

**Поиск рождения одиночного  
 $f_1(1285)$ -мезона в  $e^+e^-$  столкновениях**

**Бердюгин А.В. , Дружинин В.П.**

**СНД – ВЭПП-2000**

# Текущее состояние

Однофотонная аннигиляция – доминирующий механизм  $e^+e^- \rightarrow$  адроны  
Двухфотонная аннигиляция подавлена в  $\alpha^2$  раз

Наблюдаемые процессы двухфотонной аннигиляции:

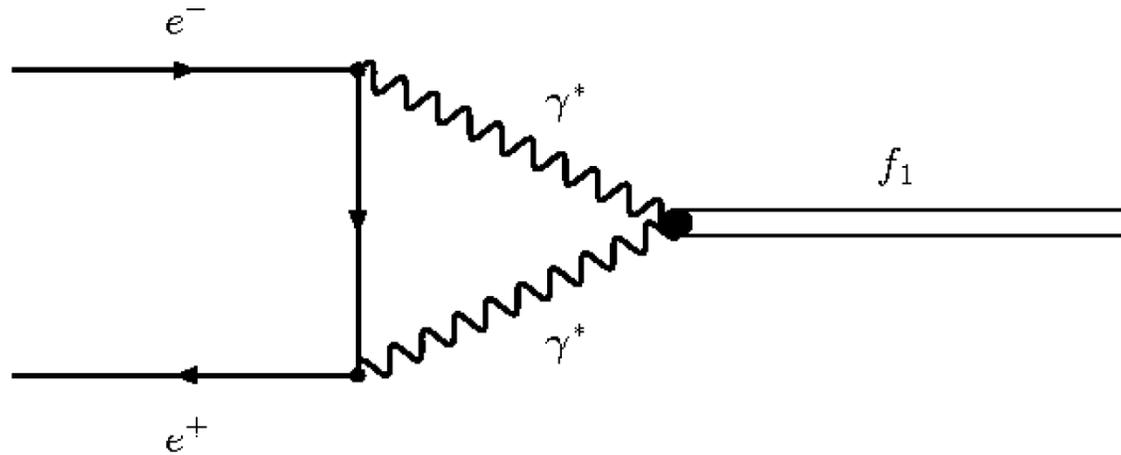
$$e^+e^- \rightarrow \rho^0\rho^0$$

$$e^+e^- \rightarrow \Phi\rho^0$$

Установленные верхние пределы:

$$e^+e^- \rightarrow \eta, \eta', f_0(975), f_2(1270), f_0(1300), a_0(980), a_2(1320), X(3872)$$

# $e^+e^- \rightarrow f_1(1285)$



Верхний предел ( Phys. Rev. D 96, 076004 ):

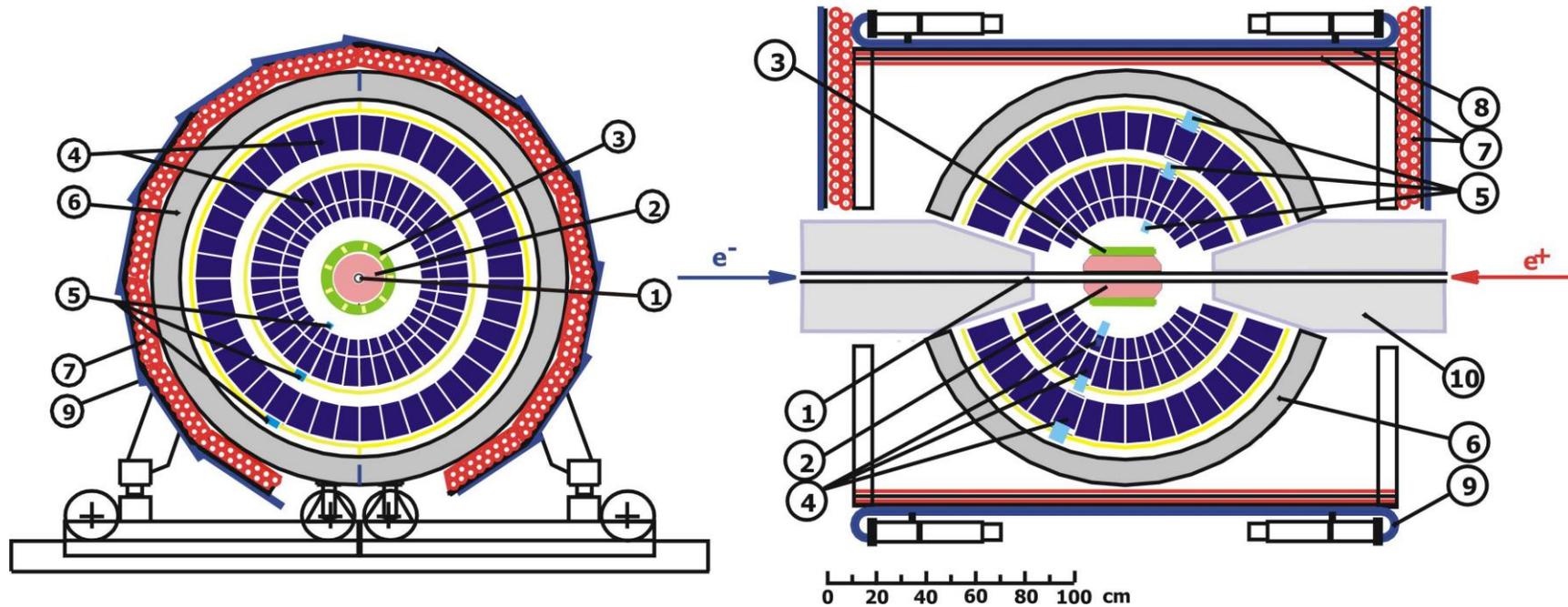
$$B(f_1 \rightarrow e^+e^-) = (3 - 8) \cdot 10^{-9}$$

$$\sigma(e^+e^- \rightarrow f_1) = \frac{12\pi}{m_{f_1}^2} B(f_1 \rightarrow e^+e^-) = 27 - 71 \text{ пб}$$

- Рождение через виртуальные фотоны
- Основные моды распада:
  - $\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$
  - $\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$
  - $\eta\pi^+\pi^-$
  - $\eta\pi^0\pi^0$  (17.3 ± 0.7)%

# Детектор СНД на ВЭПП-2000

$\mathcal{L} = 15.1 \text{ пб}^{-1}$  при  $2E_{\text{beam}} = 1.2 - 1.4 \text{ ГэВ}$   
30% при  $2E_{\text{beam}} = 1.280$  и  $1.282 \text{ ГэВ}$



1 – beam pipe, 2 – tracking system, 3 – aerogel Cherenkov counter, 4 – NaI(Tl) crystals, 5 – phototriodes, 6 – iron muon absorber, 7–9 – muon detector, 10 – focusing solenoids.

# Исследуемый процесс $e^+e^- \rightarrow f_1$

- Канал распада:  $f_1 \rightarrow \eta\pi^0\pi^0$ ,  $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ ,  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$
- Доминирующее промежуточное состояние  $a_0^0\pi^0$  ( $73 \pm 8$ )%
- + промежуточное состояние  $f_0(500)\eta$

## Основные фоновые процессы:

$$e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma \rightarrow 5\gamma$$

$$e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0\pi^0 \rightarrow 3\pi^0\gamma \rightarrow 7\gamma$$

$$e^+e^- \rightarrow \eta\gamma \rightarrow 3\pi^0\gamma \rightarrow 7\gamma$$

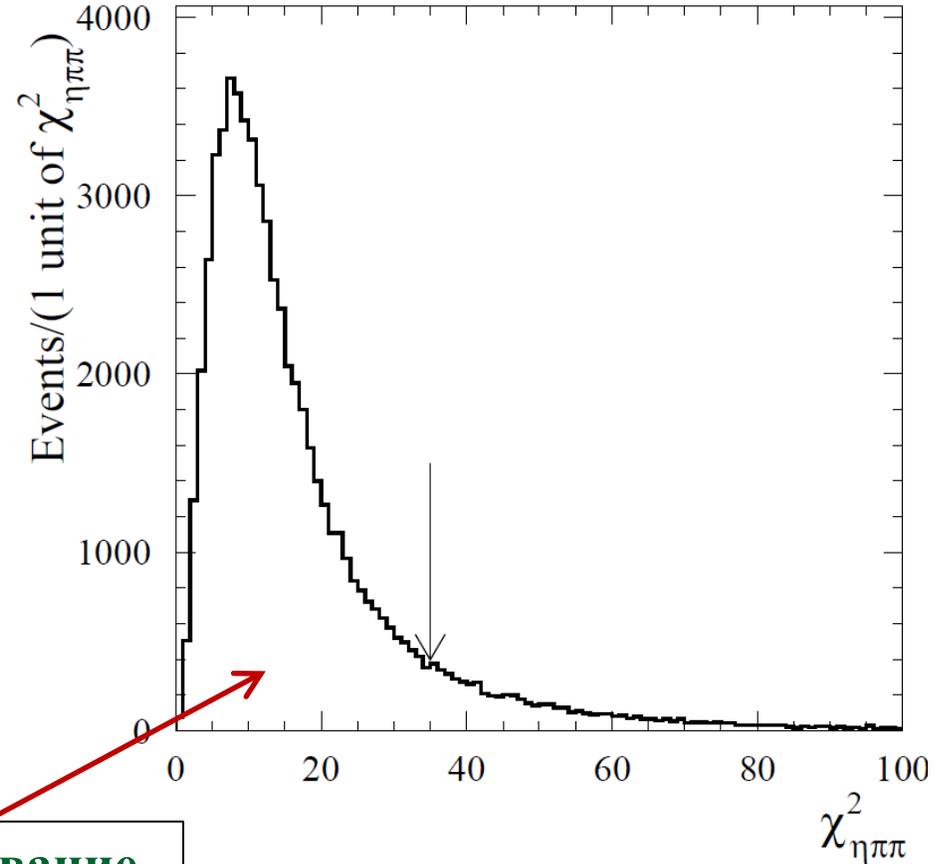
# Условия отбора

## Предварительные:

- $N_{\text{ch}} = 0 ; N_{\gamma} = 6$
- Не сработала мюонная система
- $0.7 < E_{\text{tot}}/E_{\text{cm}} < 1.2 ; P_{\text{cal}}/E_{\text{cm}} < 0.3$
- $E_{\text{tot}}/E_{\text{cm}} - P_{\text{cal}}/E_{\text{cm}} > 0.7$

## Кинематический фит:

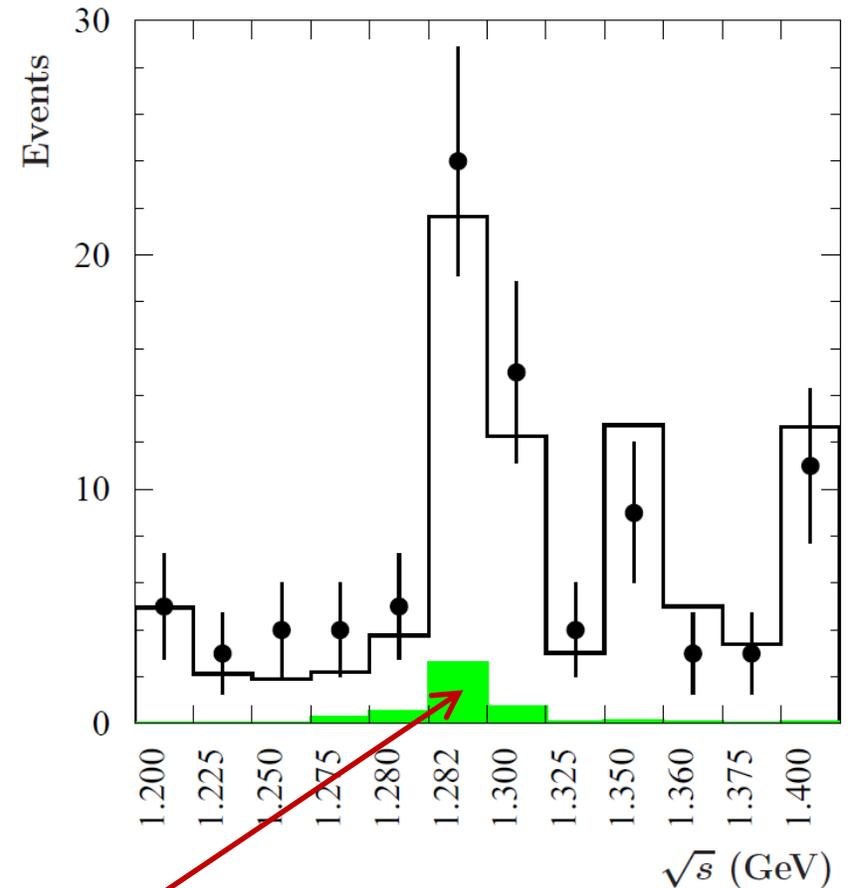
- $\chi^2 (e^+e^- \rightarrow \eta \pi^0 \pi^0 \rightarrow 6\gamma) < 35$



Моделирование  
 $f_1 \rightarrow \eta\pi^0\pi^0$

# Ожидаемое число событий

- Отобрано 90 событий
- Расчетный фон  $86 \pm 1$  событие
- Ожидаемый эффект  
при  $\sigma(e^+e^- \rightarrow f_1) = 50$  пб 4.7 событий
- Доминирование процесса  $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0$  (90%)



Моделирование  
 $f_1 \rightarrow \eta\pi^0\pi^0$

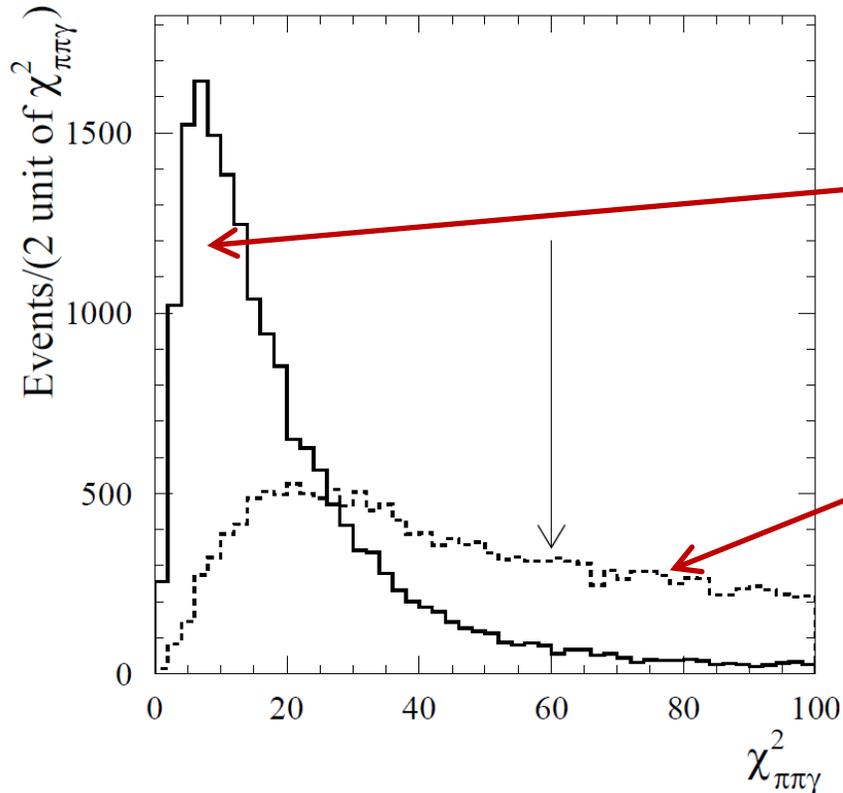
# Подавление фона

Кинематический фит:

➤  $\chi^2 (e^+e^- \rightarrow \pi^0 \pi^0 \gamma) > 60$

Условие на максимальную энергию фотона:

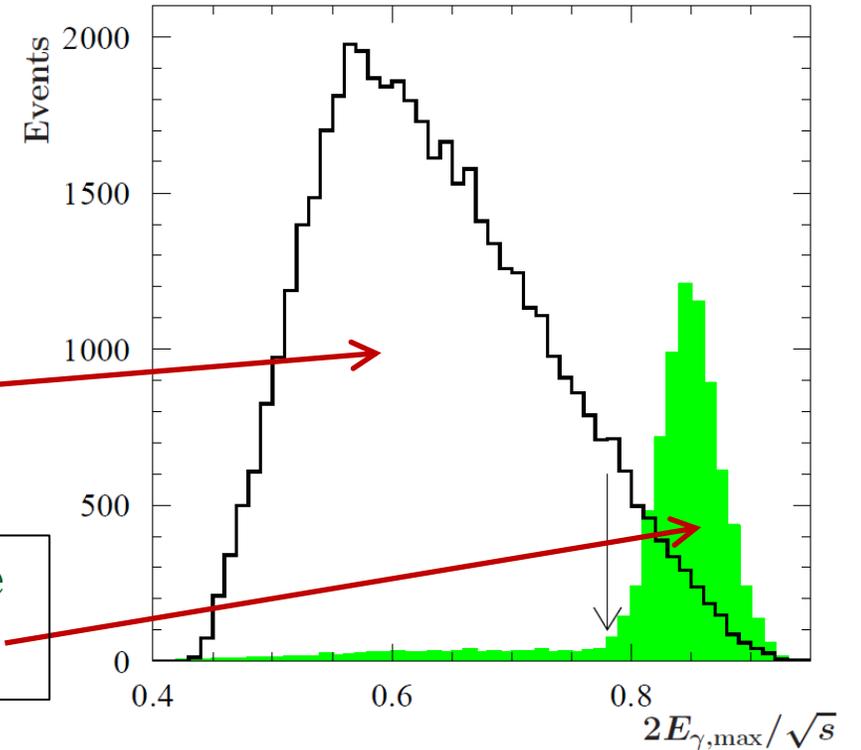
➤  $2E_{\gamma, \max} / \sqrt{s} < 0.78$



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

Моделирование  
 $f_1 \rightarrow \eta \pi^0 \pi^0$

Моделирование  
 $e^+e^- \rightarrow \eta \gamma$



# Подавление фона

## Кинематический фит:

➤  $e^+e^- \rightarrow b\gamma$

$$|M_{\gamma\gamma} - M_{\pi^0}| < 35 \text{ МэВ}$$

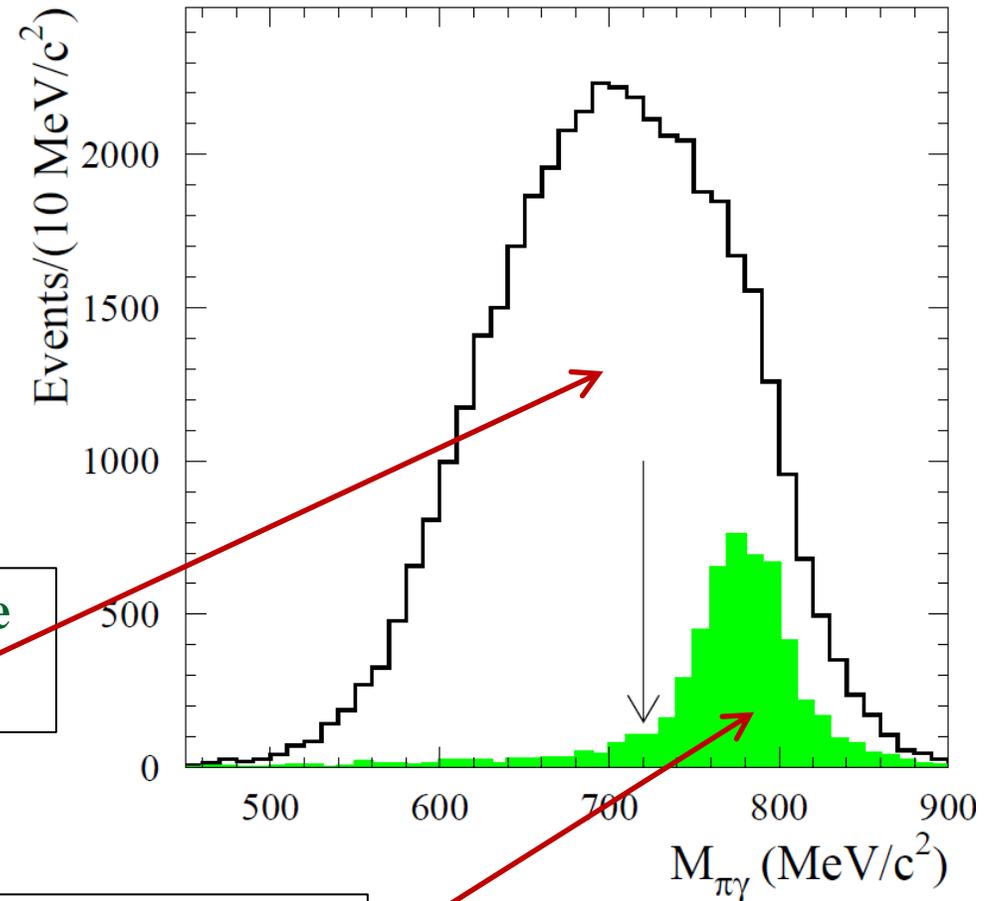
$$|M_{3\gamma} - M_{\omega}| \text{ минимальна}$$

$$M_{\pi\gamma} > 720 \text{ МэВ}$$

- Подавление фона от  $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0\pi^0$  в 10 раз

Моделирование  
 $f_1 \rightarrow \eta\pi^0\pi^0$

Моделирование  
 $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0(\gamma)$



# Число отобранных событий

Условия отбора	$N_{\text{data}}$	$N_{\text{bkg}}$	$N_{\text{sig}}$
$\chi^2 (e^+e^- \rightarrow \eta \pi^0 \pi^0) < 35$	<b>90</b>	<b>86</b>	<b>4.7</b>
+ $\chi^2 (e^+e^- \rightarrow \pi^0 \pi^0 \gamma) > 60$	<b>13</b>	<b>15.5</b>	<b>3.7</b>
+ $2E_{\gamma, \text{max}} / \sqrt{s} < 0.78$	<b>10</b>	<b>9.4</b>	<b>3.3</b>
+ $M_{\pi\gamma} > 720$ МэВ	<b>2</b>	<b>1.1</b>	<b>1.9</b>

➤ Ожидаемый эффект при  $\sigma(e^+e^- \rightarrow f_1) = 50$  пб

# Число отобранных событий

$\sqrt{s}$ (ГэВ)	$L$ (нб $^{-1}$ )	$N$	$N_{bkg}$	$\sqrt{s}$ (ГэВ)	$L$ (нб $^{-1}$ )	$N$	$N_{bkg}$
1.200	1185	0	$0.054 \pm 0.010$	1.300	2220	0	$0.108 \pm 0.021$
1.225	577	0	$0.028 \pm 0.005$	1.325	559	0	$0.037 \pm 0.007$
1.250	467	0	$0.025 \pm 0.005$	1.350	1945	0	$0.124 \pm 0.022$
1.275	516	0	$0.022 \pm 0.005$	1.360	826	0	$0.080 \pm 0.012$
1.280	740	0	$0.045 \pm 0.008$	1.375	612	0	$0.057 \pm 0.008$
1.282	3451	2	$0.252 \pm 0.044$	1.400	2024	0	$0.275 \pm 0.032$

# Аппроксимация данных

$$N_i^{\text{th}} = \varepsilon \sigma_{\text{vis}}(\sqrt{s_i}) L_i + N_{\text{bkg},i} R_{\text{bkg}}$$

$$\sigma_{\text{vis}}(\sqrt{s}) = \int_0^{x_{\text{max}}} W(s, x) \sigma_{\text{B}}(\sqrt{s(1-x)}) dx$$

$$\sigma_{\text{B}}(\sqrt{s}) = \sigma(e^+e^- \rightarrow f_1) \frac{m_{f_1}^2 \Gamma^2}{(s - m_{f_1}^2)^2 + m_{f_1}^2 \Gamma^2} \frac{m_{f_1}^3 P(s)^3}{s^{3/2} P(m_{f_1}^2)^3}$$

$$\sigma(e^+e^- \rightarrow f_1) = (12\pi/m_{f_1}^2) B(f_1 \rightarrow e^+e^-)$$

## Свободные параметры:

- Сечение в максимуме резонанса
- Масштабный множитель  $R_{\text{bkg}} (0^{+0.4})$

**Радиационные поправки уменьшают видимое сечение в максимуме резонанса на 20 % по сравнению с борновским сечением**

# Результаты аппроксимации

## Эффективность регистрации:

- $a_0(980)\pi^0$  – 4.9%
- $f_0(500)\eta$  на 25% ниже
- Доля  $a_0(980)\pi^0$  –  $(73 \pm 8)\%$
- $B(f_1(1285) \rightarrow \eta\pi^0\pi^0) = (17.3 \pm 0.7)\%$

---

➤  $\epsilon = (0.79 \pm 0.08)\%$ .

## Систематические ошибки:

- эффективности регистрации 5%
- измерения светимости 2.2%

## Результаты измерения:

$$\sigma(e^+e^- \rightarrow f_1) = 54_{-23}^{+32} \text{ пб}$$

$$B(f_1(1285) \rightarrow e^+e^-) = 6.1_{-2.6}^{+3.6} \times 10^{-9}$$

**Значимость 2.7 $\sigma$**

## Заключение

- В шестифотонном конечном состоянии были выделены 2 события процесса  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^0\pi^0$  в максимуме  $f_1(1285)$  резонанса и ноль вне резонанса.
- Что соответствует сечению  $\sigma(e^+e^- \rightarrow f_1) = 54_{-23}^{+32}$  пб
- Вероятности распада  $B(f_1(1285) \rightarrow e^+e^-) = 6.1_{-2.6}^{+3.6} \times 10^{-9}$
- Значимость составляет  $2.7\sigma$
- Мы рассматриваем полученный результат как первое указание на существование процесса  $e^+e^- \rightarrow f_1(1285)$
- Измеренное значение вероятности распада согласуется с теоретическим предсказанием  $B(f_1(1285) \rightarrow e^+e^-) = (3 - 8) \times 10^{-9}$