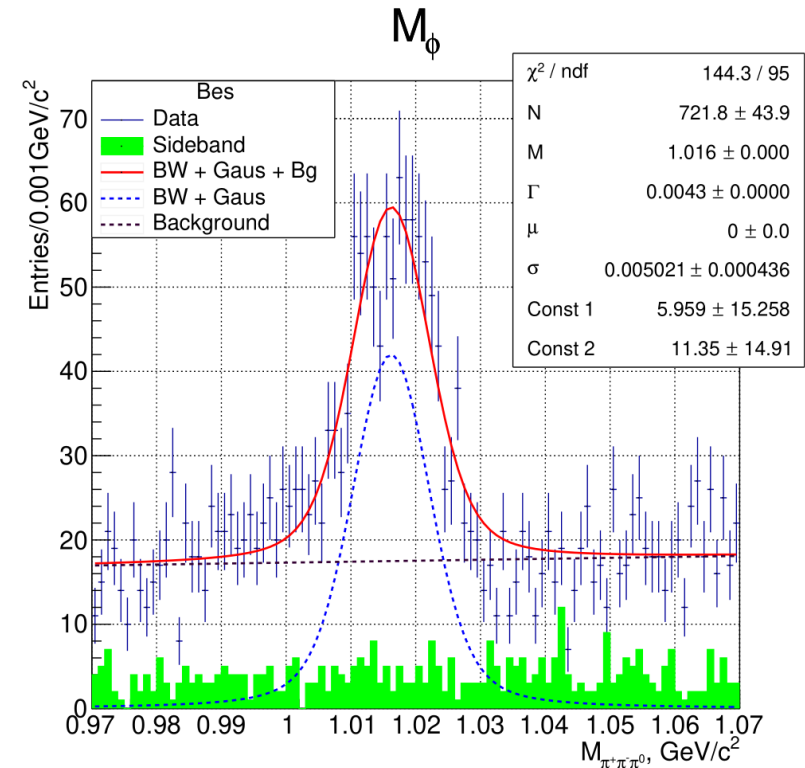
Квадраты инвариантных масс  $\pi^+\pi^-\pi^0$  и  $2\gamma$  в интересующем нас диапазоне:

$$M_{\pi^+\pi^-\pi^0}^2 < 1.3 \text{ GeV}^2/c^4$$
$$M_{2\gamma}^2 < 1 \text{ GeV}^2/c^4$$

# Фитирование распределением Брейт-Вигнера



Распределение инвариантной массы  $\pi^+ \pi^- \pi^0$  в районе  $\omega$

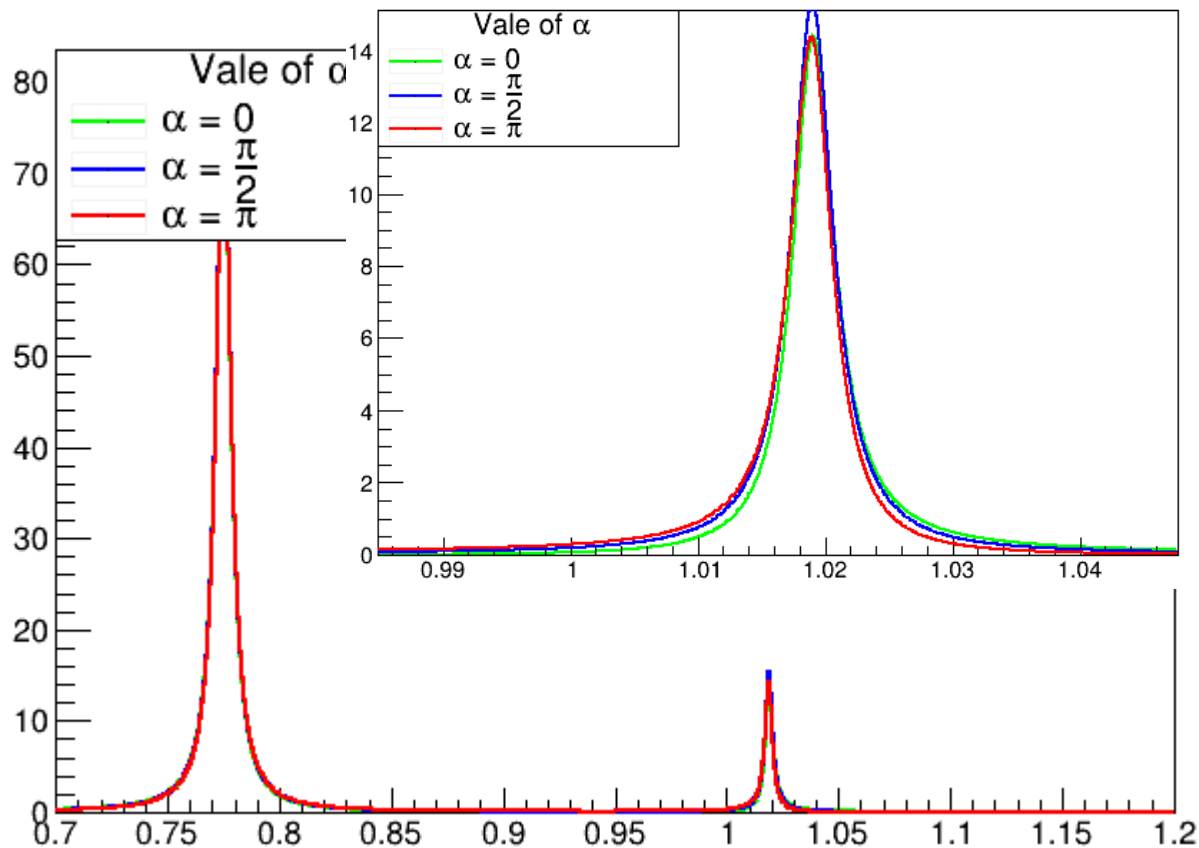


Распределение инвариантной массы  $\pi^+ \pi^- \pi^0$  в районе  $\phi$

Справа от пика  $\phi$  в данных виден провал: возможна интерференция конечных состояний от распада  $\omega$  и  $\phi$ .

# Изучение интерференции $\phi$ и $\omega$

Interference peaks of  $\phi$



Е, ГэВ

Описывается суммой амплитуд двух распределений Брейт-Вигнера:

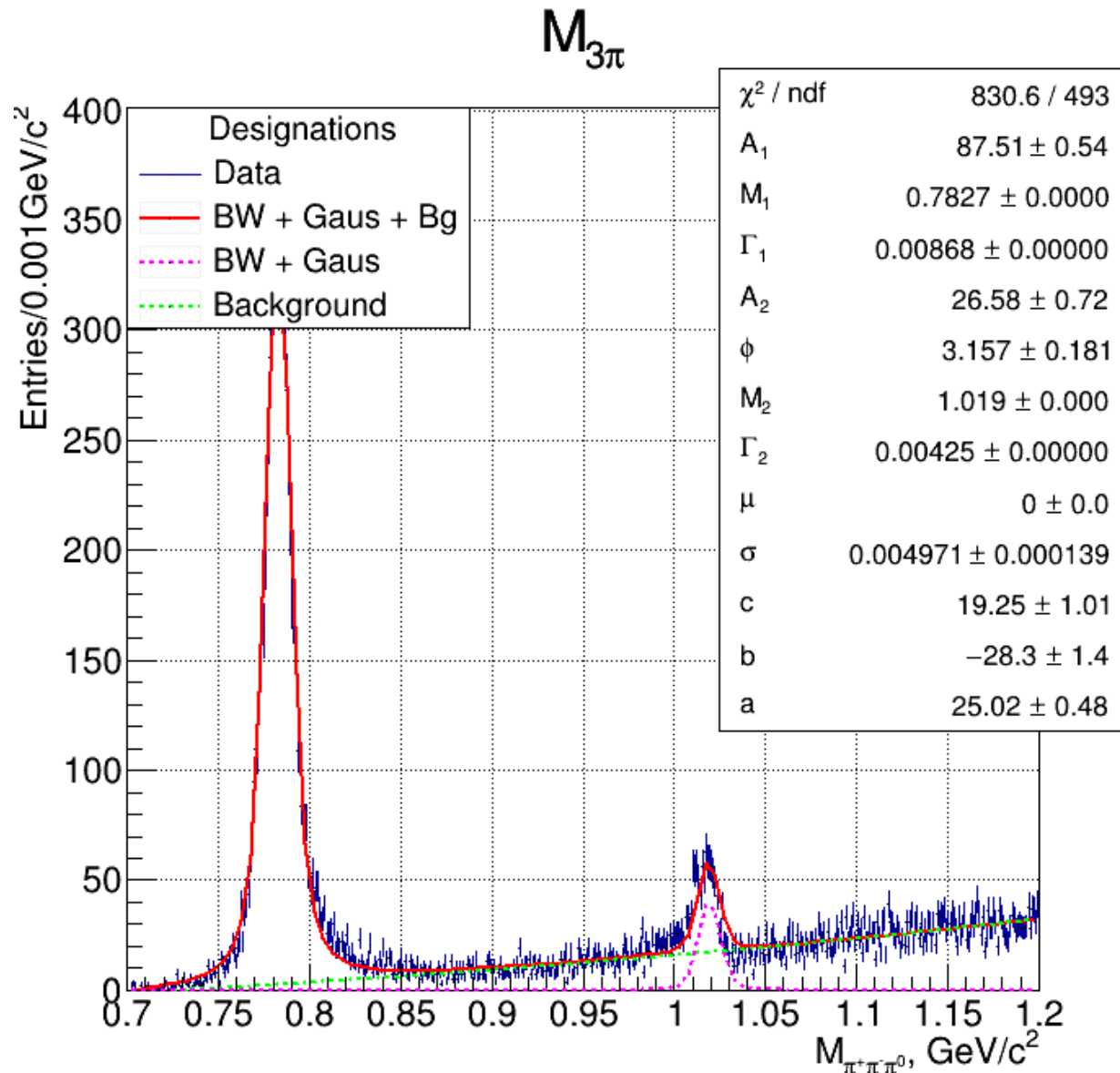
$$\Psi = |A_1 + e^{-i\alpha} A_2|^2, \text{ где}$$

$$A_j = N_j \cdot \frac{\sqrt{k_j}}{(E^2 - M_j^2) + iM_j\Gamma_j}$$

$$k_j = \frac{2\sqrt{2}M_j\Gamma_j\gamma_j}{\pi\sqrt{M_j^2 + \gamma_j}}$$

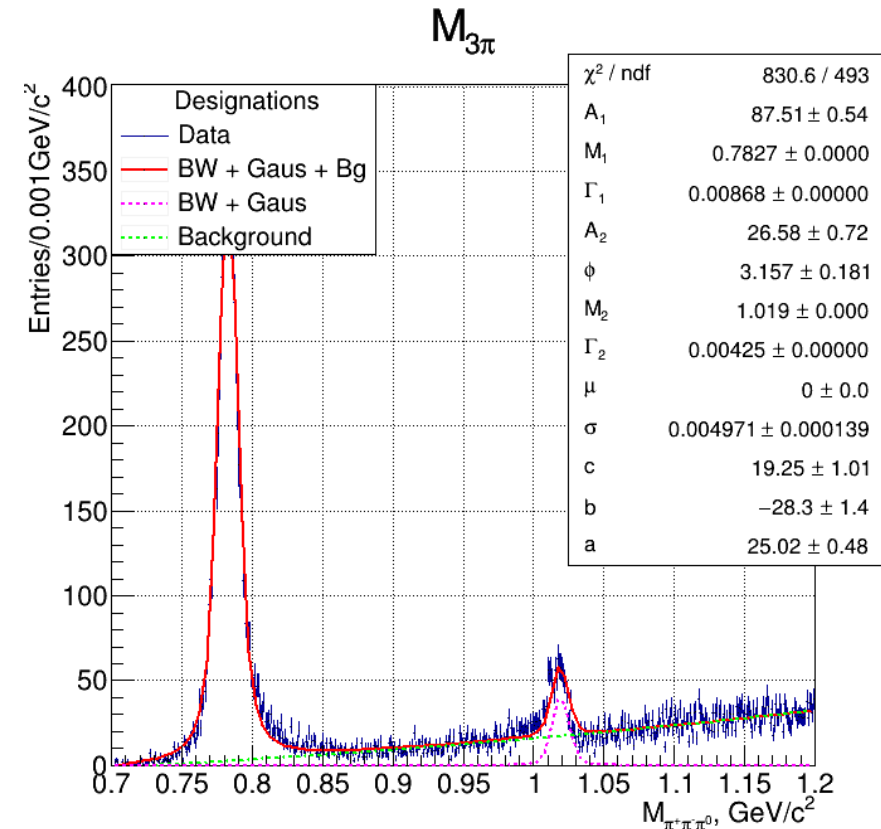
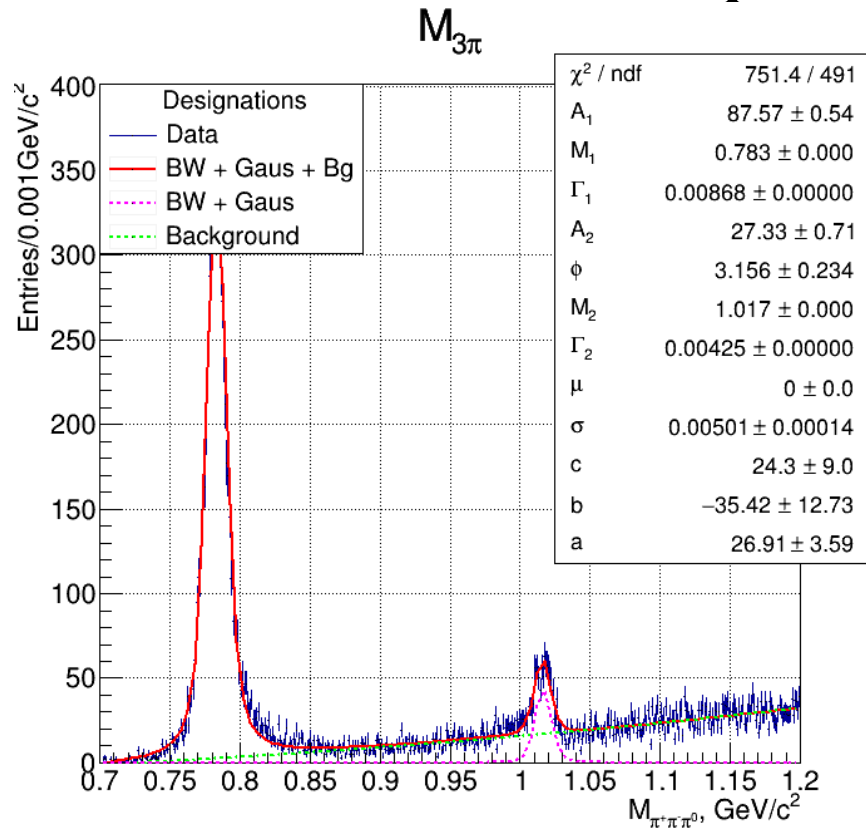
$$\gamma_j = \sqrt{M_j^2(M_j^2 + \Gamma_j^2)}$$

# Описание данных с учетом интерференции



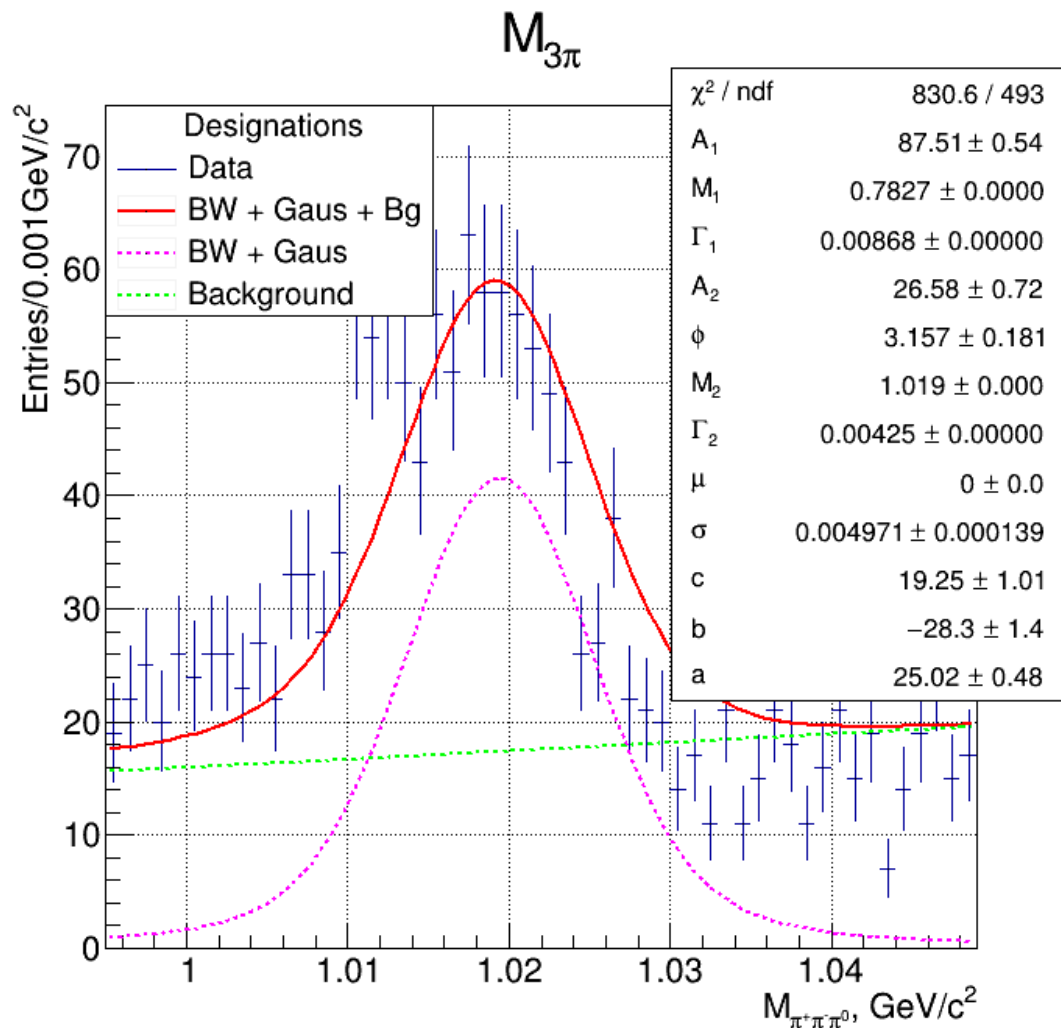
- Был проведен фит к распределению инвариантной массы  $\pi^+\pi^-\pi^0$  в области  $\omega - \phi$  функцией с интерференцией
- Фон описывался полиномами второго порядка
- Массы зафиксированы на табличных значениях

# Сравнение результатов с закрепленными и незакрепленными массами



Когда массы участвуют в фите:  $M_\omega = 0.783$  ГэВ почти не изменяется, в то время как  $M_\phi = 1.017$  ГэВ сдвигается на 2 МэВ'а.

# Нахождение $N_\phi$



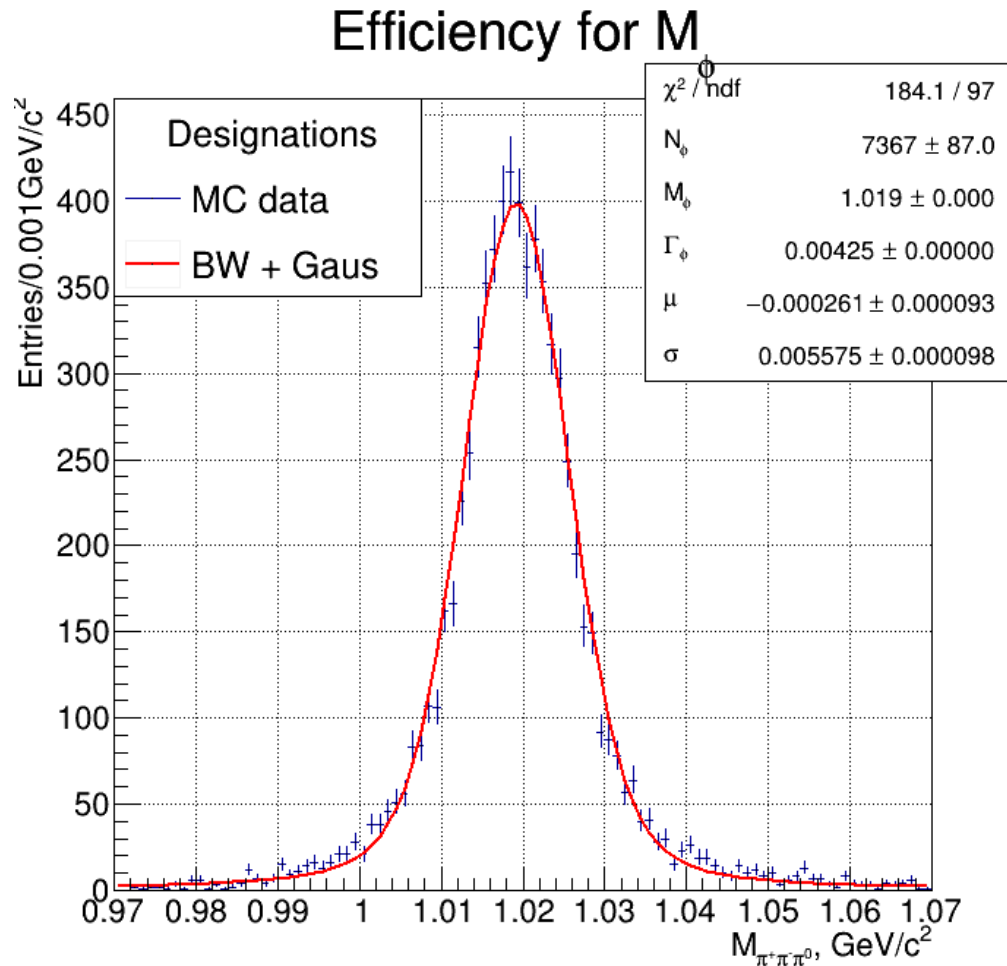
$N_\phi$  вычисляется как интеграл от  $|A_2|^2$  в области от 0.980 до 1.058 ГэВ. Параметры функции  $A_2$  берутся из фита. На картинке  $|A_2|^2$  показан розовой пунктирной линией.

$\sigma_{N_\phi}$  вычисляется с использованием ковариационной матрицы параметров, полученных в фите.

$N_\phi = 682 \pm 37$  – закрепленные массы

$N_\phi = 720 \pm 37$  – не закрепленные массы

# Расчет эффективности



Для оценки эффективности использовалось сигнальное МС. Расчет производится по формуле:

$$\epsilon = \frac{N_\phi}{N_{total}}$$

где  $N_\phi$  вычислялось также, как и для данных.

После подставки значений и расчета значения и погрешностей:

$$\epsilon = 7.03 \pm 0.08 \%$$



# Расчет ширины распада и погрешностей. Статистическая ошибка

Парциальная ширина распада  $J/\psi \rightarrow \phi\eta$ , измеренная по каналам  $\eta \rightarrow \gamma\gamma$  и  $\phi \rightarrow \pi^-\pi^+\pi^0$ :

$$Br(J/\psi \rightarrow \phi\eta) = \frac{N_\phi}{N_{J/\psi} \cdot \epsilon \cdot Br(\eta \rightarrow \gamma\gamma) \cdot Br(\phi \rightarrow \pi^-\pi^+\pi^0)} = 7.22 \cdot 10^{-4}$$

Статистическая ошибка:

$$\sigma_{Br(J/\psi \rightarrow \phi\eta)}^2 = \frac{\sigma_{N_\phi}^2}{N_\phi^2} \cdot Br^2(J/\psi \rightarrow \phi\eta) = (0.39 \cdot 10^{-4})^2$$

# Оценка систематических погрешностей

Систематическая ошибка находилась как сумма относительных ошибок, среди которых:

- 1) Ошибка на число  $J/\psi$  в данных:  $\sigma_{J/\psi} = 0.05 \cdot 10^{-4}$
- 2) Ошибки ширин распадов  $\phi \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$  и  $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ :  $\sigma_{\phi \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0} = 0.33 \cdot 10^{-4}$ ,  $\sigma_{\eta \rightarrow \gamma\gamma} = 0.20 \cdot 10^{-4}$
- 3) Ошибка на эффективность: конечная статистика МС и различие в эффективности реконструкции треков в данных и МС:  $0.45 \cdot 10^{-4}$

Считая, что все эти источники статистически независимы и складывая ошибки квадратично получим:  $\sigma_{syst} = 0.48 \cdot 10^{-4}$

Систематические погрешности оценены не полностью:

- нет систематики связанной с описанием интерференции
- нет систематики связанной с критериями отбора

# Заключение

Суммируя выше сказанное, кратко перечислим основные этапы работы:

- На основе программного обеспечения эксперимента BESIII написана программа для отбора и анализа событий процесса  $J/\psi \rightarrow \phi\eta$ ,  $\phi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ ,  $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ .
- Осуществлен отбор событий искомого процесса в данных по рождению  $J/\psi$ , набранных экспериментом BESIII в 2009 году, а так же в “официальном” BESIII Монте-Карло для распадов  $J/\psi$  по всем возможным каналам.
- Выполнено Монте-Карло моделирование изучаемого процесса.
- Проведен анализ фоновых процессов и разработана процедура их подавления.

- В данных в спектре инвариантных масс  $M_{3\pi}$  было выявлено явное искажение по сравнению с Монте-Карло моделированием. Это искажение было удовлетворительно описано в рамках гипотезы интерференции между распадами  $J/\psi \rightarrow \phi\eta$  и  $J/\psi \rightarrow \omega\eta$ .
- Выполнена неполная оценка систематических погрешностей и поэтому полученная систематическая погрешность заведомо ниже реальной. Показано, что в данном анализе даже заниженная систематическая погрешность превосходит статистическую, и, следовательно, увеличение статистики данных не позволит существенно улучшить оценку ошибки.
- Измерена относительная ширина распада:

$$Br(J/\psi \rightarrow \phi\eta) = (7.22 \pm 0.39_{stat} \pm 0.48_{syst}) \cdot 10^{-4} - \text{результат}$$

$$Br(J/\psi \rightarrow \phi\eta) = (7.5 \pm 0.8) \cdot 10^{-4} - \text{из PDG}$$

На основе этих результатов можно сделать вывод, что исследуемый канал распада  $\phi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  не имеет преимуществ перед каналом  $\phi \rightarrow K^+K^-$

Спасибо за внимание!