

Недавние результаты эксперимента BES

V.Dorofeev, R.Dzheliadin, A.Ekimov, Yu.Gouz, A.Ivashin, V.Kabachenko, I.Kachaev, A.Karyukhin, Yu.Khokhlov, V.Konstantinov, M.Makouski, V.Matveev, A.Miagkov, V.Nikolaenko, A.Ostankov, B.Polyakov, D.Ryabchikov, N.Shalanda, M.Soldatov, A.A.Solodkov, A.V.Solodkov, O.Solovianov, A.Zaitsev

- Введение
- Изучение распада $f_1(1285) \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$
- Изучение системы $\omega(780)\phi(1020)$ в реакции перезарядки
- Заключение

Введение

- (Лёгкие) **Скаляры** – «горячая» тема КХД.
- Возбуждения вакуума со спонтанно нарушенной киральной симметрией
- скалярное поле – «Хиггс» КХД
- Избыточное кол-во ? Организация мультиплет(ов) ?

$I=1$ a_0 (980, 1450, ...)

$I=0$ f_0 (400-500, 980, 1300, 1500, 1710...1850)

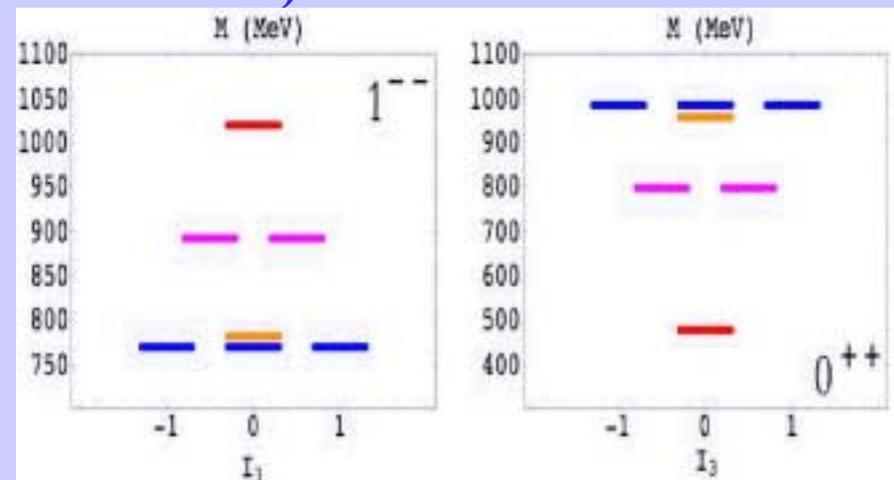
$I=1/2$ κ (700, 1430, ...)

Структура

$(q \bar{q}; q q \bar{q} \bar{q}; MM; gg)$?

Нужны **доп. эксп. способы**

ВЕС: $\eta' \rightarrow \eta\pi\pi$, $a_0(980) \leftrightarrow f_0(980)$



$a_0(980) \leftrightarrow f_0(980)$ смешивание

- $a_0(980) \leftrightarrow f_0(980)$ ~~изоспиновая симметрия~~
чувствительно к параметрам ($M; g_{ab}^2$) \rightarrow структура

- ИС нарушается:

ЭМ

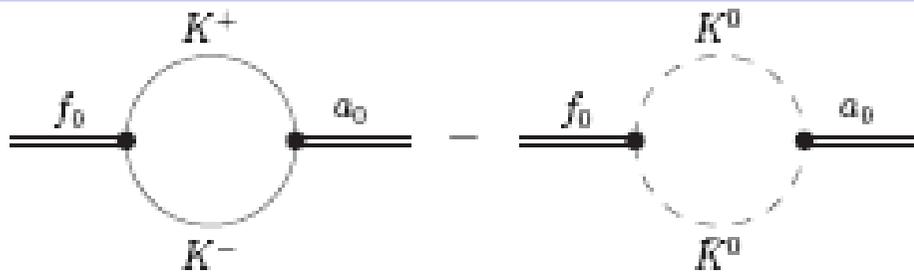
$$(m_d - m_u)/m_s$$

$\omega \rightarrow \pi^+ \pi^-$, $\phi \rightarrow \pi^+ \pi^-$, $\eta/\eta' \rightarrow 3\pi$, $\psi(2s) \rightarrow J/\psi \pi^0 \dots$

- Универсальный (для P, V, B, D) масштаб ИС ~~ИС~~
(расщепление масс и смешивание ω/ρ , η/π)
(Coon, Scadron, PR C 51, 1995)

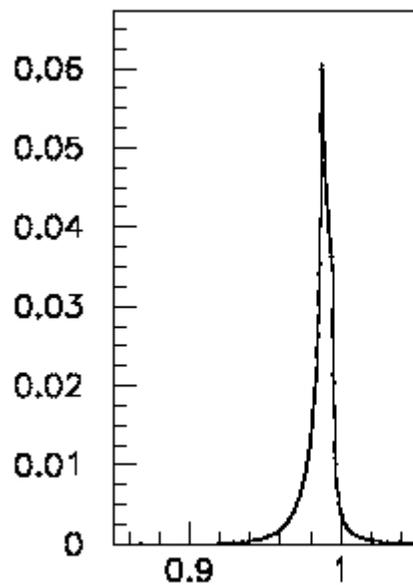
$$\Pi_{ab} = -0.005 \text{ ГэВ}^2$$

- Для $a_0(980) \leftrightarrow f_0(980)$ – новый механизм через K-петли (Achasov, Devyanin, Shestakov PL B88, 1979)

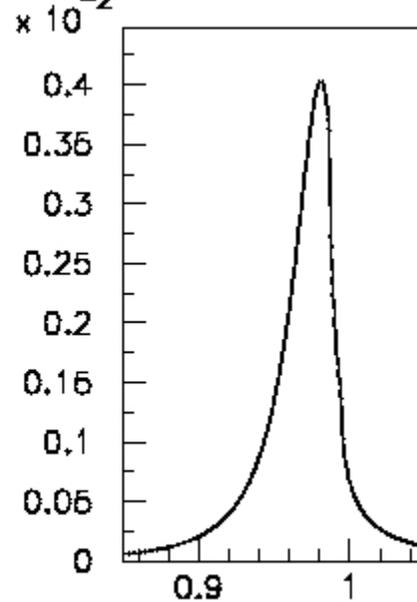


$$|\Pi_{a_0 f_0}| = |\sqrt{s} M_{a_0 f_0}| \approx \frac{g_{a_0 K^+ K^-} g_{f_0 K^+ K^-}}{16 \pi} \left(\frac{m_{K^0}^2 - m_{K^+}^2}{m_{K^0}^2} \right)^{1/2}$$

$a_0(980) \rightarrow f_0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$

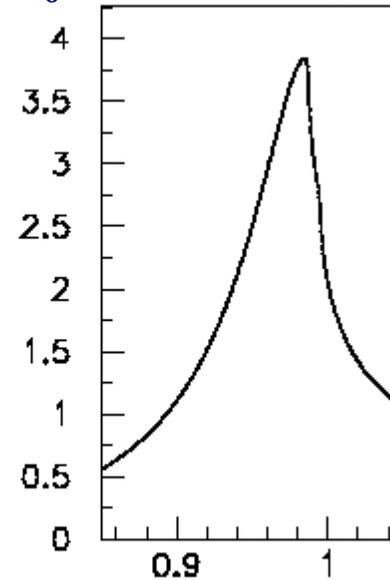


σ Dpi pi Achasov



σ Dpi pi univer

$a_0(980) \rightarrow \eta \pi^0$



σ Deta pi0

«по Ачасову и др.»

«Универсально»

(в т.ч. для S,...)

(предложенные) Эксперименты по $a_0(980) \leftrightarrow f_0(980)$

-- поляризационные эксперименты $\pi^- p_{\uparrow} \rightarrow \eta \pi^0 n$; $p_{\uparrow} + n \rightarrow D e \pi^0 \eta$

-- поиск $J/\psi \rightarrow \gamma f_0(980) \rightarrow \gamma a_0(980)_{(\rightarrow \eta \pi^0)}$

-- поиск в центральном рождении

$pp \rightarrow pp PP \rightarrow pp f_0(980) \rightarrow pp a_0(980)_{(\rightarrow \eta \pi^0)}$

-- поиск $f_1(1285) \rightarrow \pi^0 a_0(980) \rightarrow \pi^0 f_0(980)_{\rightarrow \pi\pi}$ **БЕС (2007-2008)**
(предвар. рез. – в EPJ A38)

N.N.Achasov, G.N.Shestakov, Phys.Rev.D70 (2004) 074015, hep-ph/0312214 ;

N.N.Achasov, S.A.Devyanin, G.N.Shestakov, Yad. Fiz. 33 (1981) 1337; Sov.J.Nucl. Phys. 33 (1981) 715;

Jia-Jun Wu, Qiang Zhao and B.S.Zou, hep-ph 0704.3652 ;

C.Hanhart, B.Kubis, J.R.Pelaez, hep-ph 0707.0262

A.; E. Kudryavtsev, V.E. Tarasov, Yad.Fiz.66 (2003) 1994-2000,2003; nucl-th/0304052

F.Close, A.Kirk, Phys.Lett. B489 (2000) 24

N.N.Achasov and A.V.Kisilev, Phys.Lett. B534 (2002) 83

Изучение распада $f_1(1285) \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$

- Основные каналы: $\eta\pi\pi$, $KK\pi$, 4π
- Распад на 3π ИС ~~С~~ :
 - через смешивание скаляров $f_1 \rightarrow \pi a_0 \rightarrow \pi f_0 \rightarrow 3\pi$
“универсально” и через связь a_0/f_0 с KK

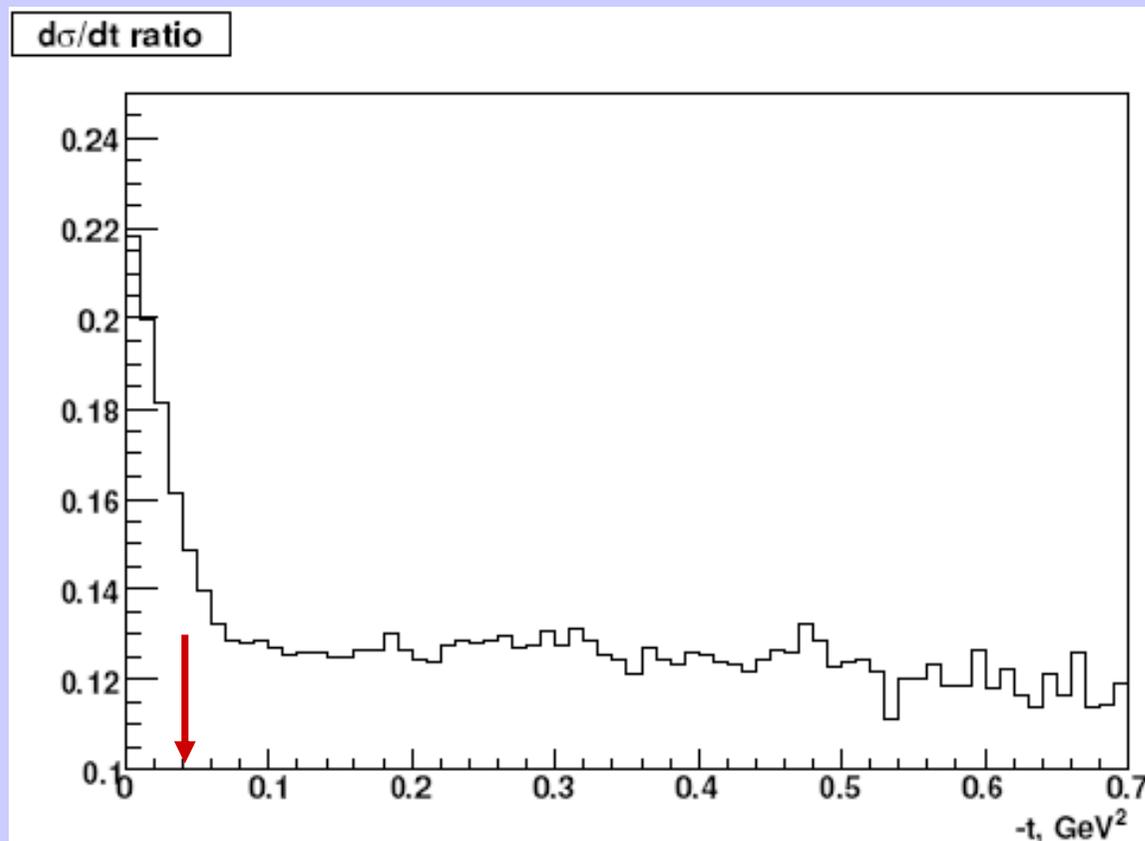
другие возможные механизмы

- $f_1(1285) \leftrightarrow a_1(1260)$ смешивание
($\omega \leftrightarrow \rho$, $\eta \leftrightarrow \pi$, $\Delta \leftrightarrow N$, $\Sigma \leftrightarrow \Lambda$)
- через связь f_1/a_1 с K^*K
- «контактный» $f_1 \rightarrow 3\pi$

Постановка эксперимента

- $\pi^- N \rightarrow (f_1 \pi^-) N$ как источник $f_1(1285)$ (4 сеанса на 3-х энергиях)
- Детально исследована в основной моде распада $\eta \pi \pi$
характеристики и отборы
одинаковая топология (3 заряженных, 2 γ)
использована для нормировки
- «Стандартные» отборы: топология, идентификация, фрагментация пучка, «эксклюзивность»
- Фоновая $\pi^- N \rightarrow N (4\pi)^-$ с изменением G-чётности (π –обмен)
(относительно) подавлена при малых $|t|$ (и больших s)
→ $|t|$ - обрезание
- Дополнительно: $m(\pi^+\pi^-\pi^0) > 800 \text{ МэВ}/c^2$ для отрезания $\eta \pi \pi^-$ и ($|t|$ - «узкого») $\omega \pi \pi^-$

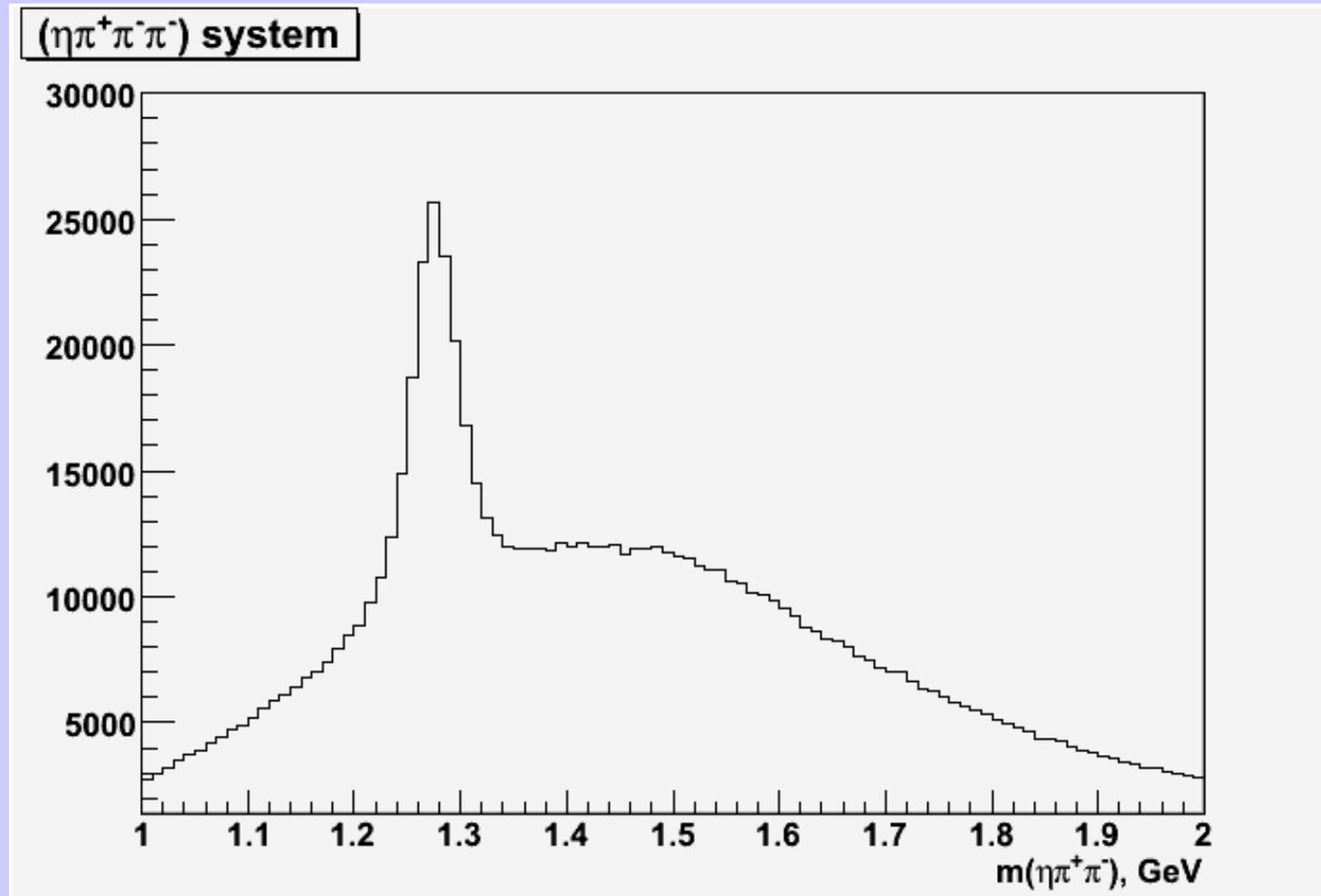
$|t|$ - распределение



Отношение $|t|$ -распределений для

$\pi^- N \rightarrow N \eta \pi^+ \pi^- \pi^-$ и $\pi^- N \rightarrow N \pi^0 \pi^+ \pi^- \pi^-$

Система ($\eta\pi^+\pi^-\pi^-$)

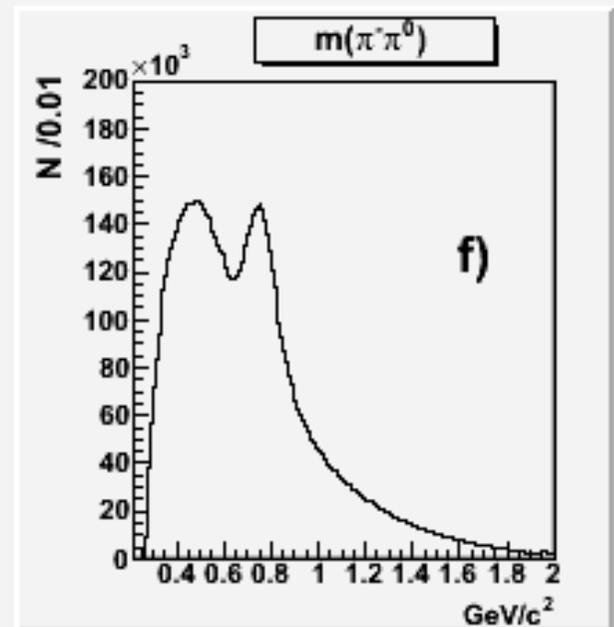
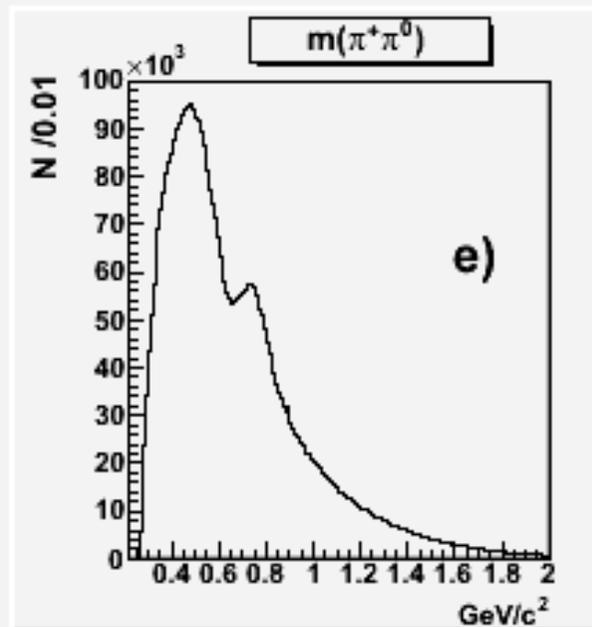
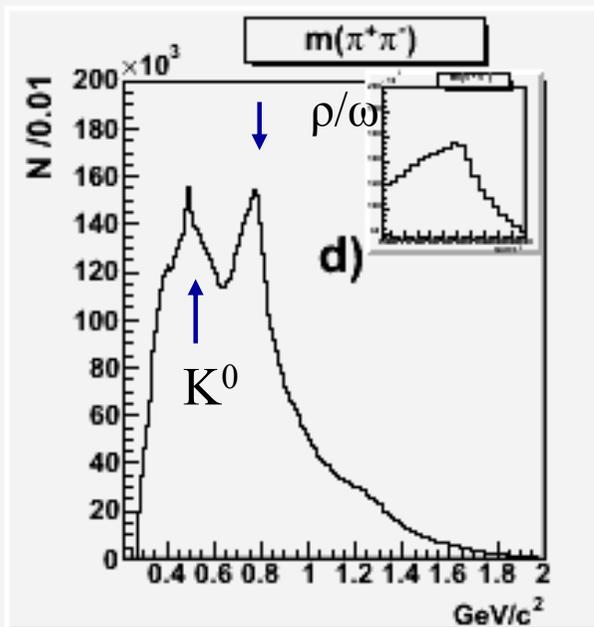
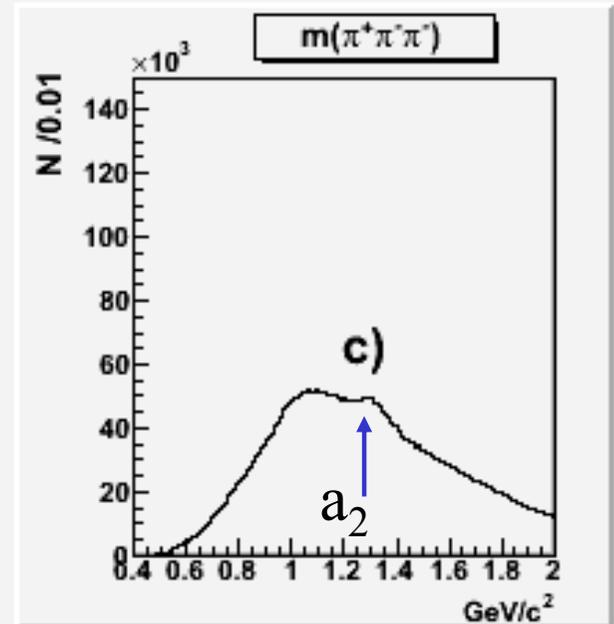
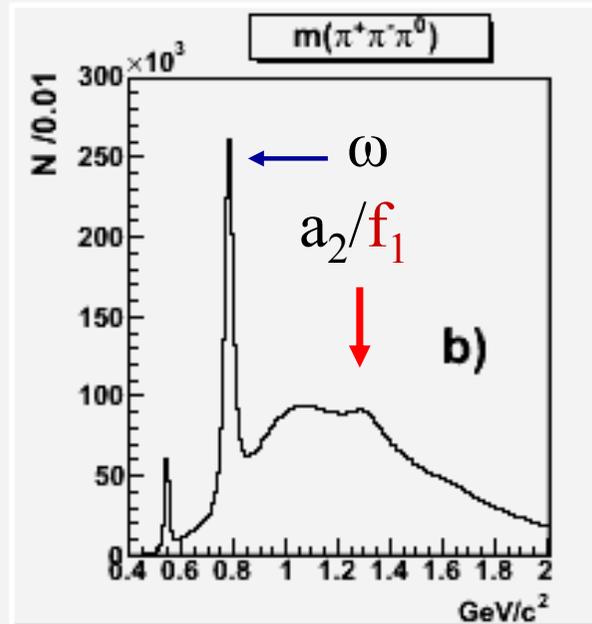
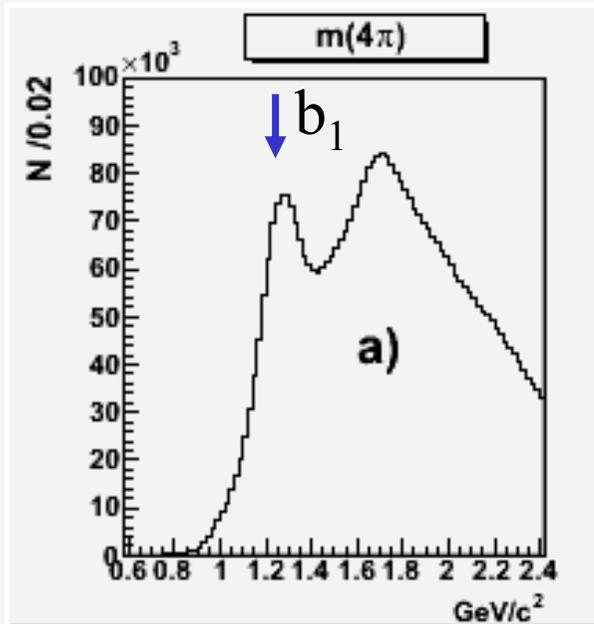


$$N(f_1) = (59.3 \pm 0.6) \times 10^3$$

Система ($\eta\pi^+\pi^-\pi^-$) (продолжение)

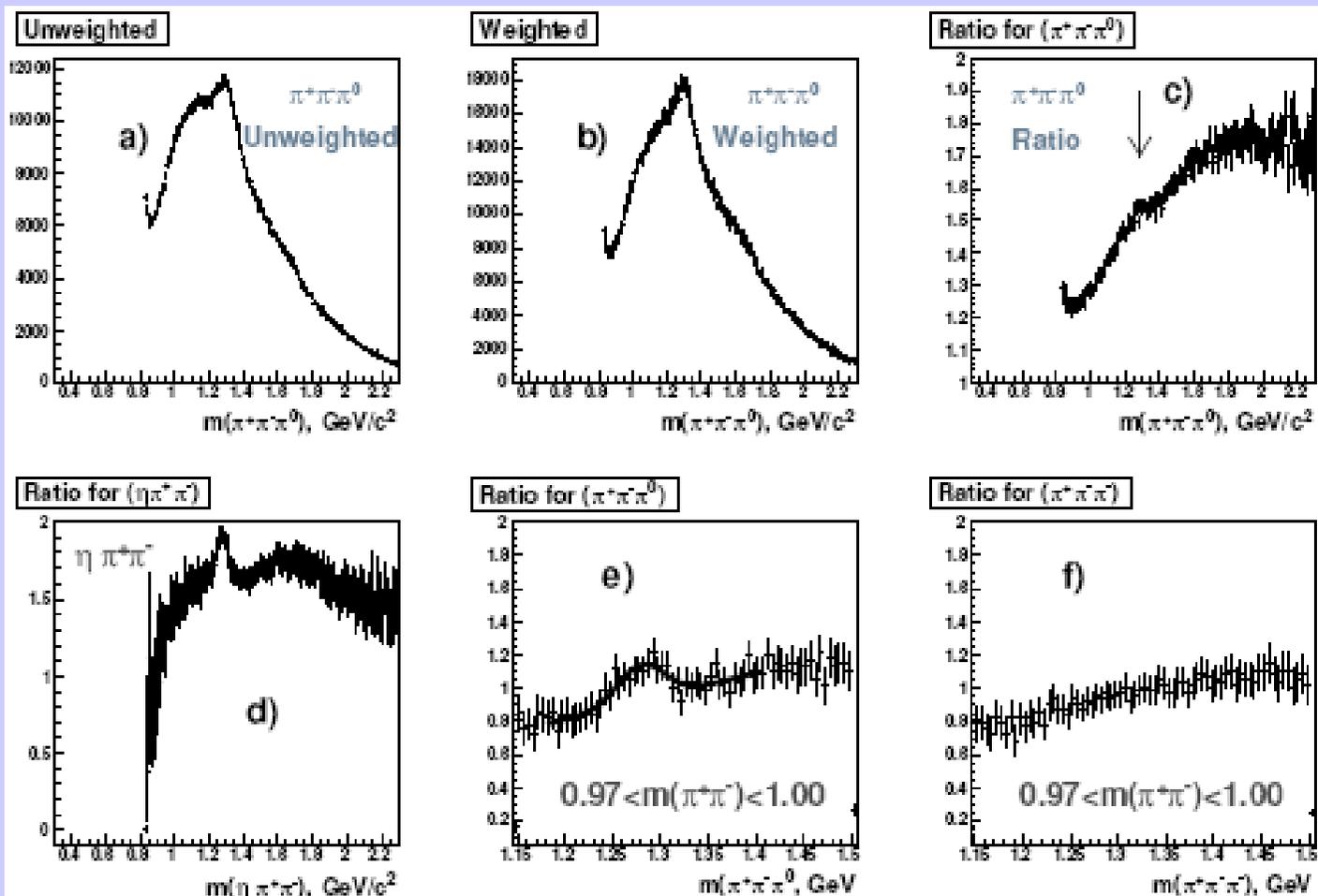
- (доминирует) образование ($f_1\pi^-$) в P -волне с $J^P m\eta = 1^+ 0^+$
- (основной) P -волновой распад $f_1 \rightarrow P S (\pi a_0) \rightarrow \eta\pi\pi\pi$
- угловая часть $A(\Omega) = 3/\sqrt{2} \sin\theta_1 \sin\theta_2 \sin(\varphi_0 - \varphi_2)$
 θ_1 - угол Готфрида-Джексона «спектаторного» π^-
 θ_2 - полярный угол P в f_1 -СЦМ с $Z \parallel p(\text{спект. } \pi^-)$
 φ_0 и φ_2 – азимутальные углы пучкового π^-
и проекции $p(\pi)$ на плоскость $\perp p(\text{спект. } \pi^-)$
- Вес $W_\infty I(\Omega) = A(\Omega)^2 \times \varepsilon(\Omega)$
усиливает сигнал $\pi^- f_1 \rightarrow \pi^- S P$

Система $\pi^0\pi^+\pi^-\pi^-$

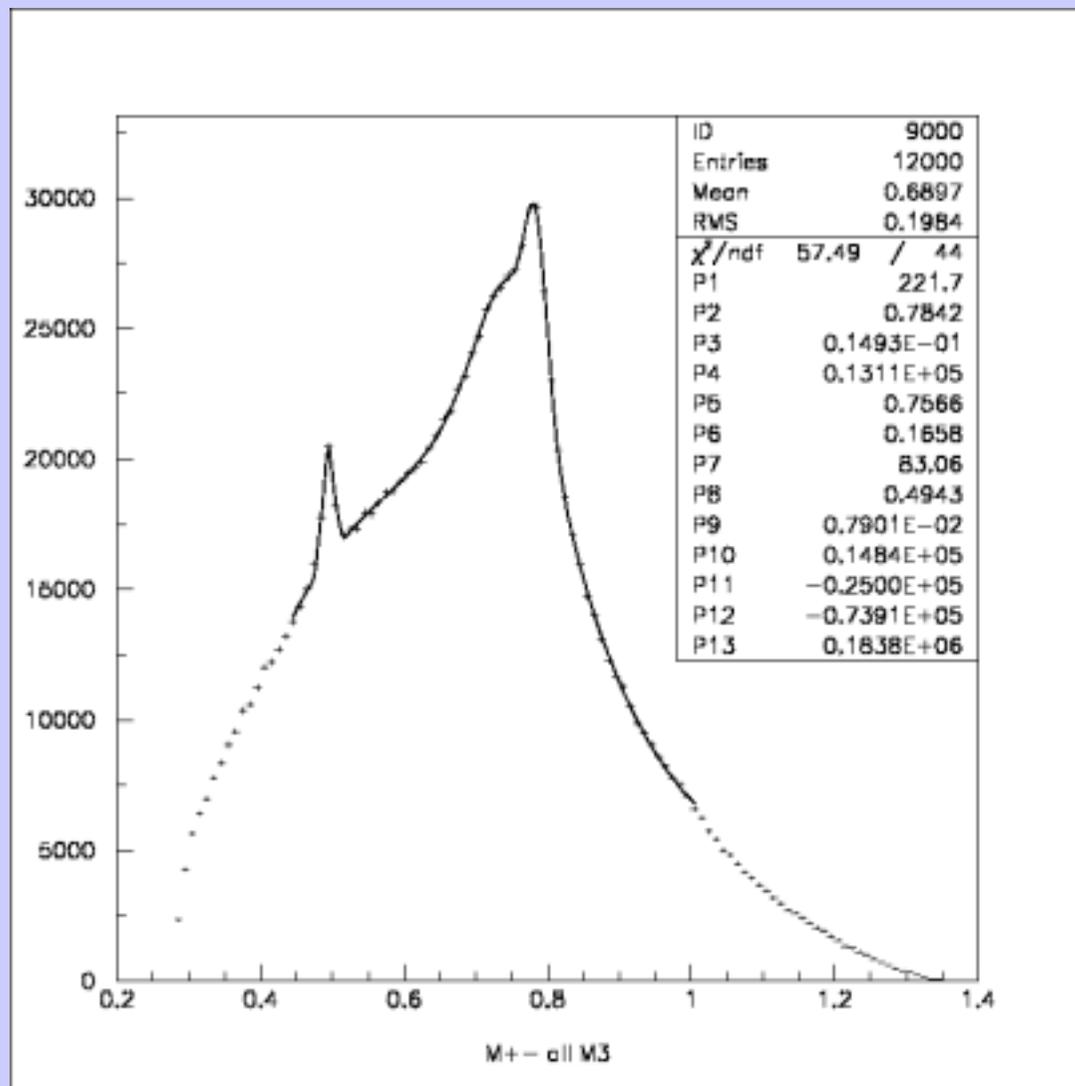


Угловое взвешивание

- $Wm(3\pi) / m(3\pi) = \text{“b/a”} = \text{“c”}$
- $Wm(\eta\pi\pi) / (\eta\pi\pi) = \text{“d”}$
- $\text{“e”} = \text{“c”} \cdot \text{AND. } m(2\pi) \in [970-1000] \text{ МэВ}/c^2$



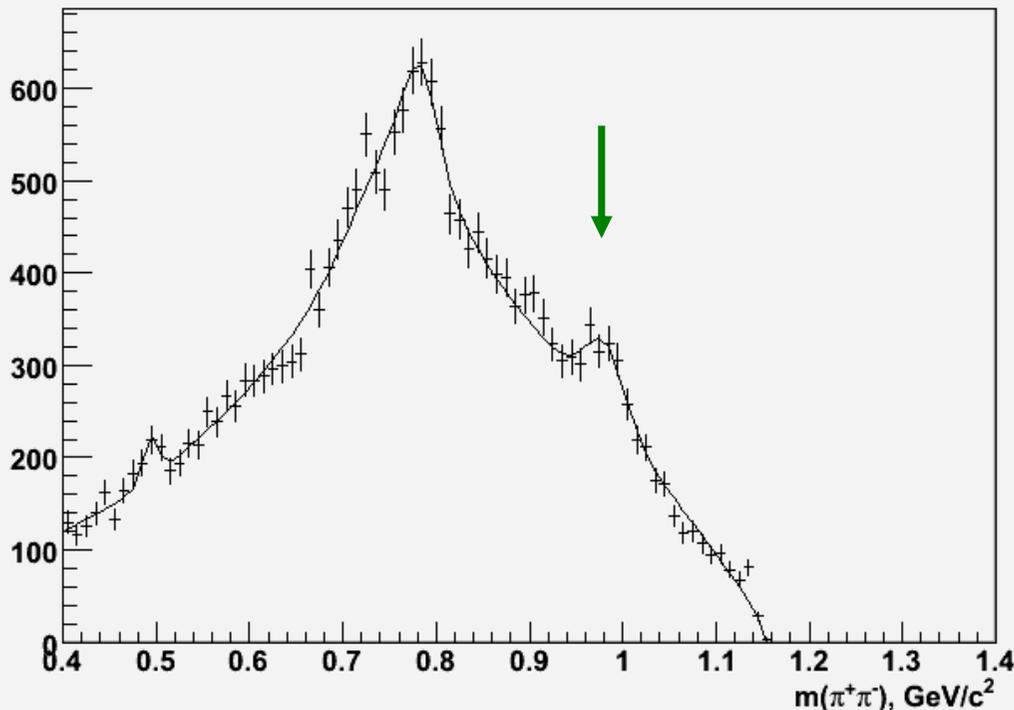
Система $\pi^0\pi^+\pi^-\pi^-$ (продолжение)



Подгонка спектров $m(\pi^+\pi^-)$

- $m(\pi^+\pi^-\pi^0) \in [1.15-1.45] \text{ ГэВ}/c^2$ -- 30 бинов по $10 \text{ МэВ}/c^2$
- $m(\pi^+\pi^-)$ для каждого бина $m(3\pi)$ (во всём диапазоне)
- сигнал на $\sim 980 \text{ МэВ}/c^2$ в « f_1 -центральном» бине
- подгонка $G(K^0) + BW_RS(\rho^0) + G(\omega) + G(\text{“}f_0\text{”}) + Pol \times PS$

$1.280 < m(\pi^+\pi^-\pi^0) < 1.290$

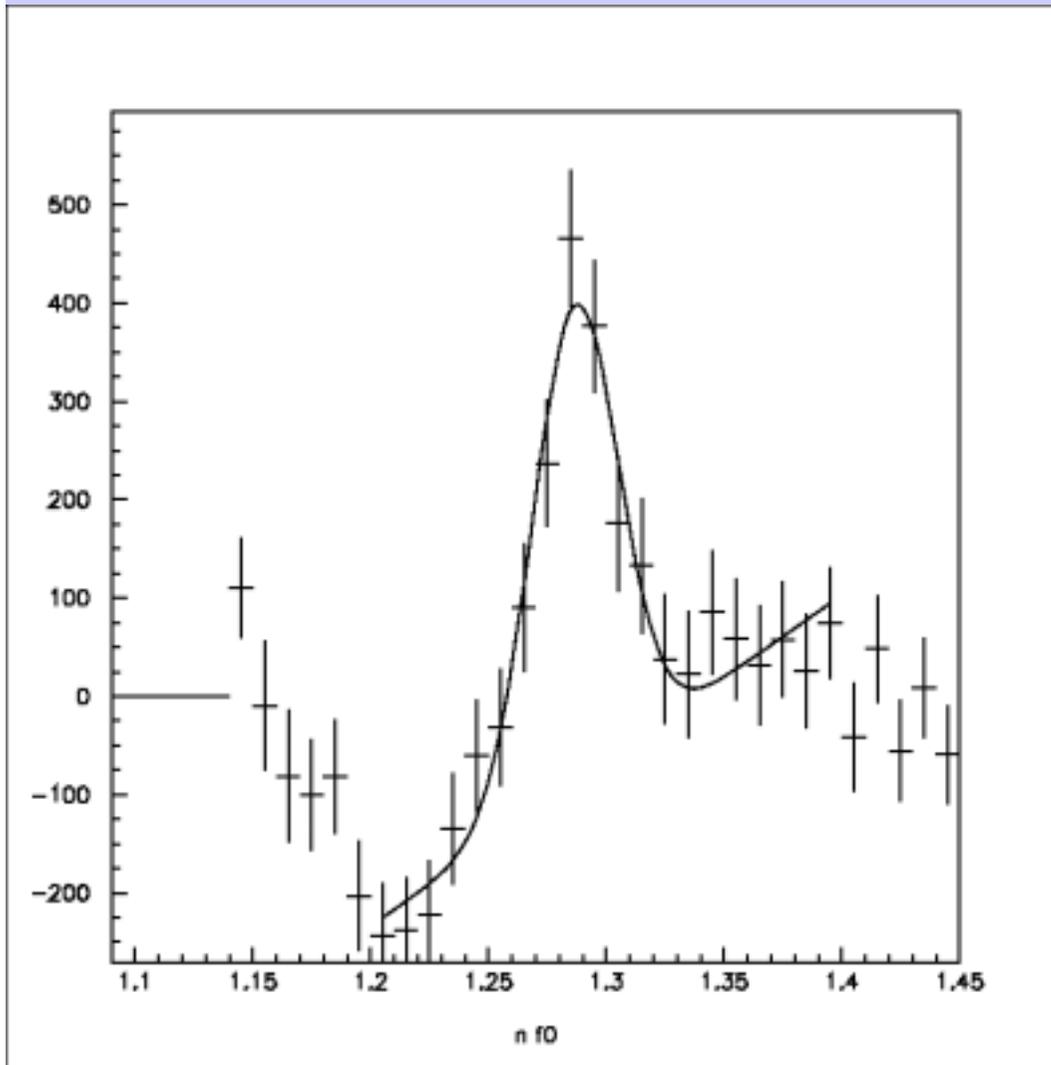


$G(\text{“}f_0\text{”})$ – эффективное описание

« a_0/f_0 » * разрешение

($m \sim 982 \text{ МэВ}$; $\sigma \sim 25 \text{ МэВ}$,
 N - свободно)

$N(\text{“}f_0\text{”})$ vs. $M(3 \pi)$



$$M = 1287 \pm 2 M_{\pi} B/c^2$$

$$\Gamma = 43 \pm 7 M_{\pi} B/c^2$$

$$N(f_1) = 2220 \pm 320$$

Вероятность распада $f_1 \rightarrow \text{“}f_0(980)\text{”} \pi \rightarrow 3\pi$

Экспериментальное значение

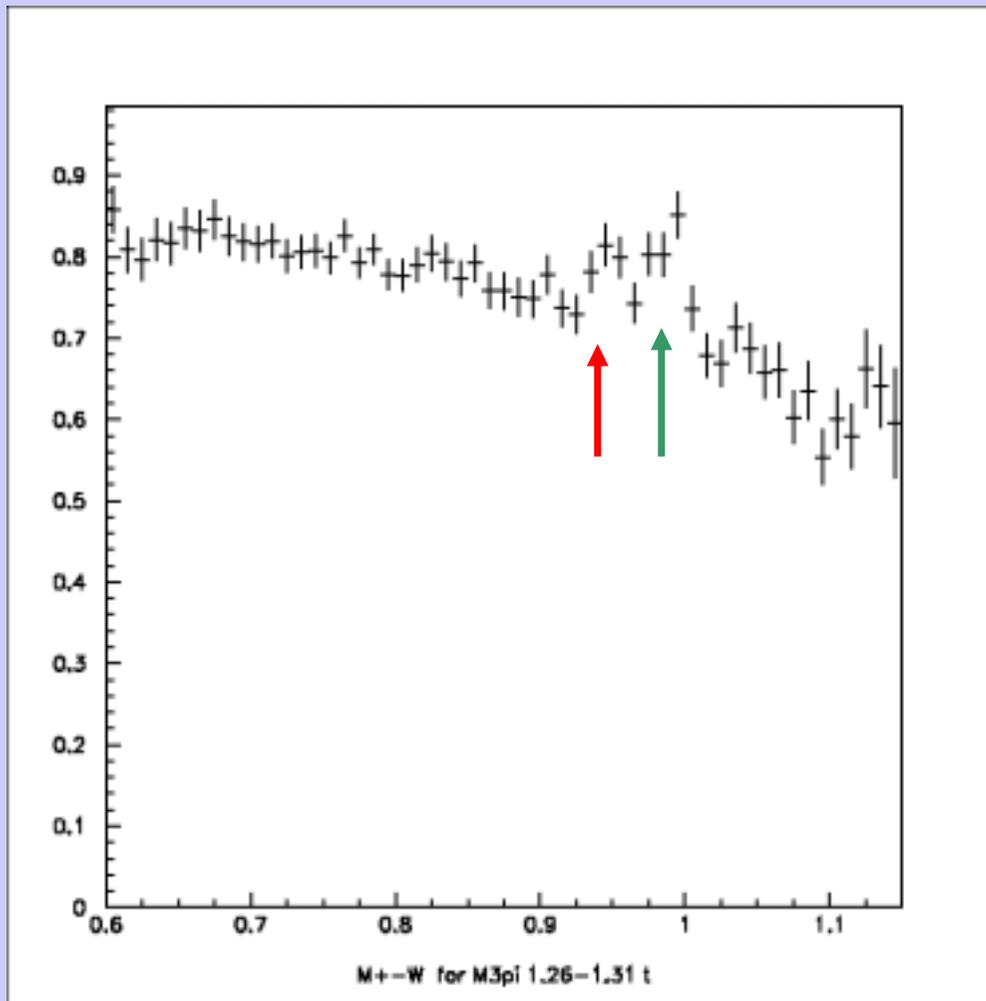
$$\frac{\text{BR}(f_1(1285) \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 (0.97 < m(\pi^+ \pi^-) < 1.00 \text{ GeV}/c^2))}{\text{BR}(f_1(1285) \rightarrow \eta \pi^+ \pi^-)} = (1.4 \pm 0.2 \pm 0.3)\%$$

По модели (Ачасов и др.) (варьируя 6 параметров)

$$\text{BR}(f_1 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0) / \text{BR}(f_1 \rightarrow \eta \pi^+ \pi^-) \sim 0.05 - 0.5 \%$$

- Т.о., эксп. Br - вблизи верхних оценок модели при специфических значениях её параметров (напр., огромная связь f_0 - KK)
- При «предпочитаемых» значениях параметров модель \ll эксп.
- Кроме того: по-видимому, наблюдается дополнительный (помимо “ $f_0(980)$ ”) вклад в изучаемый распад

Дополнительная структура в сигнале при $m(\pi^+\pi^-) \approx 950$ МэВ



- $Wm(2\pi) / m(2\pi)$ для $m(3\pi) \in [1260-1310]$ МэВ/ c^2

- $\uparrow \approx \uparrow$

- σ (“ f_0 ”) ~ 40 МэВ \Rightarrow
 $N(f_1) \approx 4500$

$$\text{BR}(f_1 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0) / \text{BR}(f_1 \rightarrow \eta\pi^+\pi^-) \sim 3\% (!)$$

Ограничение на $f_1(1285) \rightarrow a_1(1260) \rightarrow \rho^\pm \pi^\mp$

$$\text{BR}(f_1 \rightarrow \rho\pi) = \frac{\Gamma_{a_1 \rightarrow \rho\pi}}{\Gamma_{f_1}} \times \left(\frac{\Pi_{a_1 f_1}}{m_{a_1}^2 - m_{f_1}^2 - i(m_{f_1} \Gamma_{f_1} - m_{a_1} \Gamma_{a_1})} \right)^2 \approx \frac{\Pi_{a_1 f_1}^2}{m_{f_1}^2 \Gamma_{f_1} \Gamma_{a_1}}$$

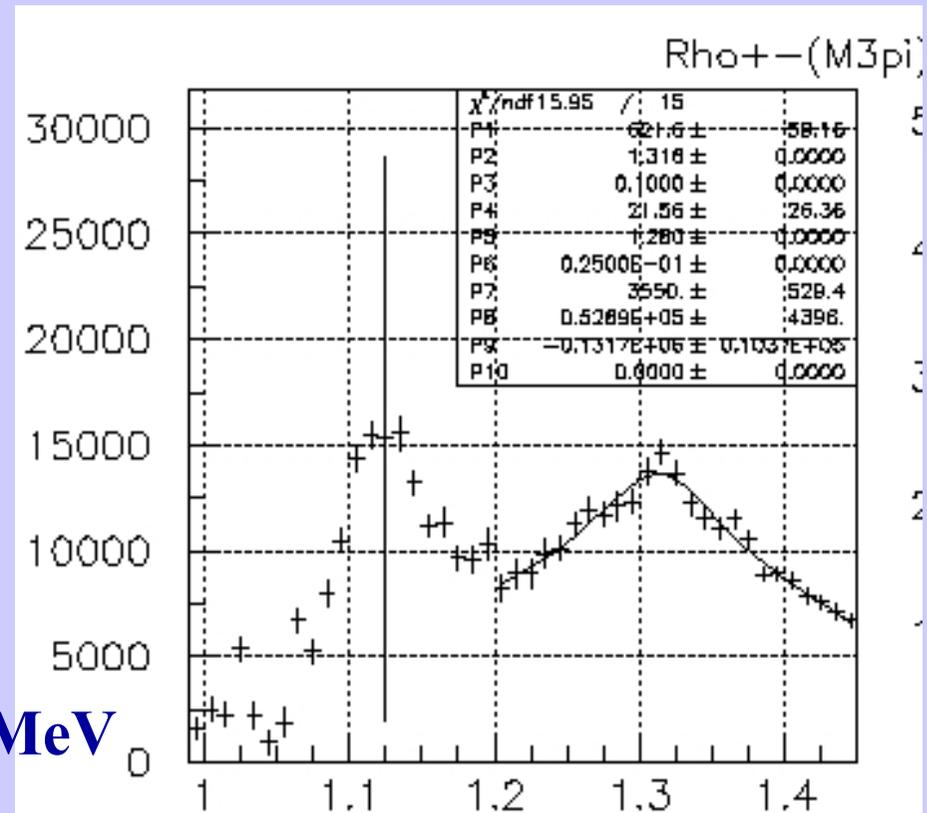
• Побинная ($m_{3\pi}$) подгонка
 $m(\pi^\pm \pi^0) \quad \text{Pol} + \text{BW}(a_2) + G(f_1)$

• $N(f_1) = 2200 \pm 2600$

$$\text{BR}(f_1 \rightarrow \rho^\pm \pi^\mp) = (0.5 \pm 0.6)\%$$

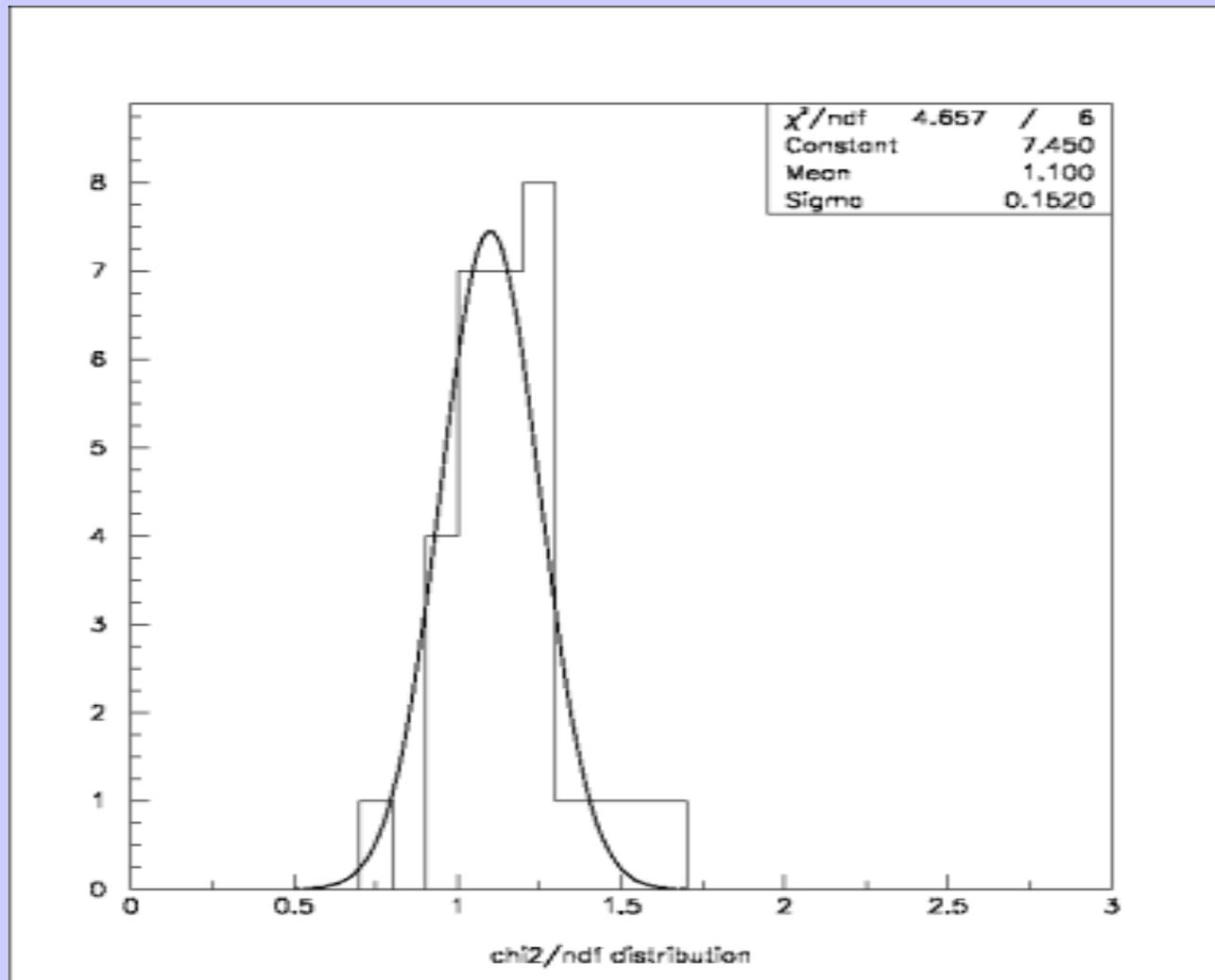
Граница $\text{Br}(f_1 \rightarrow \rho^\pm \pi) < 1\% \Rightarrow$

$\Pi_{f_1 a_1} < 0.007 \text{ GeV}^2$ при $\Gamma_{a_1} = 200 \text{ MeV}$



$N(\rho^\pm)$ vs. $m(\pi^+ \pi^- \pi^0)$

Chi2 распределение



Параметры a0-f0

Набор 1. («максимальный»)

DATA g2a0kk /0.51/, g2a0k0k0 /0.51/, g2a0etapi0 /0.204/

DATA g2f0pipi /0.168/, g2f0pi0pi0 /0.084/

DATA g2f0kk /2.18/, g2f0k0k0 /2.18/

DATA ama0 /0.982/, amf0 /0.975/

Набор 0. («современный»)

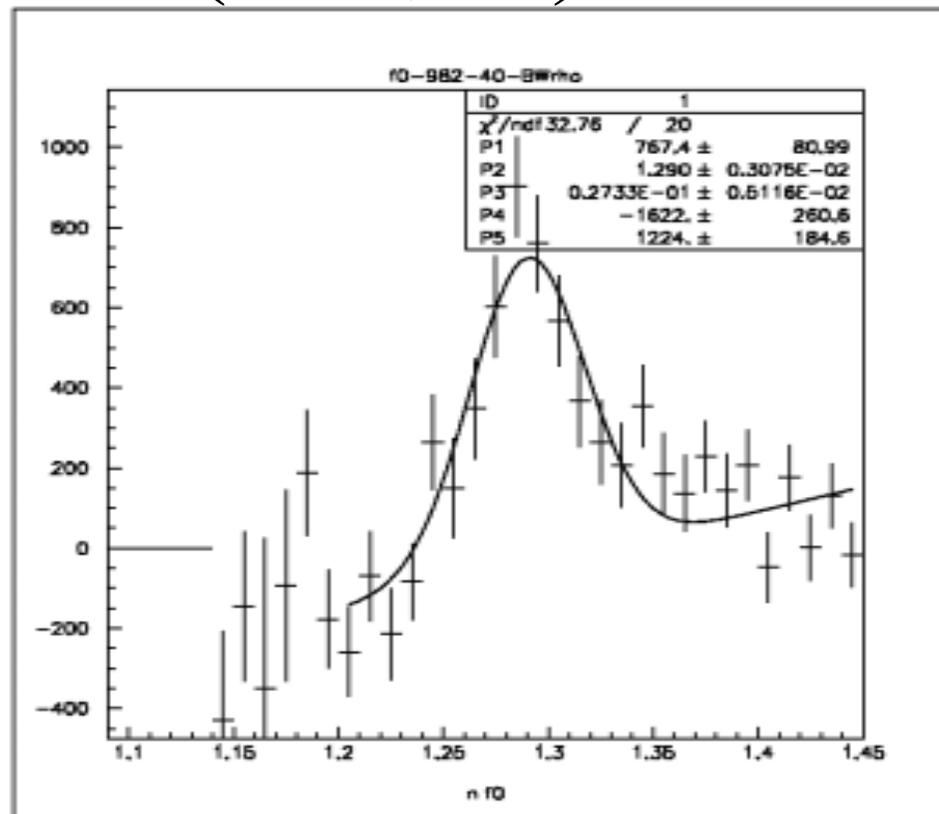
DATA g2a0kk /0.2/, g2a0k0k0 /0.2/, g2a0etapi0 /0.25/

DATA g2f0pipi /0.066667/, g2f0pi0pi0 /0.033333/

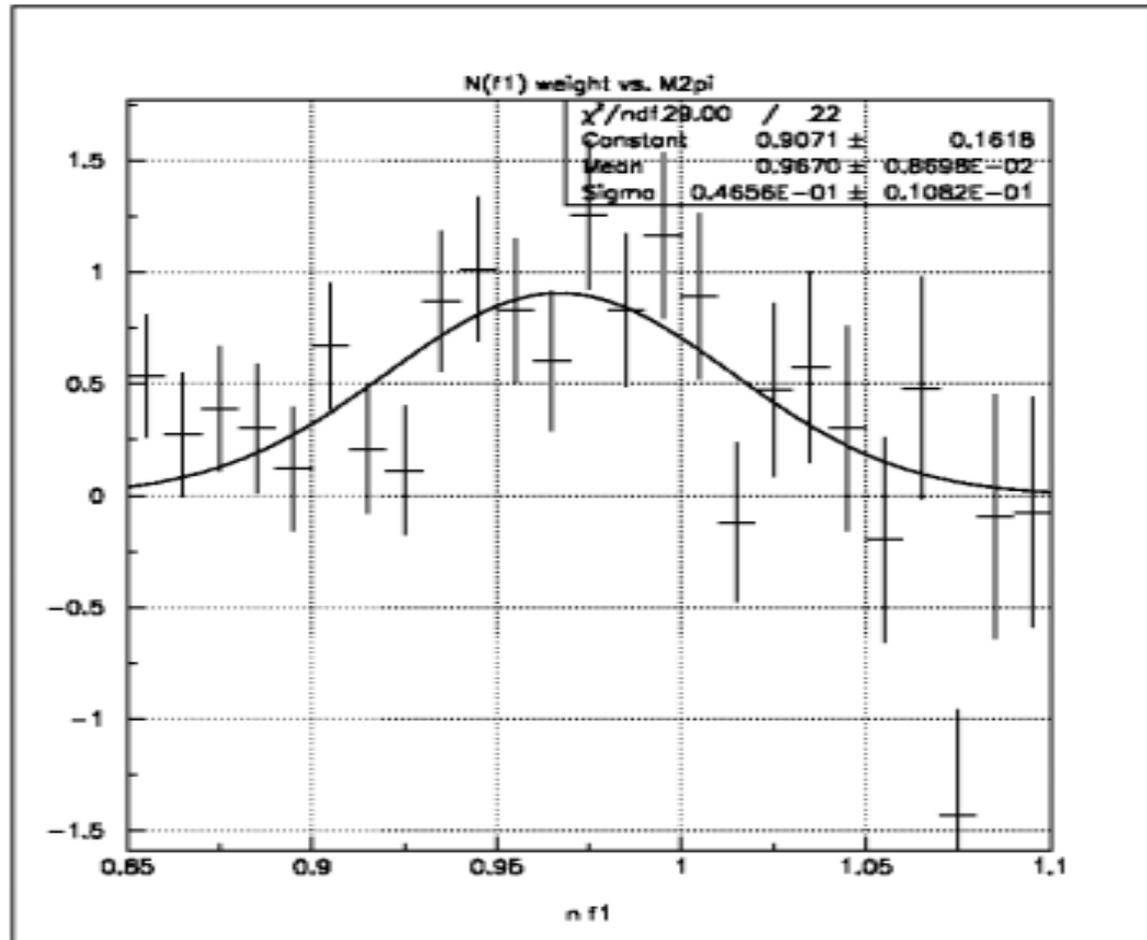
DATA g2f0kk /0.2/, g2f0k0k0 /0.2/

DATA ama0 /0.9847/, amf0 /0.980/

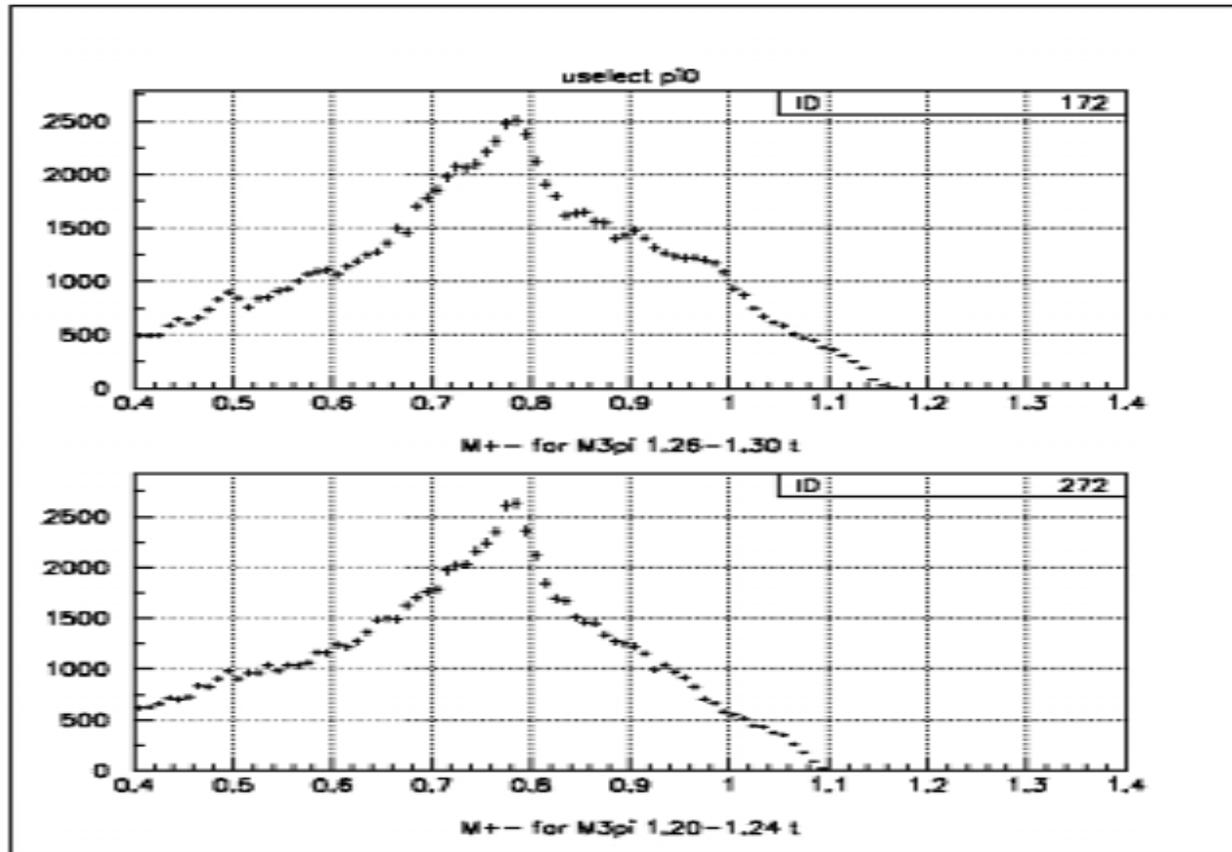
$f_0(982;40) \rightarrow f_1$



N(W_f1) vs. M2pi

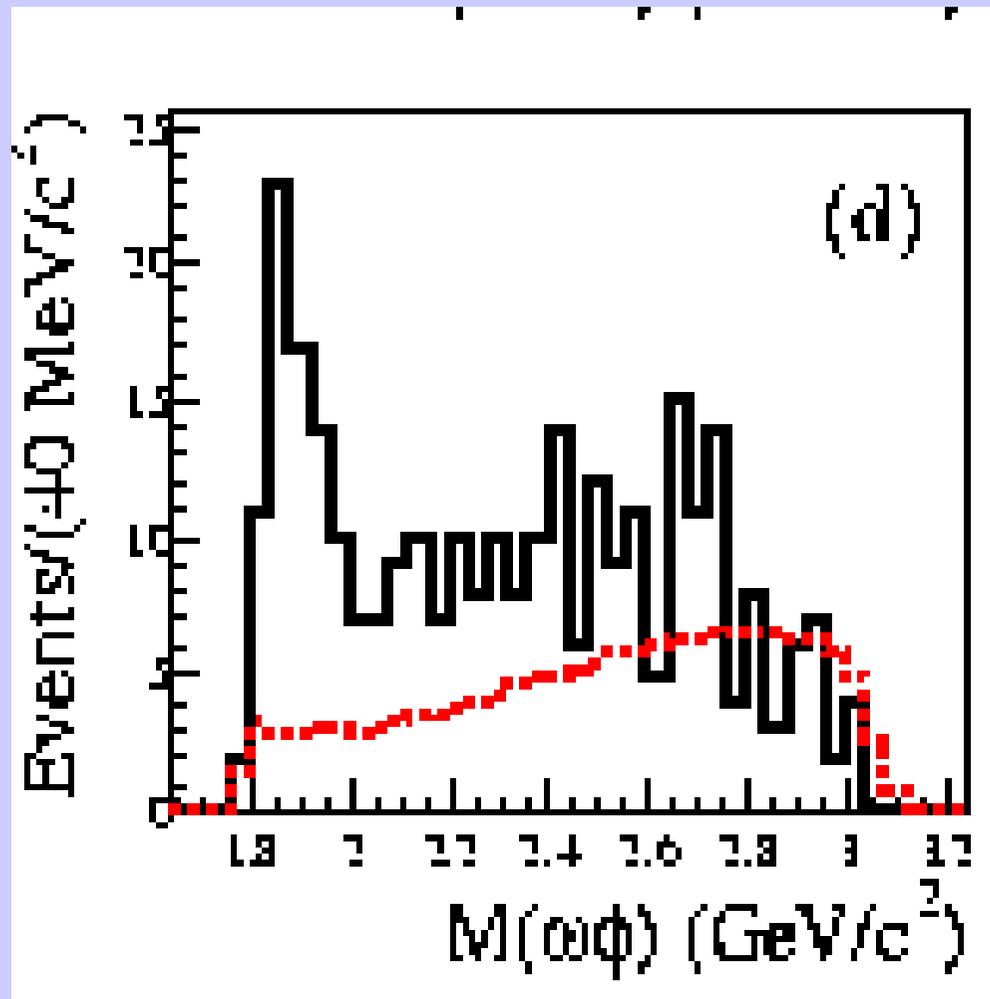


Peak/dip



Изучение $\omega(780)\phi(1020)$ в перезарядке

- Околопороговый сигнал $\omega\phi$ в $J/\psi \rightarrow \gamma (\omega \phi)$



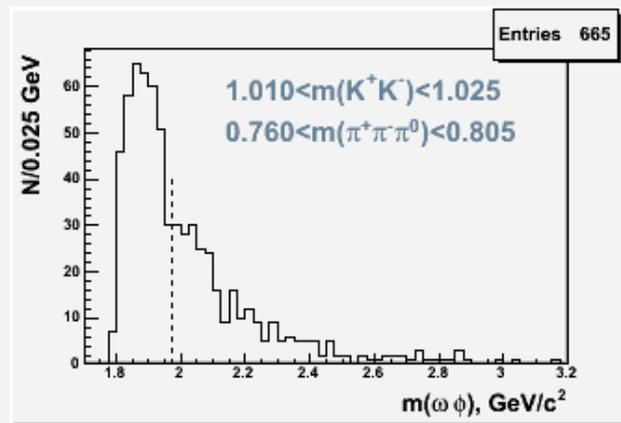
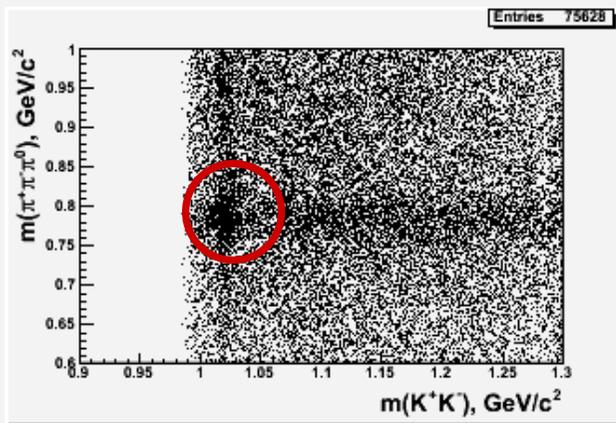
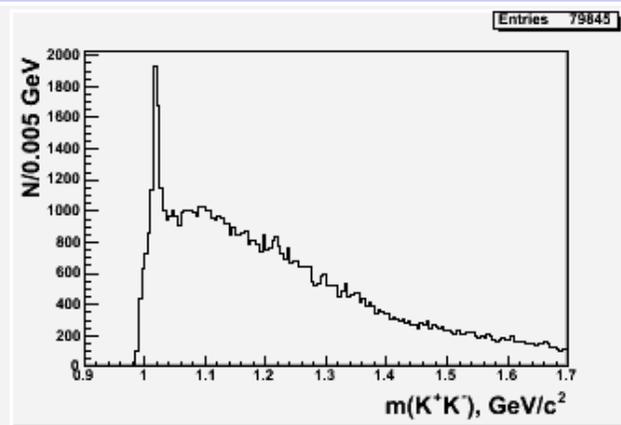
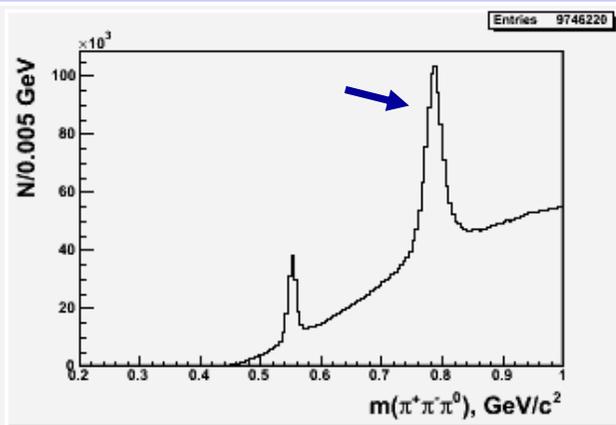
$N(X(1835)) \sim 100$

$J^{PC} = 0^{++}$

BES Collaboration. (Ablikim et al.), Phys.
Rev.Lett.96:162002,2006, hep-ex/ 0602031

Изучение $\omega\phi$ в перезарядке (продолжение)

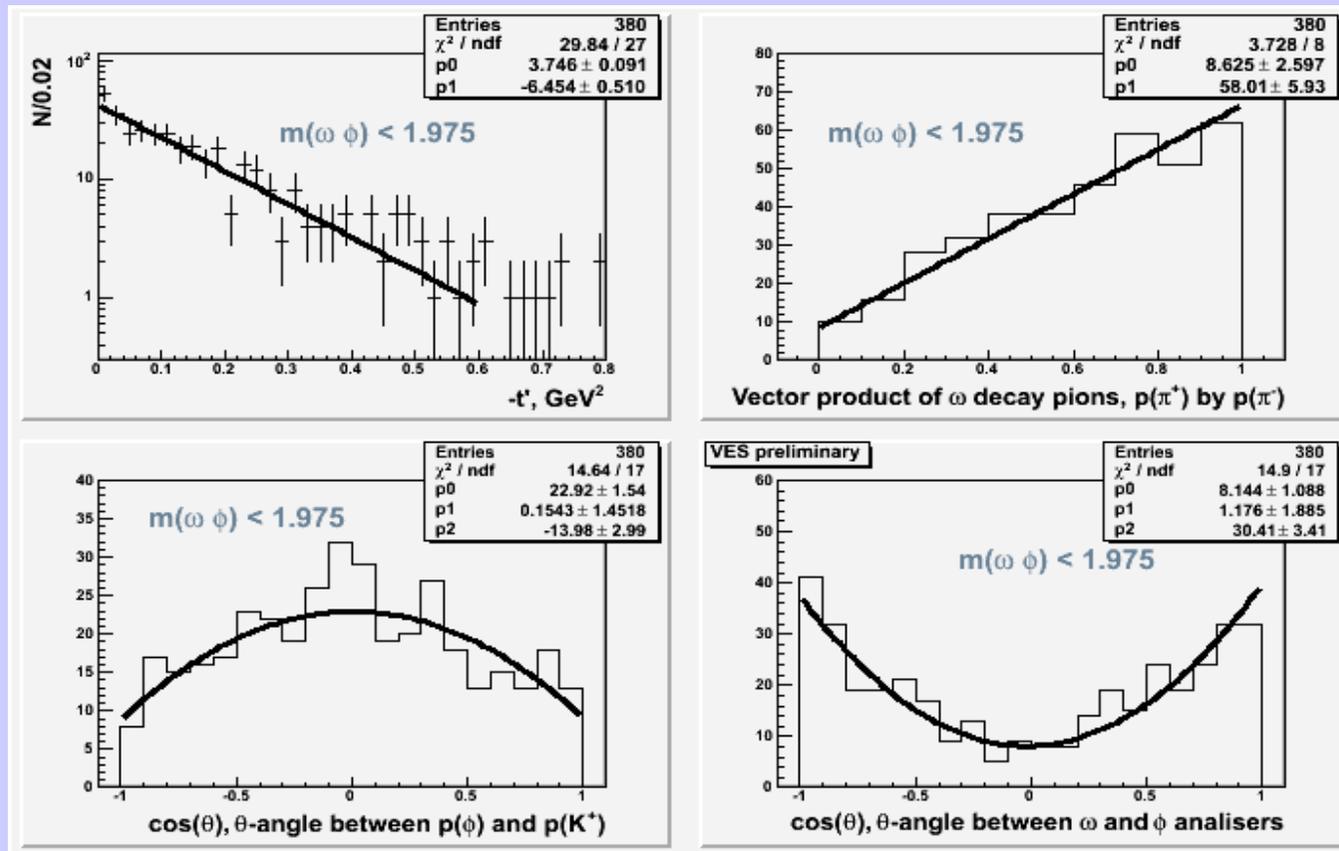
- $\pi^- p \rightarrow \omega(\rightarrow 3\pi^{+-0})\phi(\rightarrow K^+K^-) n$ при 27 and 36.6 ГэВ/с (3 сеанса)
- «стандартные» отборы: топология, идентификация 2-х каонов, фрагментация пучка, «ЭКСКЛЮЗИВНОСТЬ»



$N(\omega\phi)(\text{порог}) \sim 400$

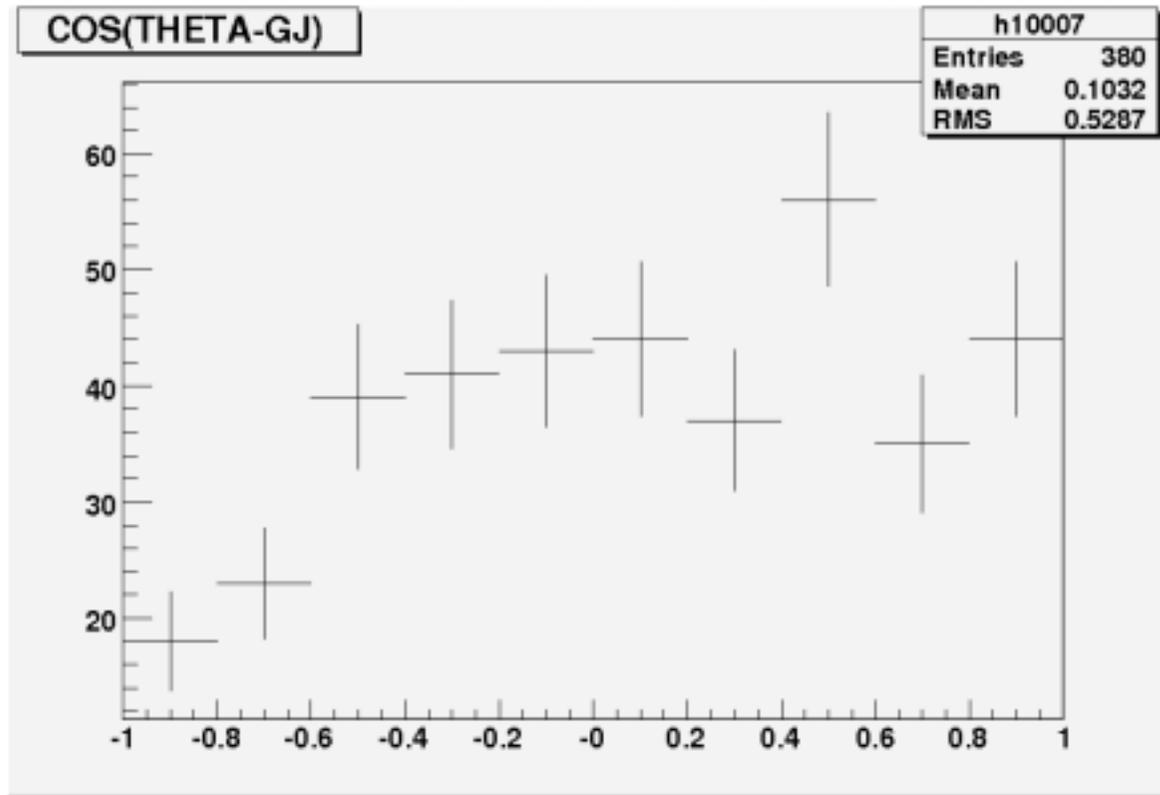
S-волна?

Характеристики системы ($\omega\phi$)



- $|t|$ - распределение совместимо с ОРЕ
- $|\bar{\lambda}_\omega|$ – распределение на небольшом фоне
- угол между анализаторами ω и ϕ : $\sim \cos^2\Theta + \text{const}$
совместимый с (0^+ + примесь 2^+) $\rightarrow (V V)_S$

$\text{Cos}\theta_{\text{GJ}}$ для φ



Количественное разделение $0+/2+$ - требует ПВА включением θ_{GJ}

- Асептанс

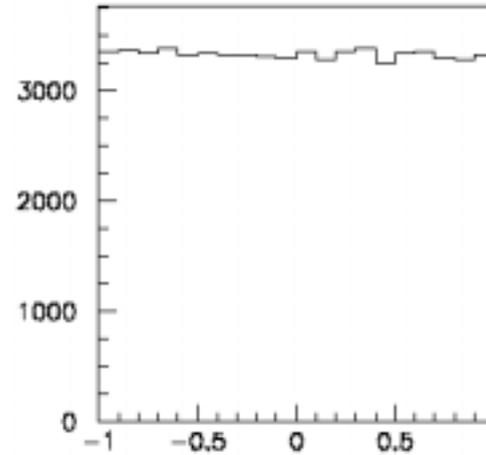
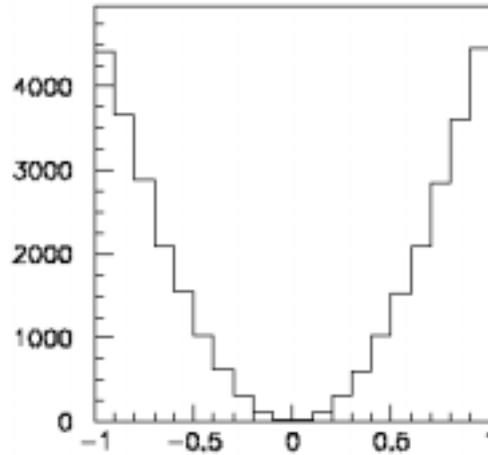
- Объединение сеансов

УГЛЫ для $0+$ и $2+(0)$

$\text{Cos}(p_{K,n})$

$\text{cos}\theta_{GJ}$

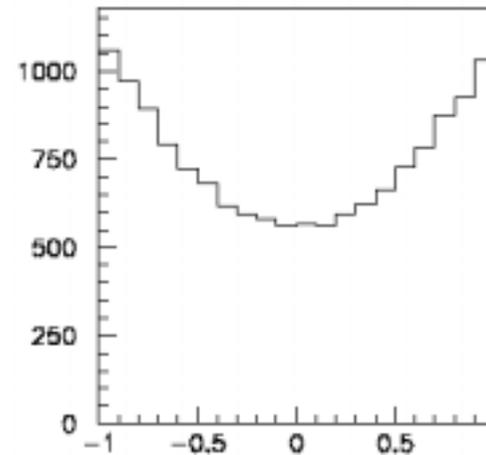
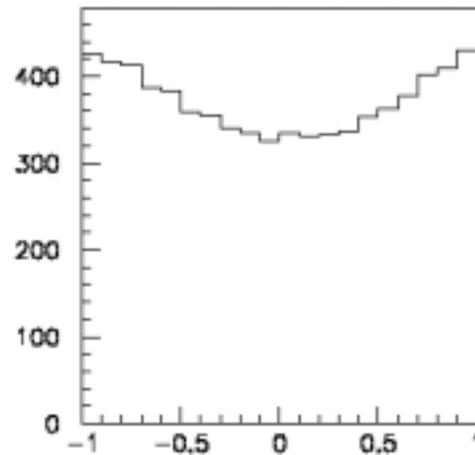
$0+$



$\text{cos}12 \ 0++$

$\text{cos}q_{1,2} \ 0++$

$2+(0)$



$\text{cos}12 \ 2++$

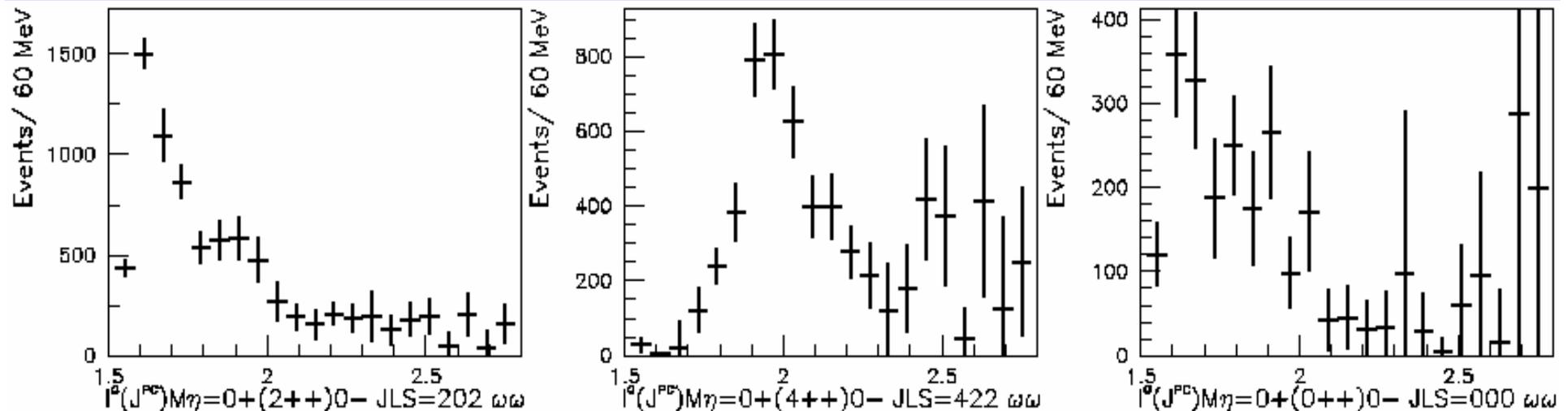
$\text{cos}q_{1,2} \ 2++$

Сравнение $\pi\text{-p} \rightarrow \omega\phi\pi$ and $\pi\text{-p} \rightarrow \omega\omega\pi$

Интенсивности J^{PC} -волн по PWA $\pi\text{-p} \rightarrow \omega\omega\pi$:

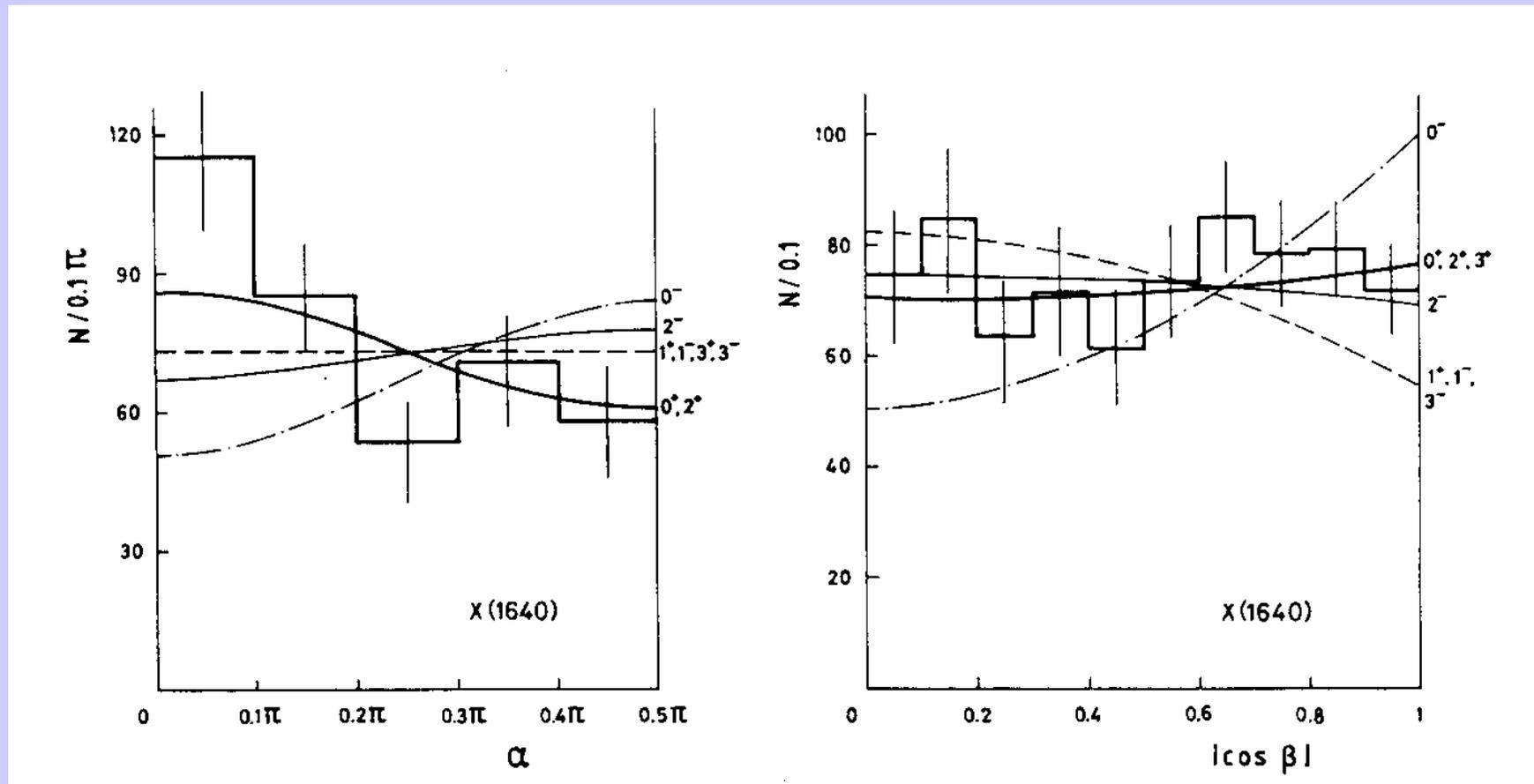
$$N(0^{++}) \ll N(2^{++}; 4^{++})$$

(Amelin et al., Phys.Atom.Nucl.69:690-698,2006)



- 0^{++} усилена на пороге
- $\sigma 0^{++} (\pi\text{-p} \rightarrow \omega\phi\pi) / \sigma 0^{++} (\pi\text{-p} \rightarrow \omega\omega\pi) = 0.6 \pm 0.2 \pm 0.2$ [1.8—2.0 ГэВ]
- «рекорд» нарушения правила OZI
- «+» в пользу глобола (P.Vicudo et al. hep-ph/0602172; D.Bugg hep-ph/0603018)

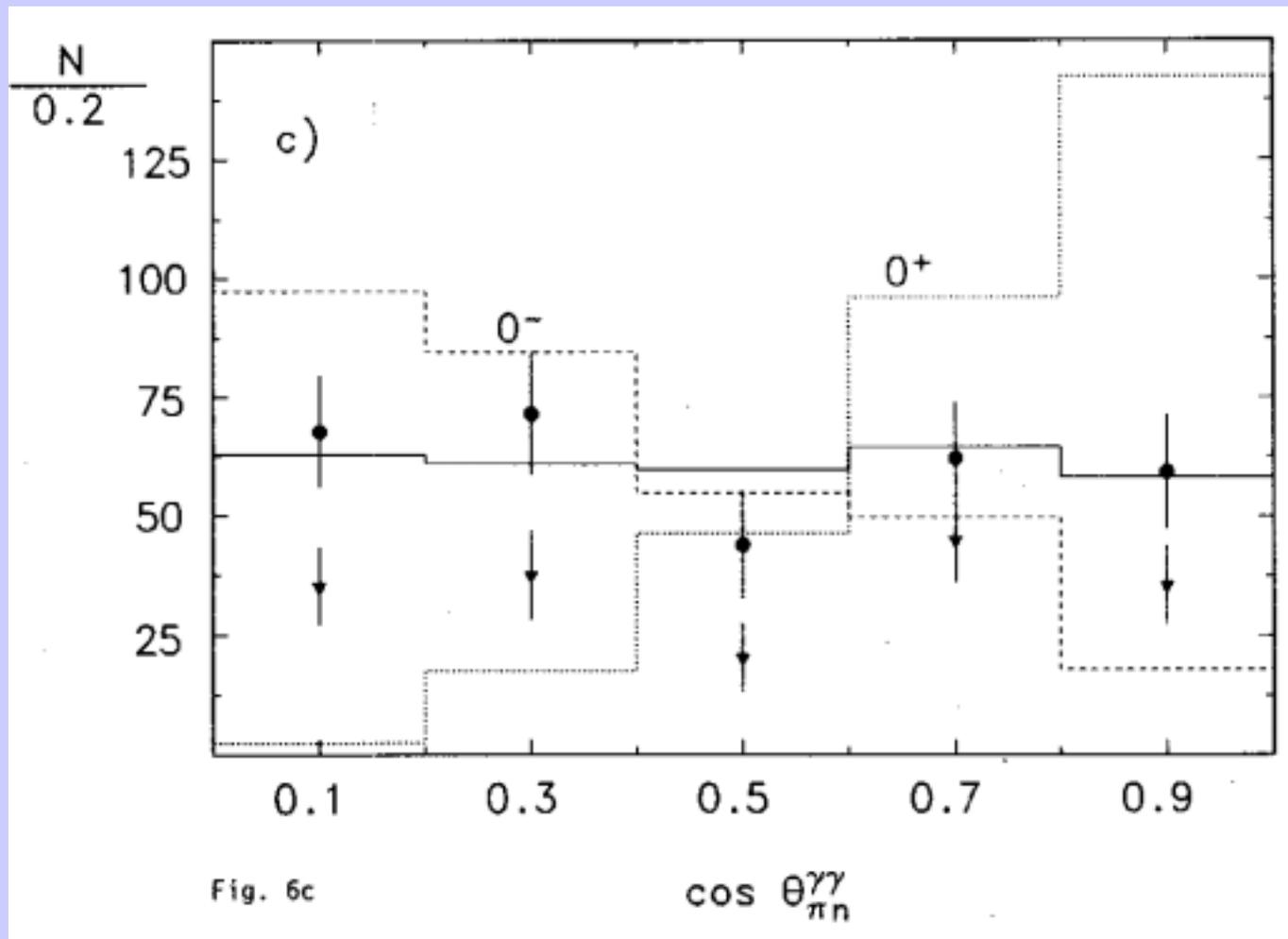
Угловые распределения для $\pi\text{-p} \rightarrow \omega(\rightarrow \gamma \pi) \omega\text{p}$



α - угол между плоскостями распада ω

β - угол между $p(\gamma)$ в СЦМ ω_1 и $p(\omega_2)$

Угол между анализаторами ω и ρ



Backup slides

S. Coleman and S.L. Glashow, Departures from the Eightfold Way: Theory of Strong Interaction Breakdown, Phys. Rev. 134, B671-B681 (1964) – Введено $\langle \rho | M | \omega \rangle$ с масс-смешивающим (сильным) оператором.

P. Geiger and N. Isgur, Phys. Rev. D47 (1993) 5050. («Обнуление» правила OZI для скаляров)

Заключение

- **Изучен** ранее наблюда́нный распад $f_1(1285) \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$
- $\text{Br}(f_1 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 (0.97 < m_{\pi^+ \pi^-} < 1.0 \text{ ГэВ}/c^2) / \text{Br}(f_1 \rightarrow \eta \pi^+ \pi^-) = (1.4 \pm 0.2 \pm 0.3) \%$
- Превышает (от «несколько» до «многократно») **многопараметрическую** модель Ачасова и др.
- Наблюдается **дополнительная** компонента с $m_{\pi^+ \pi^-} \sim 0.95 \text{ ГэВ}/c^2$ **сравнимой** интенсивности
- Поставлено ограничение $\text{Br}(f_1 \rightarrow \rho^\pm \pi) < (\sim 1 \%)$

- **Наблюдён** околопороговый сигнал в $\omega\phi$ в перезарядке
- Совместим с $J^P = 0^+$ и 2^+ с указанием на предпочтительность 0^+
- При идентификации как $X(1835)$ $J^P = 0^+$
- $\sigma(\pi^- p \rightarrow 0^{++} \rightarrow \omega\phi n) / \sigma(\pi^- p \rightarrow 0^{++} \rightarrow \omega\omega n) = 0.6 \pm 0.2 \pm 0.2$