

Анализ $\eta\pi^0$ системы

В.Л. Коротких

14 января, 2005

E852 experiment

Search of mesons with unusual quantum numbers

$$\pi^- p \rightarrow \eta \pi^- p, \quad \pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^- p,$$

$$\pi^- p \rightarrow \eta \pi^0 n, \quad \pi^- p \rightarrow \eta' \pi^- p, \quad \pi^- p \rightarrow K^+ K^- \pi^0 n, \quad \dots$$

at 18 GeV/c, AGS (BNL)

Статистика : $10.59 \cdot 10^6$ (1994-95), $8.79 \cdot 10^6$ (1997-98)

E852 collaboration: BNL, SINP MSU, IHEP

and 6 USA universities

62 physicists, **12** – from MSU

1994 -2004

E852 author list

S.U. Chung, K. Danyo, R.W. Hackenburg, C. Olchanski, J.S. Suh, H.J. Willutzki (Brookhaven),

T. Adams, J.M. Bishop, N.M. Cason, E.I. Ivanov, J.M. LoSecco, J.J. Manak, W.D. Shephard, D.L. Stienike, S.A. Taegar (Notre Dame U.),

V.A. Bodyagin, A.I. Demianov, A.M. Gribushin, O.L. Kodolova, V.L. Korotkikh, M.A. Kostin, **L.V. Malinina**, A.I. Ostrovidov, L.I.Sarycheva, N.V. Sinev, I.N. Vardanyan, A.A. Yershov (Moscow State U.),

↙ **New E852 member !**

S.P. Denisov, V. Dorofeev, V.V., I. Kachaev, V.V. Lipaev, A.V. Popov, D.I. Ryabchikov (Serpukhov, IHEP),

Z. Bar-Yam, J.P. Dowd, P. Eugenio, M. Hayek, W. Kern, E. King, N.Shenhav (Massachusetts U., North Dartmouth),

D.S. Brown, X.L. Fan, D. Joffe, T.K. Pedlar, K.K. Seth, A.Tomaradze (Northwestern U.),

G.S. Adams, J.P. Cummings, J. Hu, J. Kuhn, M. Lu, J. Napolitano, D.B. White, M. Witkowski (Rensselaer Poly.),

M. Nozar, X. Shen, D.P. Weygand (Jefferson Lab)

E852 statistics and Exotics $J^{PC}=1^{-+}$

Publications. Reaction	Final state	Main result
1. D.R.Thompson et al. $\pi^-p \rightarrow \eta\pi^-p$, Phys. Rev. Lett. 79(1997)1630, S.U. Chung et al, $\pi^-p \rightarrow \eta\pi^-p$, Phys. Rev. D60(1999)092001	$\eta\pi^-$ 47200	$\pi_1(1400)$
2. G.S. Adams et al. "Observation of a New $J^{PC}=1^{-+}$ Exotic State in the Reaction $\pi^-p \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^-p$ at 18 GeV/c", Phys. Rev. Lett. 81(1998)5760	$\pi^+\pi^-\pi^-$ 250000	$\pi_1(1600)$
3. E. Ivanov et al. $\pi^-p \rightarrow \eta\pi^+\pi^-p$, Phys. Rev. Lett. 86(2001)3977	$\eta'\pi^-$ 6040	$\pi_1(1600)$
4. J. Kuhn et al. $\pi^-p \rightarrow \eta\pi^+\pi^-\pi^-p$ Phys. Lett. B., 2003.	$f_1\pi^-$ 68900	$\pi_1(1600)$ $\pi_1(2000)$
5. M. Lu et al. $\pi^-p \rightarrow \omega\pi^0\pi^-p$. Phys. Rev. Lett. 2004. To be published	$b_1\pi^-$ 145148	$\pi_1(1600)$ $\pi_1(2000)$
6. V.L.Korotkikh et al. $\pi^-p \rightarrow \eta\pi^0n$, $\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$, HADRON99, Nucl.Phys. A675(2000)413c	$\eta\pi^0$ 18712	$M=1280 \pm 24$ $\Gamma=526 \pm 81$

7. A.R.Dzierba et al. $\pi^-p \rightarrow \eta\pi^0n$, $\eta \rightarrow 2\gamma$, Phys.Rev. D67(2003)094015	$\eta\pi^0$ 45000	$M=1272 \pm 17$ $\Gamma=660 \pm 48$ All t
--	----------------------	--

1^-+ мезонная экзотика

$\pi_1(1400)$

	М, МэВ	Г, МэВ	Распад
E852	1370	385	$\eta\pi^-$
CrBar	1400	310	$\eta\pi^-$
CrBar	1360	220	$\eta\pi^0$
GAMS	1370	300	$\eta\pi^0$
	1301	190	$\eta\pi^0_{0.14< t < \Gamma\text{эВ}^2}$
E852-IU	1268	670	$\eta\pi^0_{0.14< t <0.31}$
	1356	629	$\eta\pi^0_{ t >0.31 \Gamma\text{эВ}^2}$

E852-MSU $M=1280 \pm 24, \Gamma=526 \pm 81$
 $\eta\pi^0, \eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$

E852-IU $M=1272 \pm 17, \Gamma=660 \pm 48, \text{ all } |t|$
 $\eta\pi^0, \eta \rightarrow \gamma\gamma$

$\pi_1(1600)$

	М, МэВ	Г, МэВ	Распад
E852	1593	168	$\rho\pi^-$
E852	1597	340	$\eta'\pi^-$
VES	1610	290	$\rho\pi^-, \eta'\pi^-, b_1\pi^-$
E852	1709	403	$f_1\pi^-$
E852	1664	185	$b_1\pi^-$

$\pi_1(2000)$

E852	2001	333	$f_1\pi^-$
E852	2014	230	$b_1\pi^-$

Particle Data Group

S. Eidelman et al., Phys.Lett. B592 (2004) 1

40 Meson Summary Table

$\pi_1(1600)$ ^[o] ✓ $J^{PC} = 1^-(1^--)$

Mass $m = 1596^{+25}_{-14}$ MeV
Full width $\Gamma = 312^{+64}_{-24}$ MeV ($S = 1.1$)

$\pi_1(1600)$ DECAY MODES	Fraction (Γ_i/Γ)	p (MeV/c)
$\pi^+\pi^-$	seen	769
$\rho^0\pi^-$	seen	600
$f_2(1270)\pi^-$	not seen	259
$\eta'(958)\pi^-$	seen	497

$\eta_2(1645)$ $J^{PC} = 0^+(2^--)$

Mass $m = 1617 \pm 5$ MeV
Full width $\Gamma = 181 \pm 11$ MeV

$\eta_2(1645)$ DECAY MODES	Fraction (Γ_i/Γ)	p (MeV/c)
$a_2(1320)\pi$	seen	242
$K\bar{K}\pi$	seen	580
$K^*\bar{K}$	seen	404
$\eta\pi^+\pi^-$	seen	685
$a_0(980)\pi$	seen	496
$f_2(1270)\eta$	not seen	†

$\omega(1650)$ ^[t]
was $\omega(1600)$ $J^{PC} = 0^-(1^--)$

Mass $m = 1670 \pm 30$ MeV
Full width $\Gamma = 315 \pm 35$ MeV

$\omega(1650)$ DECAY MODES	Fraction (Γ_i/Γ)	p (MeV/c)
$\rho\pi$	seen	646
$\omega\pi\pi$	seen	617
$\omega\eta$	seen	500
e^+e^-	seen	835

Meson Summary Table 41

$\omega_3(1670)$ $J^{PC} = 0^-(3^--)$

Mass $m = 1667 \pm 4$ MeV
Full width $\Gamma = 168 \pm 10$ MeV [n]

$\omega_3(1670)$ DECAY MODES	Fraction (Γ_i/Γ)	p (MeV/c)
$\rho\pi$	seen	645
$\omega\pi\pi$	seen	615
$b_1(1235)\pi$	possibly seen	361

$\pi_2(1670)$ $J^{PC} = 1^-(2^--)$

Mass $m = 1672.4 \pm 3.2$ MeV [n] ($S = 1.4$)
Full width $\Gamma = 259 \pm 9$ MeV [n] ($S = 1.3$)

$\pi_2(1670)$ DECAY MODES	Fraction (Γ_i/Γ)	Confidence level	p (MeV/c)
3π	(95.8±1.4) %		809
$f_2(1270)\pi$	(56.2±3.2) %		329
$\rho\pi$	(31 ± 4) %		648
$\sigma\pi$	(10.9±3.4) %		-
$(\pi\pi)$ S-wave	(8.7±3.4) %		-
$K\bar{K}^*(892) + c.c.$	(4.2±1.4) %		455
$\omega\rho$	(2.7±1.1) %		303
$\rho(1450)\pi$	< 3.6 × 10 ⁻³	97.7%	148
$b_1(1235)\pi$	< 1.9 × 10 ⁻³	97.7%	366

$\phi(1680)$ $J^{PC} = 0^-(1^--)$

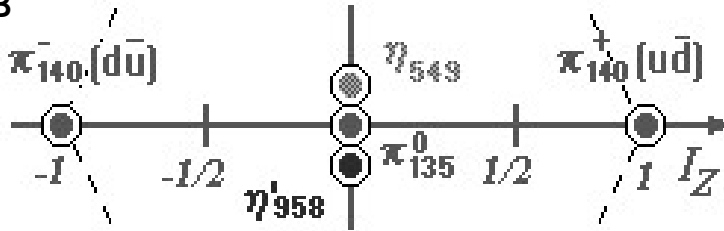
Mass $m = 1680 \pm 20$ MeV [n]
Full width $\Gamma = 150 \pm 50$ MeV [n]

$\phi(1680)$ DECAY MODES	Fraction (Γ_i/Γ)	p (MeV/c)
$K\bar{K}^*(892) + c.c.$	dominant	462
$K_S^0 K\pi$	seen	621
$K\bar{K}$	seen	680
e^+e^-	seen	840
$\omega\pi\pi$	not seen	623

Мультиплет π_1 (1400)

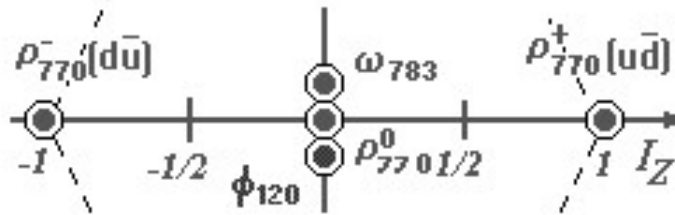
Октет скаляров

$$J^P = 0^-$$



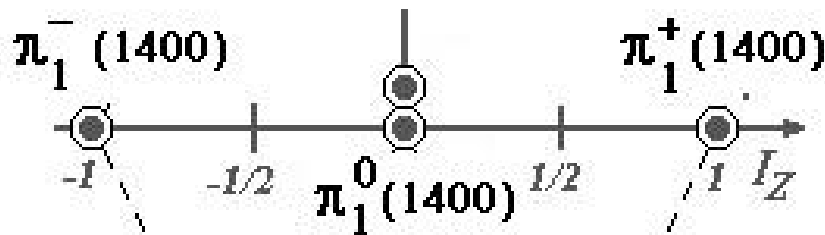
Октет изовекторов

$$J^P = 1^-$$



Октет экзотических изовекторов

$$J^{PC} = 1^{-+}$$



Если π_1^- входит в состав нового мультиплета $I^G(J^{PC}) = 1^-(1^{-+})$, то должны быть 3 партнера ($\pi_1^-, \pi_1^0, \pi_1^+$) по изоспину с равными вероятностями распада



$$\pi_1^- \rightarrow \eta \pi^-$$

$$\pi_1^0 \rightarrow \eta \pi^0$$

$$\pi_1^+ \rightarrow \eta \pi^+$$

Актуальность анализа $\eta\pi^0$ системы

1. В нейтральной системе мезонов зарядовая четность $C = \pm 1$ является хорошим квантовым числом.
2. Экзотические квантовые числа $J^{PC} = 1^{-+}$ для заряженных систем справедливы только в рамках SU(3) симметрии.
3. Спор об экзотическом состоянии $\pi_1(1400)$ в $\eta\pi^-$ системе идет даже внутри самих экспериментальных групп, что вызывает подозрение научного сообщества.
4. Если будет доказано, что в $\eta\pi^0$ системе наблюдается (или не наблюдается) $\pi_1(1400)$ резонанс (независимо от его интерпретации), то это поставит точку в этом споре.

Содержание

- 1. $\eta\pi^0$ study before 2005 г.**
- 2. Analysis of $(\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0)$ system**
- 3. PWA and MDF of $\eta\pi^0$ system**
- 4. Conclusion and questions**
- 5. Outside slides**

Систему $\eta\pi^0$ можно изучать в 2-х модах распада η мезона

$\eta\pi^0$

Crystal Barrel, GAMS, E852-IU

$\eta \rightarrow 2\gamma, \quad \text{BR}(\eta \rightarrow 2\gamma) = 39.4\%$

$\eta\pi^0$

E852 - MSU

$\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0, \quad \text{BR}(\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0) = 28\%$

Crystal Barrel experiment

$\eta \pi^-$, A.Abele et al., Phys.Lett.B423 (1998) 175

$$\overline{pn} \rightarrow \pi^- \pi^0 \eta \pi$$

$$\pi_1^- \rightarrow \eta \pi^-$$

$$M=1400 \pm 20 \pm 20 \text{ MeV}$$

$$\Gamma=310 \pm 50 (+50/-30) \text{ MeV}$$

$\eta \pi^0$, A.Abele et al., Phys.Lett.B446 (1999) 349

$$\overline{pp} \rightarrow \pi^0 \pi^0 \eta$$

$$\pi_1^0 \rightarrow \eta \pi^0$$

$$M=1360 \pm 25 \text{ MeV}$$

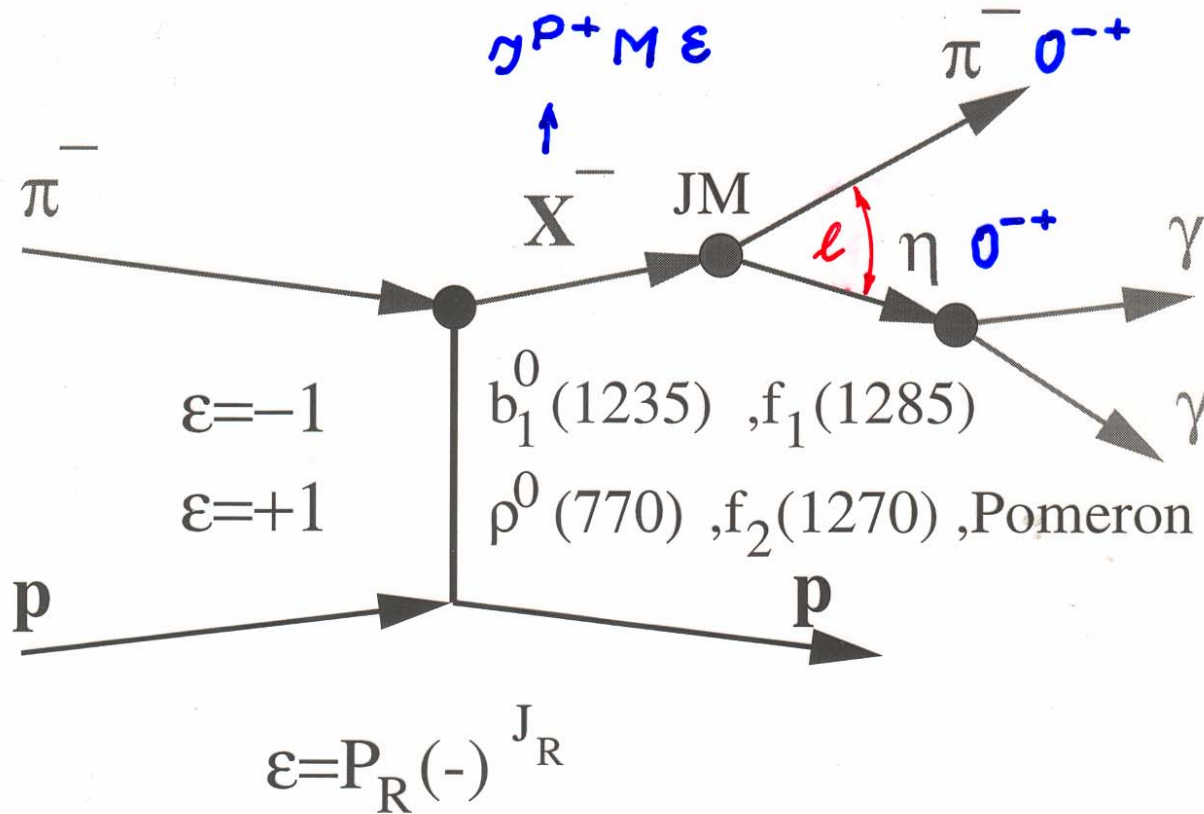
$$\Gamma=220 \pm 90 \text{ MeV}$$

$$I G (J^{PC}) = 1 - (2^{++}, 1^{-+})$$

$$X^- = a_2^-(1320)$$



$$X^- = \pi_1^-(1400)?$$

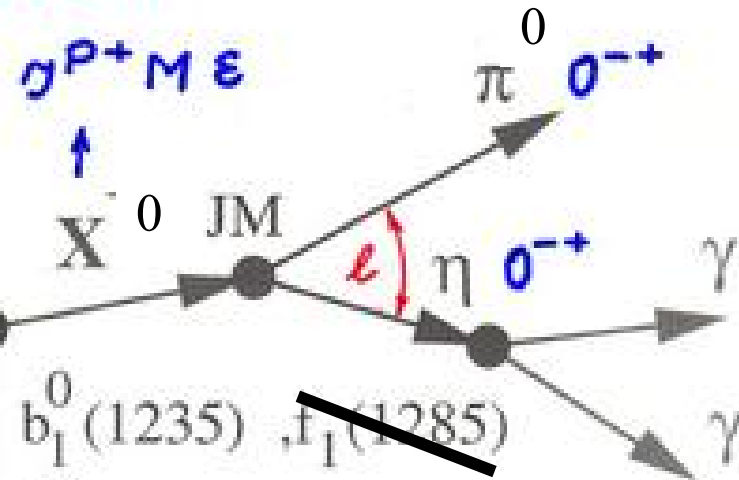


$$I G (J^{PC}) = 1 - (2^{++}, 1^{-+})$$

$$X^0 = a_2^0(1320)$$

$$X^0 = \pi_1^0(1400) ?$$

$\pi^- p \rightarrow \eta \pi^0 n$
 $\hookrightarrow 2\gamma$



$S_0, P_0, D_0, P^-, D^- \quad \epsilon = -1$

$D^+, P^+ \quad \epsilon = +1$

$$\epsilon = P_R (-)^{J_R}$$

Regge model: $N \sim E_0^{2\alpha(0) - 2}$

GAMS ,S.A.Sadovsky

D_+ : $N \sim E_0^{-1}$, $\rightarrow \rho$ - exchange, if $\alpha(0) = 0.5$

D_0, D_- : $N \sim E_0^{-2}$ $\rightarrow b_1$ - exchange , if $\alpha(0) = 0$.

$R=(D_0+D_-)/D_+$, So: $R(E_0) \sim E_0^{-1}$

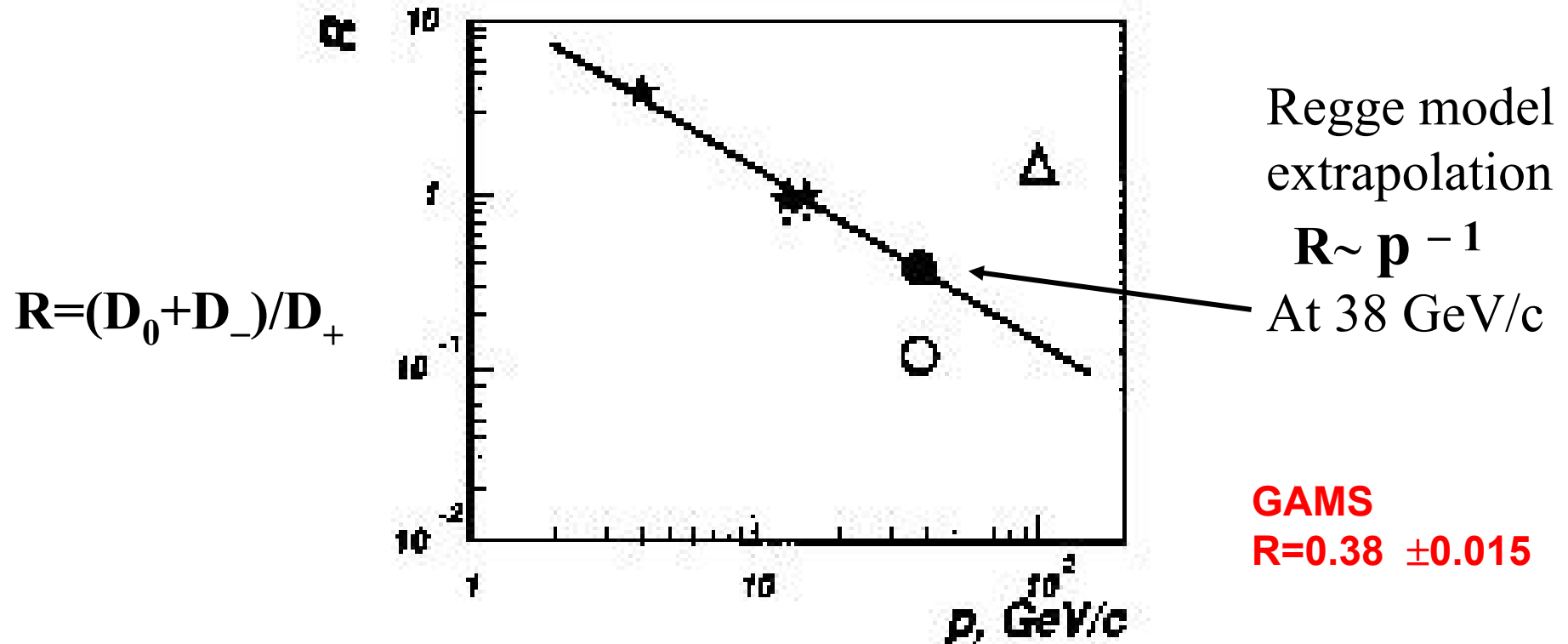
$R(E_0)$

$E_0,$ GeV/c	Regge model	GAMS $\eta \rightarrow 2\gamma$		
38.	0.4	0.38 ± 0.015		
18.	0.84			

Точнее, $\alpha_\rho(0) = 0.57$, $\alpha_{b_1}(0) = -0.37 \rightarrow R(E_0) \sim E_0^{-2}$

GAMS ,S.A.Sadovsky, Nucl. Phys. A655(1999) 131c

$\pi^- p \rightarrow \eta \pi^0 n$ at 38 GeV/c, GAMS



GAMS:

- 1. $R = 0.38 \pm 0.15$ for one solution among eight solutions**
- 2. For this solution R is maximum !!!**

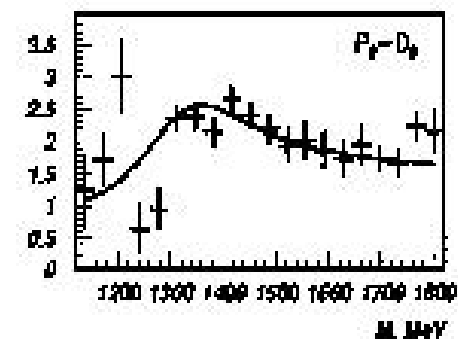
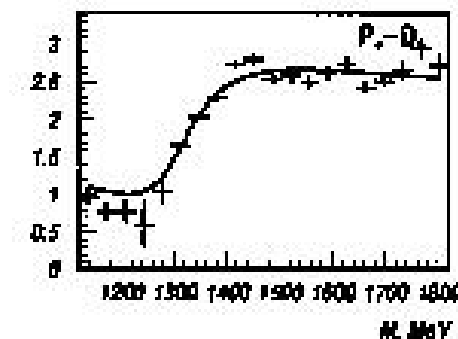
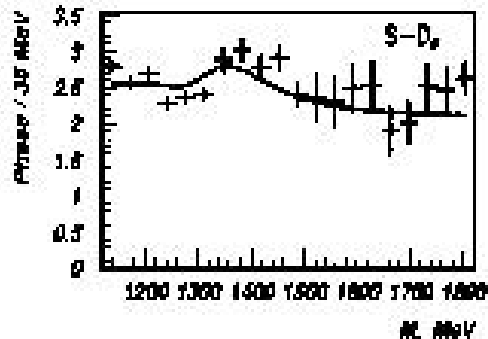
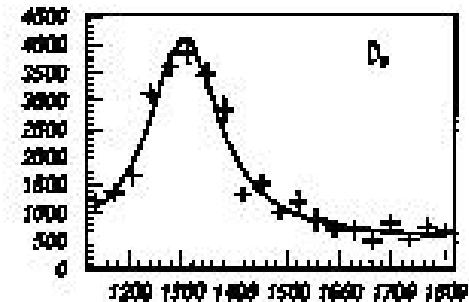
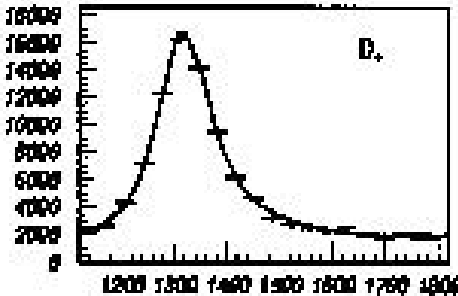
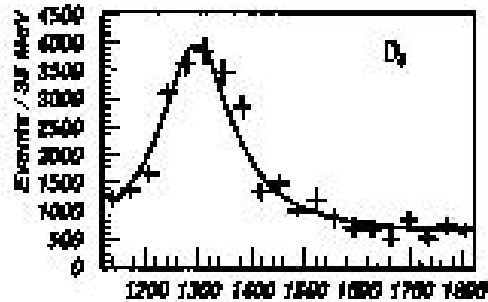
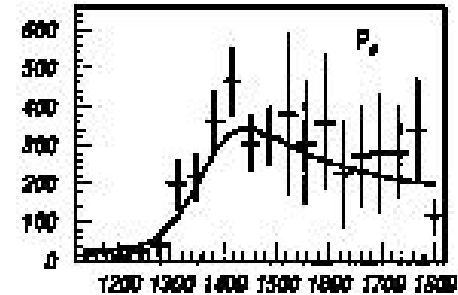
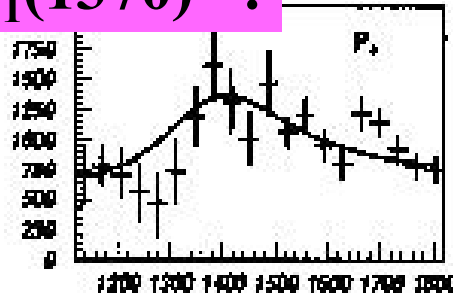
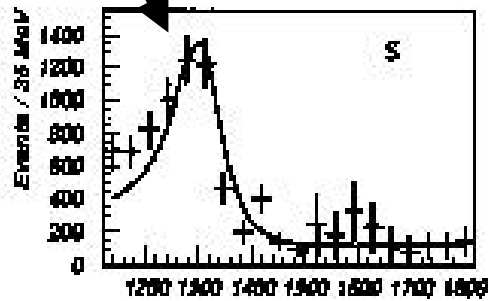
→ **критерий для отбора физического решения**

$a_0(1300)$!

GAMS: After selection of the physical solution:

$\pi^- p \rightarrow \eta \pi^0 n$ at 38 GeV/c, GAMS

$\pi_1(1370)$!

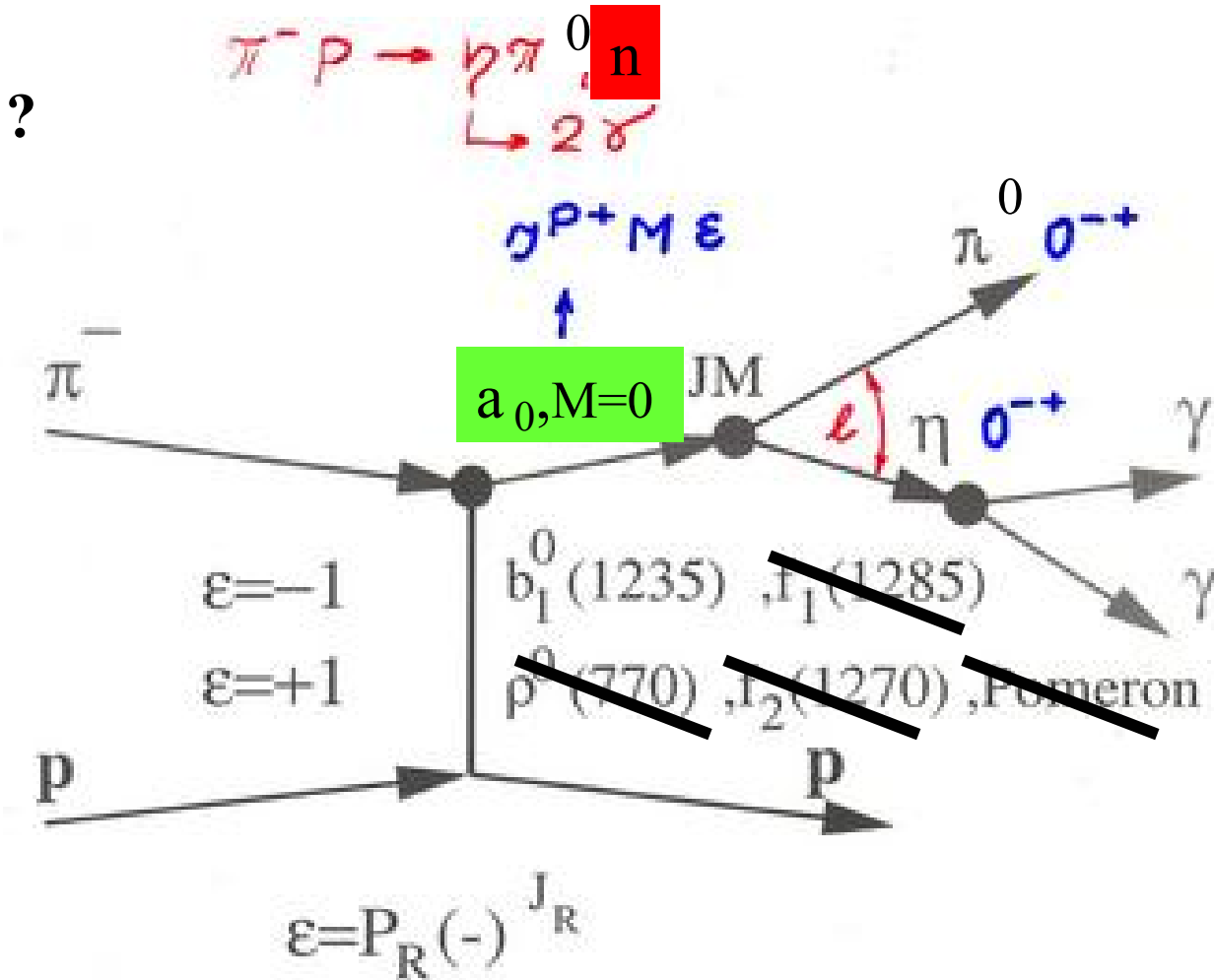


Statistic is about 100000 events

$$I^G(J^{PC}) = 1^-(0^{++})$$

$a_0(980)$

$a_0(1300) ?$



If we see $a_0(980)$, why we don't see $a_0(1320)$ in E852 data?

GAMS ,
 $\pi^- p \rightarrow \eta \pi^0 n$

$\pi_1(1400), J^{PC}=1^{-+}$

GAMS claims, $\pi_1 \rightarrow \eta \pi^0$

$M=1370$ MeV (fixed from BNL data $\pi_1 \rightarrow \eta \pi^-$)

$\Gamma = 300 \pm 125$ MeV

$M=1308 \pm 6$ MeV , $a_0 \rightarrow \eta \pi^0$

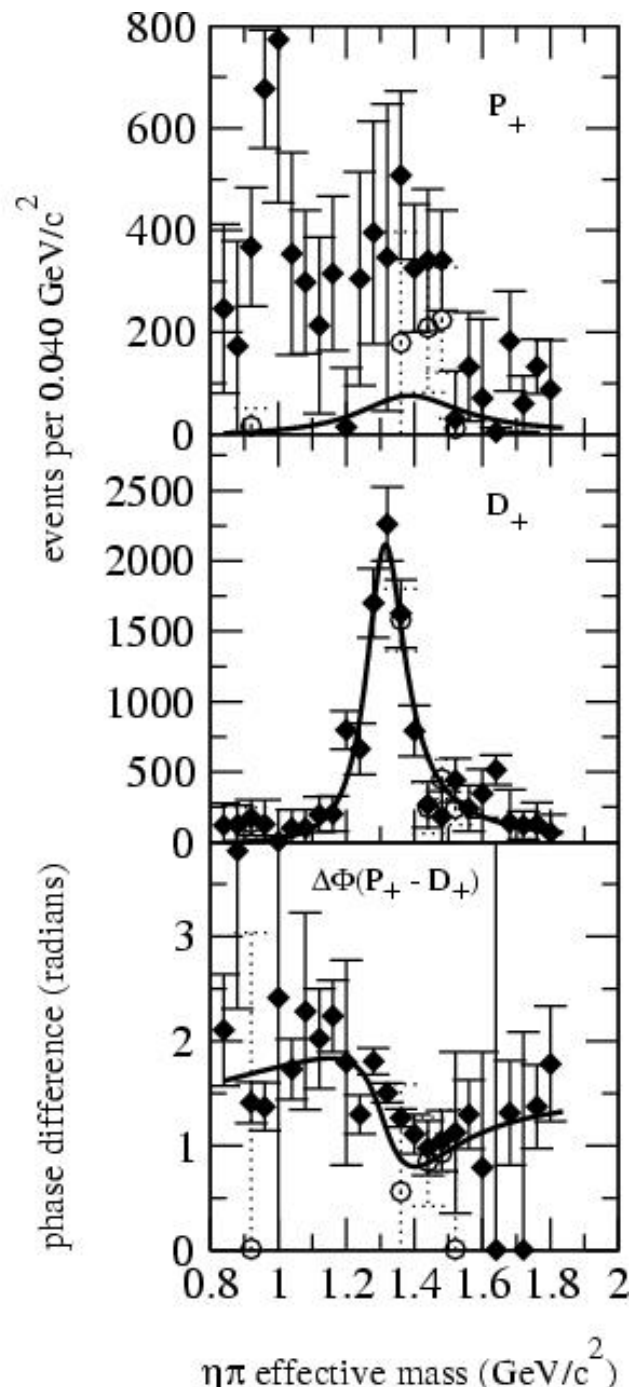
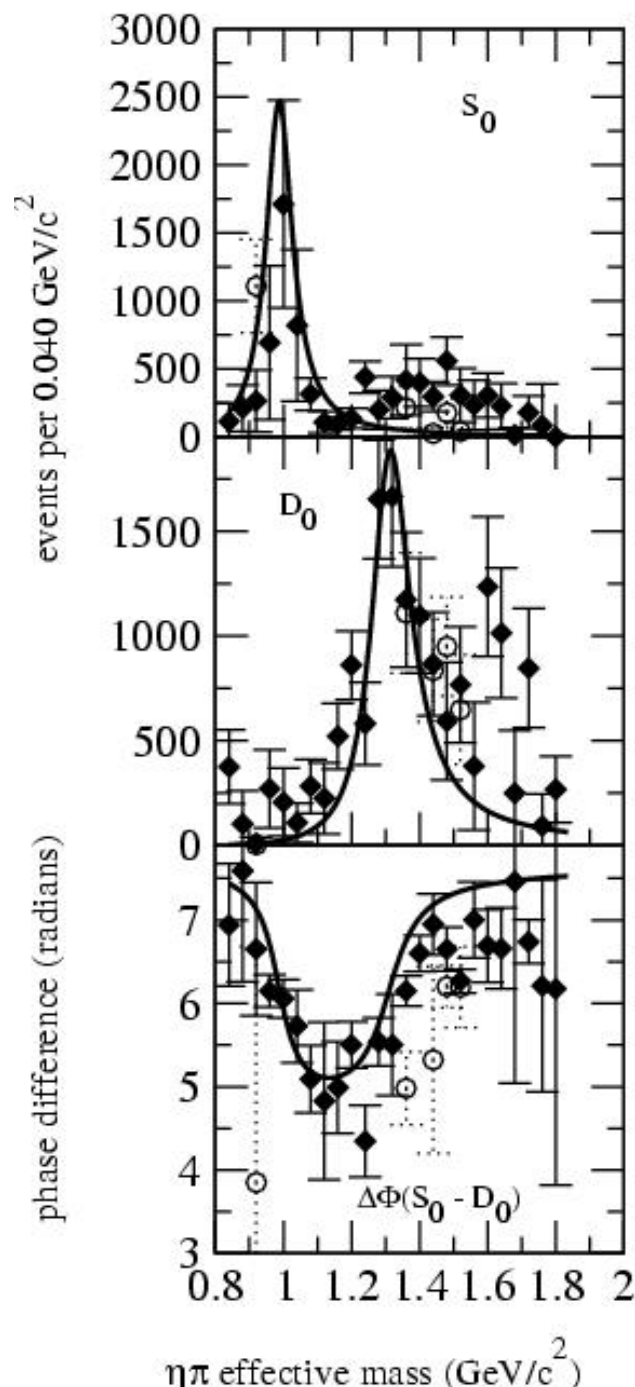
$\Gamma = 101 \pm 14$ MeV

S.A.Sadovsky, Nucl. Phys. A655(1999) 131c

$$\eta\pi^0,$$
$$\eta \rightarrow 2\gamma$$
$$(39.4\%)$$

A.R.Dzierba et al. $\pi^-p \rightarrow \eta\pi^0n$, $\eta \rightarrow 2\gamma$, Phys. Rev. D67(2003)094015
45000 events

A.R.Dzierba et al.
 $\pi^-p \rightarrow \eta\pi^0n$,
 $\eta \rightarrow 2\gamma$
PWA, low $|t|$
MDFit of H(LM)



A.R.Dzierba
et al.
 $\pi^-p \rightarrow \eta\pi^0n$,
 $\eta \rightarrow 2\gamma$
PWA+MDFit

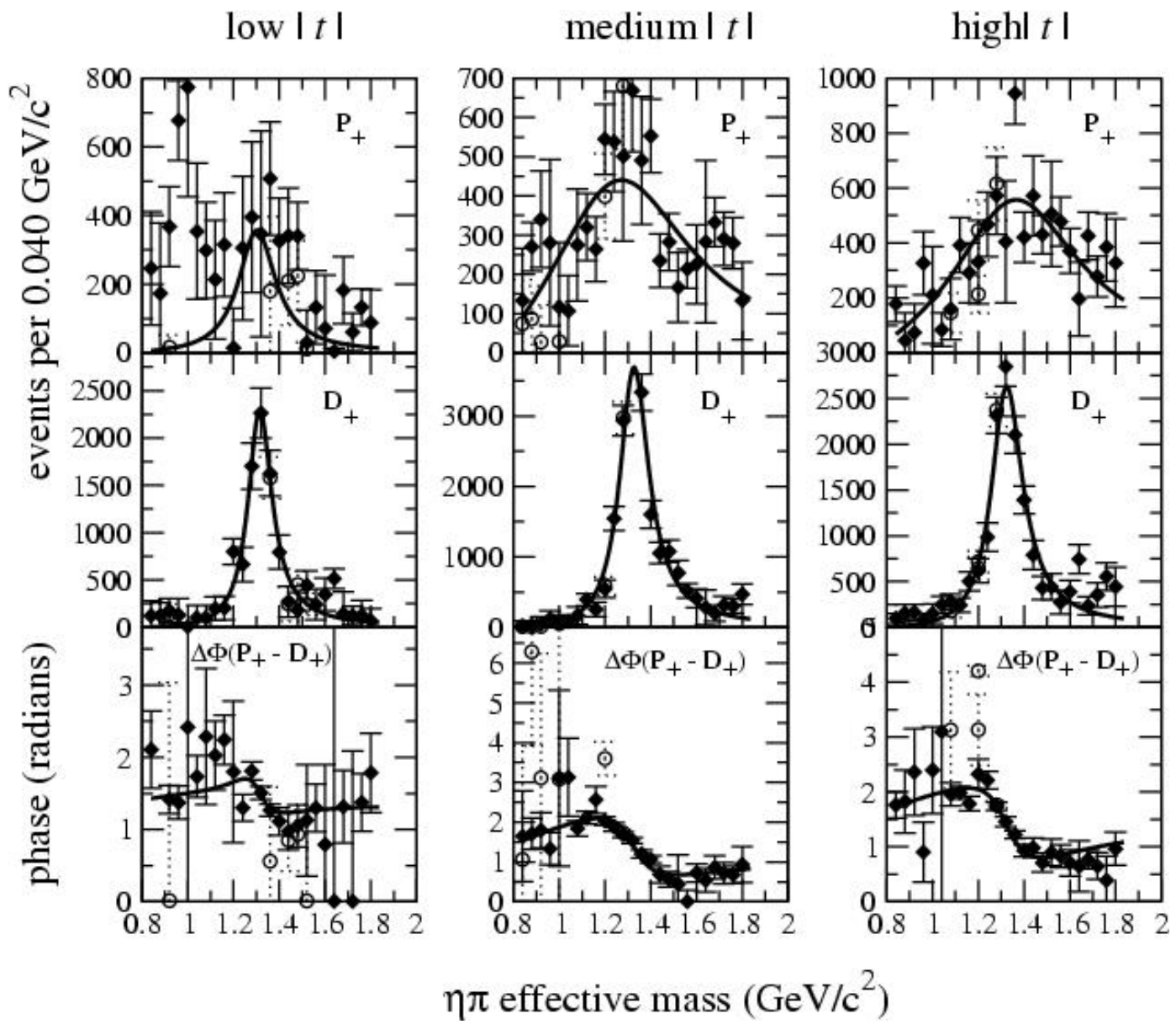


Table of the P+ bump parameters

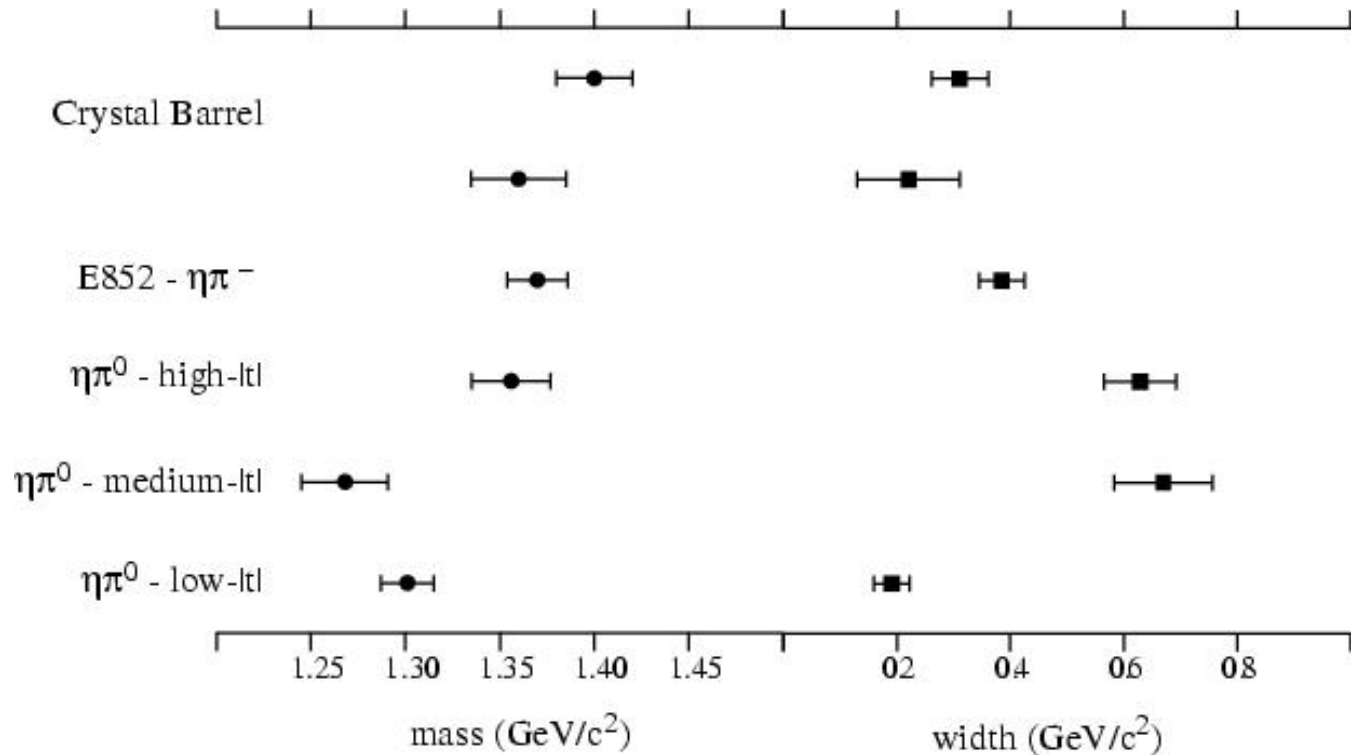
A.R.Dzierba et al. $\pi^-p \rightarrow \eta\pi^0n$, $\eta \rightarrow 2\gamma$, Phys.Rev. D67(2003)094015

	all t 	low- t 	medium- t 	high- t
M_{a_2}	1.326 ± 0.0023	1.316 ± 0.0049	1.329 ± 0.0029	1.326 ± 0.0036
Γ_{a_2}	0.169 ± 0.0069	0.127 ± 0.014	0.154 ± 0.0082	0.166 ± 0.01
M_X	1.272 ± 0.017	1.301 ± 0.014	1.268 ± 0.023	1.356 ± 0.021
Γ_X	0.66 ± 0.048	0.19 ± 0.032	0.67 ± 0.087	0.629 ± 0.064
χ^2	3.23	2.13	1.51	1.60



Remember this result

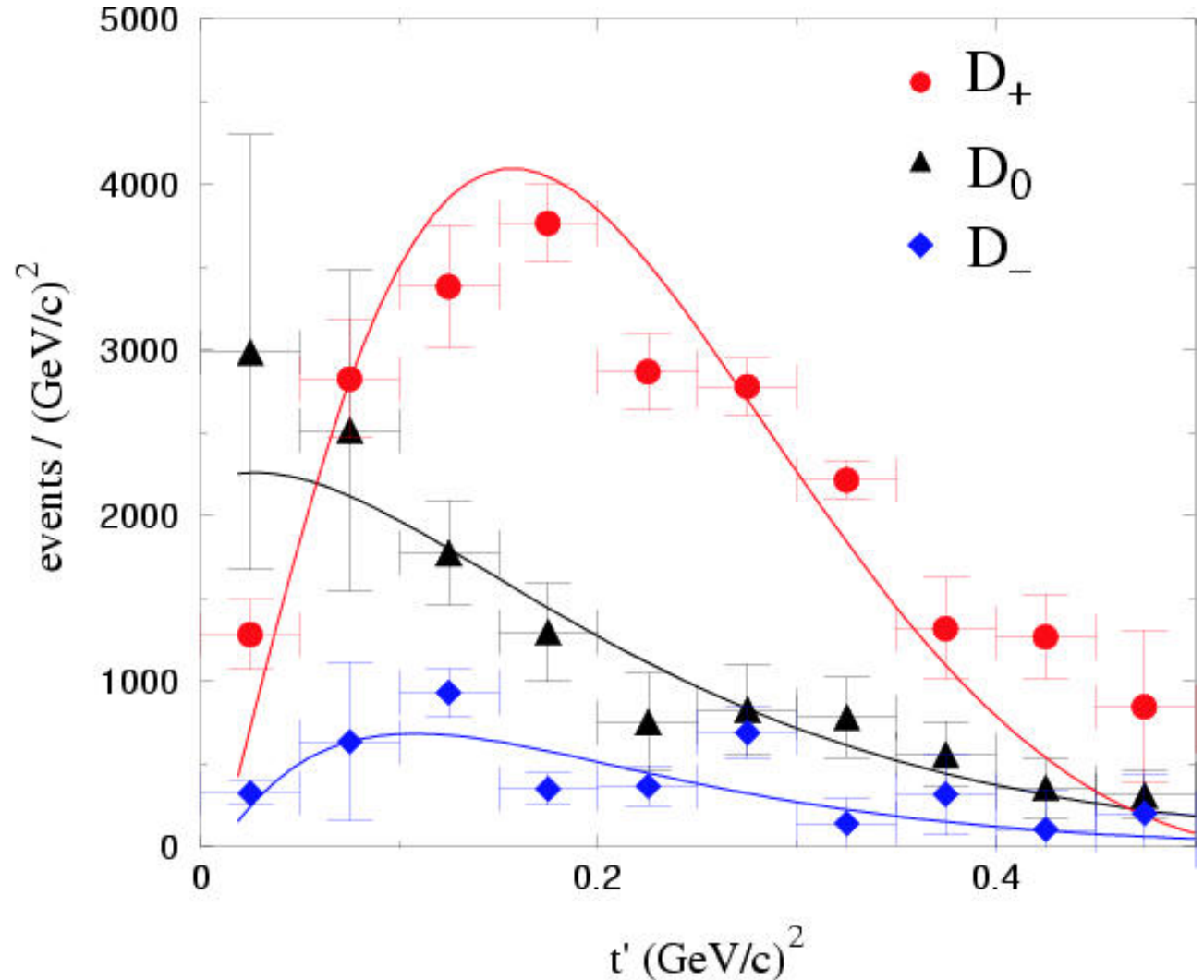
$\pi 1(1400)$



A.R.Dzierba
et al.
 $\pi^- p \rightarrow \eta \pi^0 n$,
 $\eta \rightarrow 2\gamma$
Comparison

A) Зависимость параметров пика в P^+ волне от переданного импульса
B) Большая ширина 200-600 МэВ
не позволили авторам заявить о резонансе при 1300-1400 МэВ

D^0 волна дает пик при $t' \rightarrow 0$!!!



A.R.Dzierba
et al.
 $\pi-p \rightarrow \eta \pi^0 n$,
 $\eta \rightarrow 2\gamma$
 t' -dependence

$R = 0.72 \pm 0.12$

It is obvious that $R = (D_0 + D_-) / D_+$ depends on t' acceptance cut

Regge model: $N \sim E_0^{2\alpha(0) - 2}$

GAMS, **S.A.Sadovsky**

D_+ : $N \sim E_0^{-1}$, $\rightarrow \rho$ - exchange, if $\alpha(0) = 0.5$

D_0, D_- : $N \sim E_0^{-2}$ $\rightarrow b_1$ - exchange, if $\alpha(0) = 0$.

$R = (D_0 + D_-) / D_+$, So: $R(E_0) \sim E_0^{-1}$

$R(E_0)$

$E_0,$ GeV/c	Regge model	GAMS $\eta \rightarrow 2\gamma$	E852-IU $\eta \rightarrow 2\gamma$	E852- MSU $\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$
38.	0.4	0.38 ± 0.015		
18.	0.84		0.72 ± 0.12	?

Точнее, $\alpha_\rho(0) = 0.57$, $\alpha_{b_1}(0) = -0.37 \rightarrow R(E_0) \sim E_0^{-2}$

Сравнение анализа двух наборов данных $\eta\pi^0$

$$A) \eta\pi^0 \rightarrow 4\gamma \quad \eta \rightarrow 2\gamma, \pi^0 \rightarrow 2\gamma$$

Недостатки:

- 1) Источник фоновых событий – распад неучтенных $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$
- 2) Неизвестно, что вершина взаимодействия (точка рождения фотонов) находится в мишени

Достоинства:

- 1) $BR(\eta \rightarrow 2\gamma) = 39.4\% > BR(\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0) = 28\%$
- 2) Большая статистика: 45000 событий (A) > 23490 событий (B)

$$B) \eta\pi^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0, \eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0,$$

Недостатки:

- 1) Фон от распада $\omega \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$, $\rho\rho \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$

Достоинства:

- 1) По заряженным мезонам установлено, что точка взаимодействия находится в мишени

Критика анализа $\eta\pi^0$ в работе IU
A.R.Dzierba et al., Phys. Rev. D67(2003)094015

1. Нет доказательства того, что точка взаимодействия находится в мишени. (Известно, что рождение мезонов интенсивно идет на ядрах в стенках мишени)
2. Выбор физического решения из множественных решений выполнен некорректно
3. Анализ влияния протечки D^+ волны в P^+ волну сделан без учета углового разрешения установки

$$\eta\pi^0,$$

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

$$\pi^0 \rightarrow 2\gamma$$

$$\text{BR}(\eta \rightarrow 2\gamma) = 28\%$$

V.L.Korotkikh et al.(E852) $\pi^-p \rightarrow \eta\pi^0n$, $\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$
HADRON99, Nucl. Phys. A675(2000)413c

Set waves

L Allowed waves:

Notation	J	P	C	M	ϵ
S_0	0	+	+	0	-
P_0	1	-	+	0	-
P_-	1	-	+	1	-
D_0	2	+	+	0	-
D_-	2	+	+	1	-
P_+	1	-	+	1	+
D_+	2	+	+	1	+

γ^{PC} :

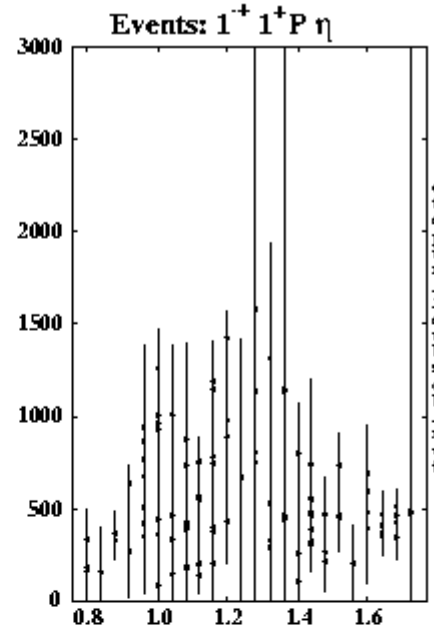
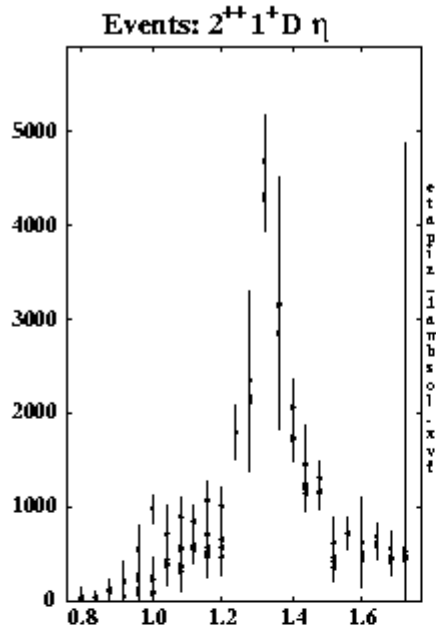
$1^{-+} \rightarrow$

$2^{++} \rightarrow$

background

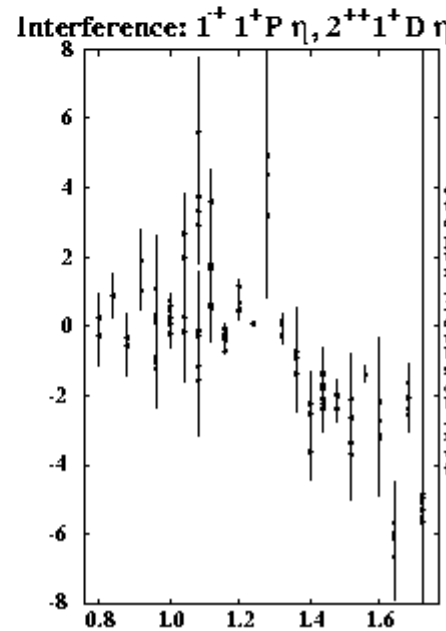
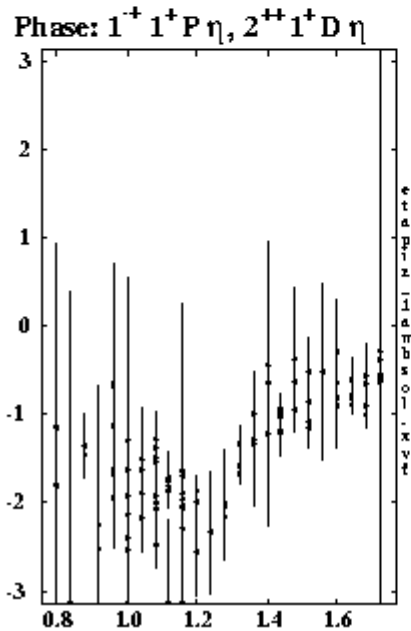
Free background

$cl > 0.10$
18712 data
180294 acc
900000 raw



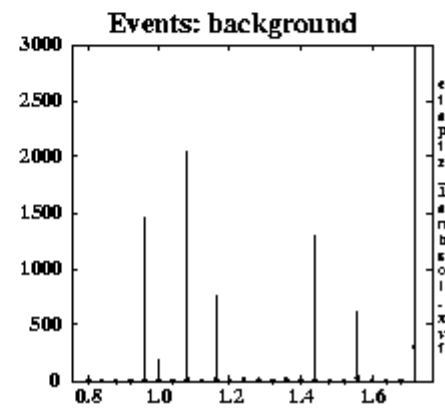
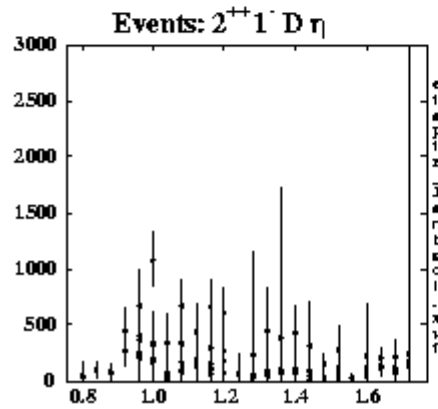
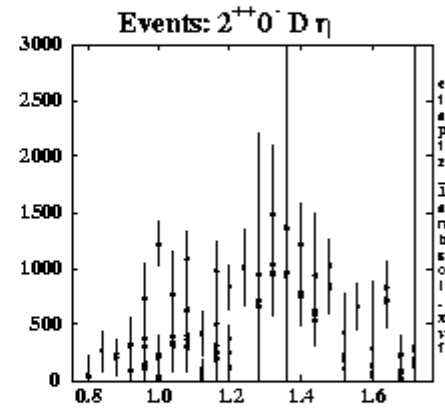
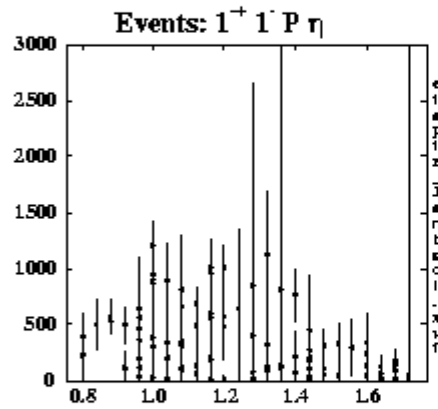
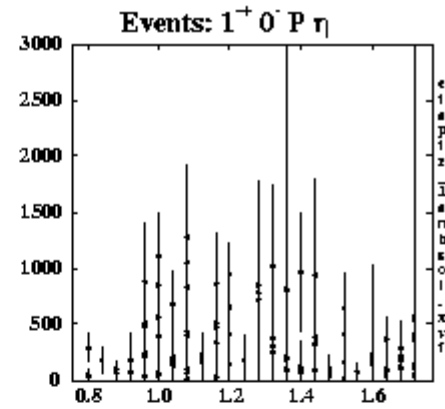
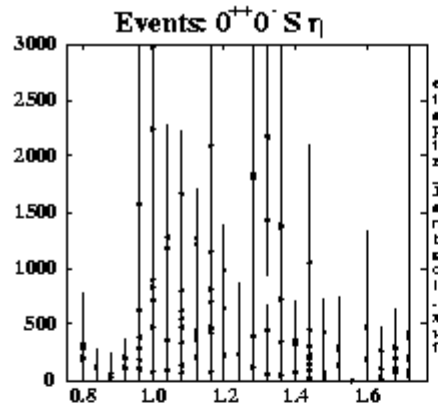
NPE waves

PWA
mass bin=
40 MeV



2000 year

Free background



UNPE waves

2000 year

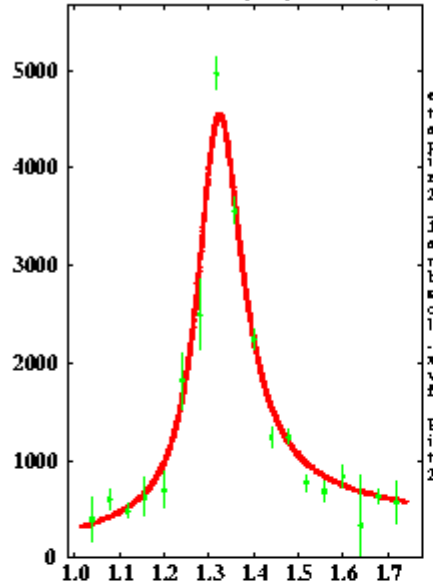
Free background

Mass dependent fit of $\eta\pi^0$

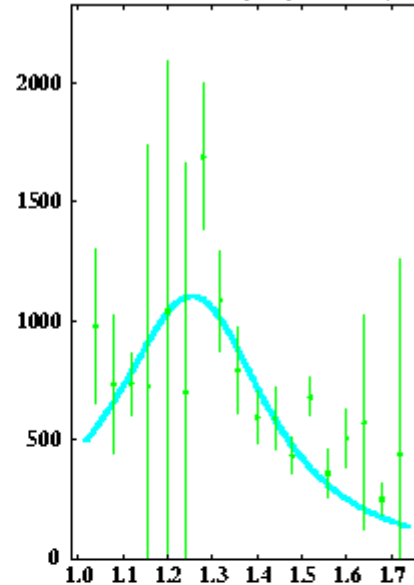
1. Two BW
2. Average of amb. solutions

Fit is the same as in analysis of $\eta\pi^-$

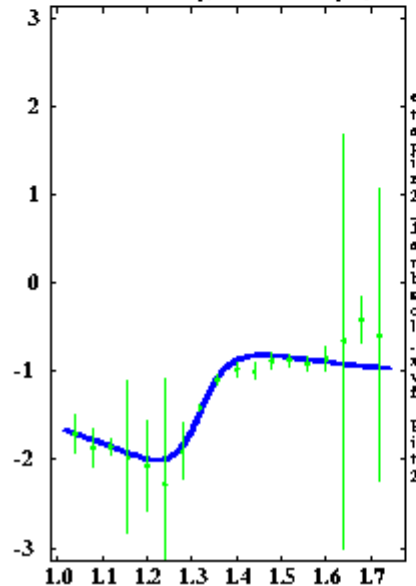
Events: $2^{++} 1^+ D \eta$ [$\frac{(1324 \pm 1)}{(123 \pm 2)}$]



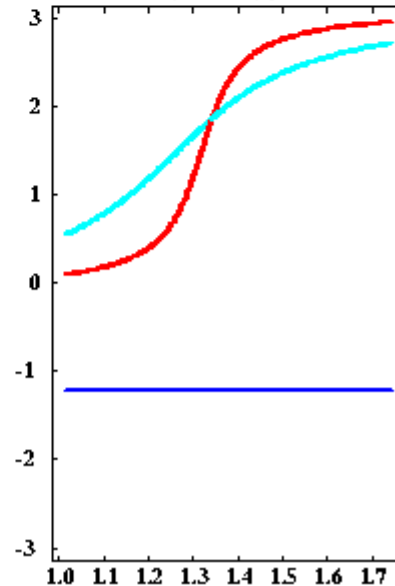
Events: $1^{++} 1^+ P \eta$ [$\frac{(1280 \pm 10)}{(400 \pm 26)}$]



Phase: $2^{++} 1^+ D \eta, 1^{++} 1^+ P \eta$ (pr0)



Phase: BW1, BW2, production



Free background

Comparison of $\eta\pi^-$ and $\eta\pi^0$

$\eta\pi^-$ PWA + MDF

$$\text{Mass } (a_2) = (1317 \pm 1 \pm 2)$$

$$\text{Width}(a_2) = (127 \pm 2 \pm 2)$$

$$\text{Mass } (\pi_1) = (1370 \pm 16 \begin{matrix} +50 \\ -30 \end{matrix})$$

$$\text{Width}(\pi_1) = (385 \pm 40 \begin{matrix} +65 \\ -105 \end{matrix})$$

$\eta\pi^0$ PWA + MDF

$$\text{Mass } (a_2) = (1326 \pm 4 \begin{matrix} +19 & +24 \\ -11 & -56 \end{matrix})$$

$$\text{Width}(a_2) = (119 \pm 5 \begin{matrix} +36 & +140 \\ -19 & -59 \end{matrix})$$

$$\text{Mass } (\pi_1) = (1280 \pm 24 \begin{matrix} +30 & +70 \\ -45 & -50 \end{matrix})$$

$$\text{Width}(\pi_1) = (526 \pm 81 \begin{matrix} 0 & 34 \\ -286 & -326 \end{matrix})$$

V.L.Korotkikh et al.(E852)
HADRON 99,
Nucl.Phys. A675(2000)413c

2000 year

Отметим, что результаты анализа $\eta\pi^0$ системы для всей области переданного импульса

A) $\pi^-p \rightarrow \eta\pi^0n$, $\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ (V.L.Korotkikh et al.(E852), 2000)

B) $\pi^-p \rightarrow \eta\pi^0n$, $\eta \rightarrow 2\gamma$, (A.Dzierba et al. (E852),2003)

совпадают для пика в P+ волне:

A) $M=1280 \pm 24$, $\Gamma=526 \pm 81$

B) $M=1272 \pm 17$, $\Gamma=660 \pm 48$

Вопросы в задаче $\eta\pi^0$

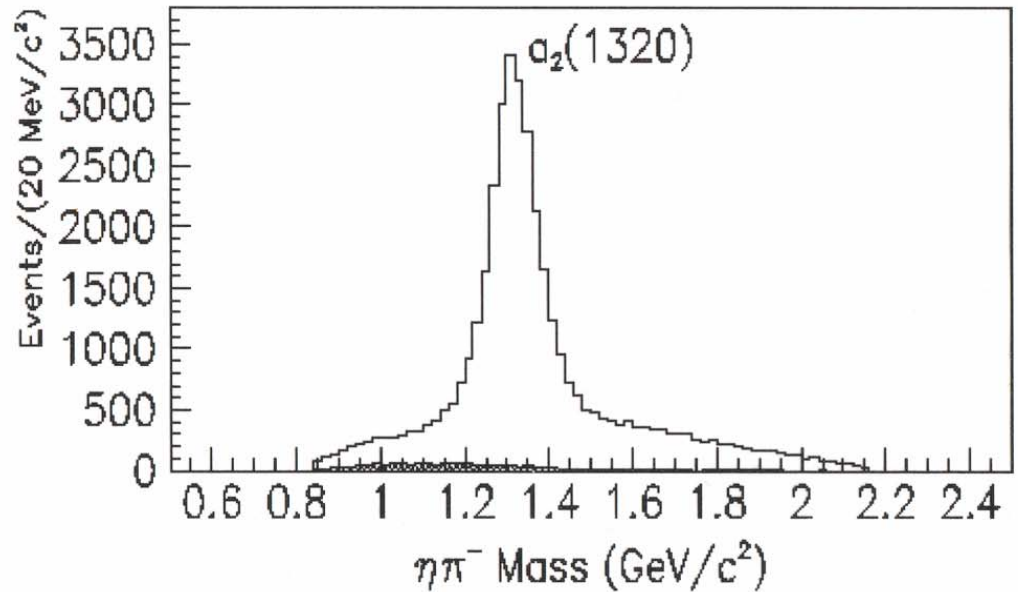
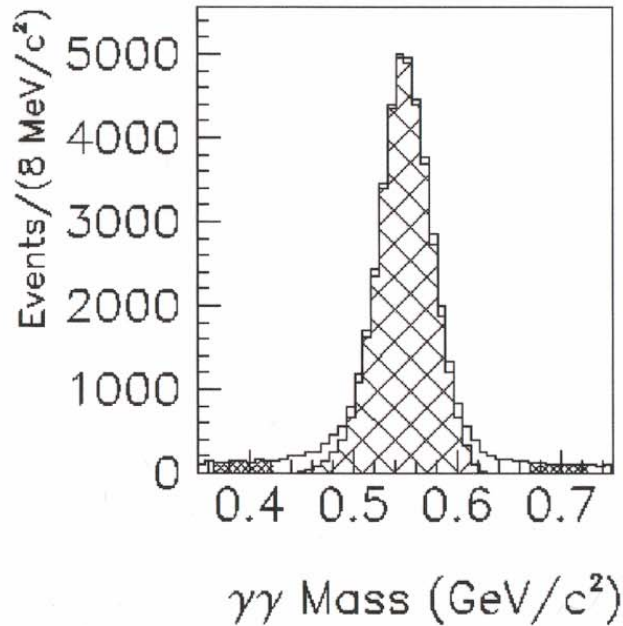
1. **Корректный учет фоны в ПВА .**
2. **Наблюдается ли $a_0(1300)$ в S_0 волне со стандартными параметрами?**
3. **Выбор физического решения.**
4. **Величина отношения R ?**
5. **Исследование Leakage для оценки систематической ошибки ?**
6. **Причина пика при 1.0 GeV в P^+ волне ?**
7. **t - зависимость PWA результатов ?**

Analysis of background

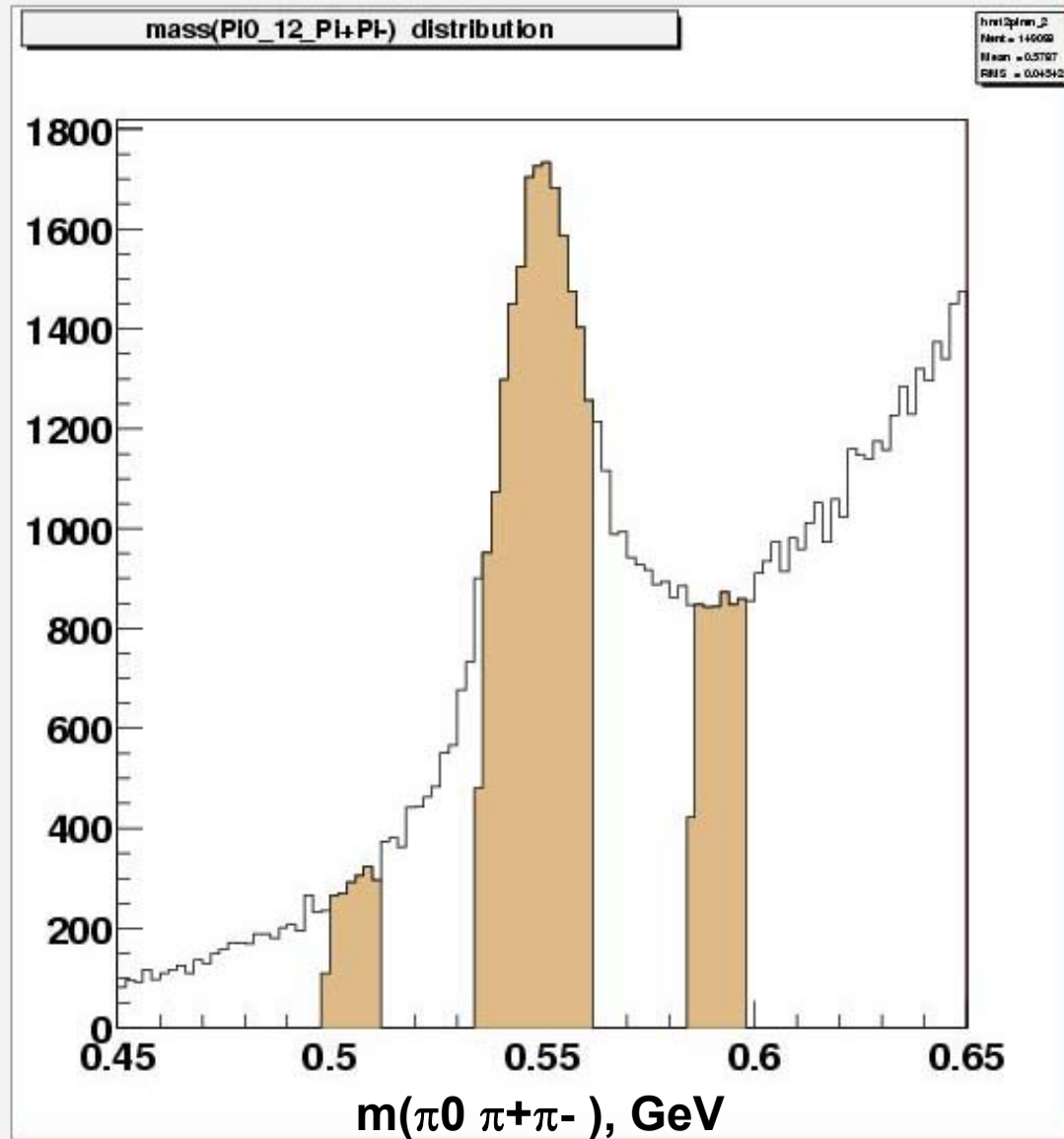
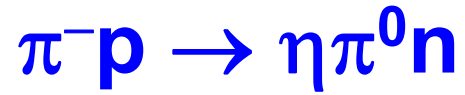
$$\eta \pi^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^0$$

$\pi^- p \rightarrow \eta \pi^- p, \eta \rightarrow 2\gamma$ при 18 ГэВ/с

47 200 событий $\rightarrow \eta \pi^- p$ ($\eta \rightarrow 2\gamma$)



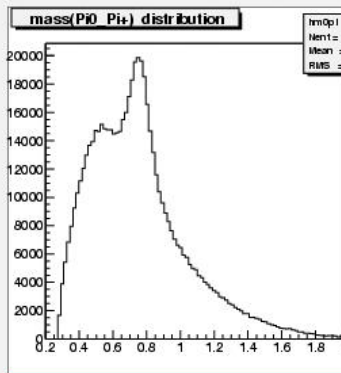
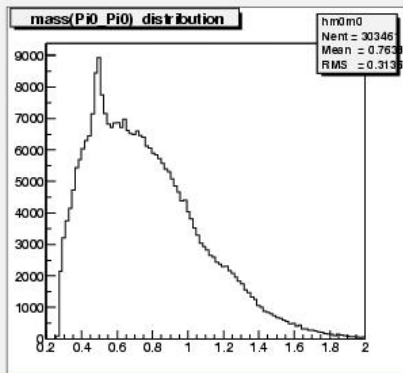
- Спектр по эффективной массе двух фотонов. Центральная заштрихованная область показывает события после кинематического фита. Заштрихованные полосы по краям показывают области, отобранные для оценки фона.
- Распределение по эффективной массе $\eta\pi^-$ -системы. Заштрихованная область показывает вклад фона.



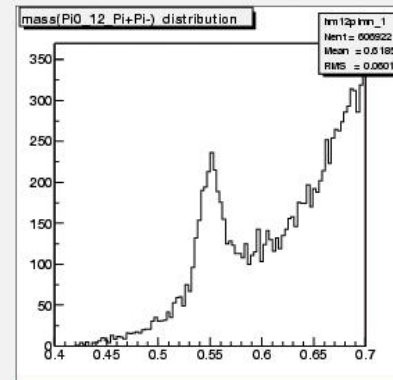
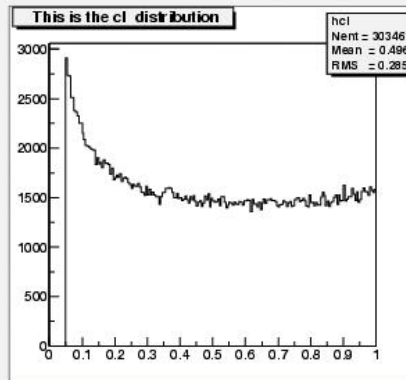
η - signal and background calculation by the side bands

No cut

$\pi \pi$



3π and 4π

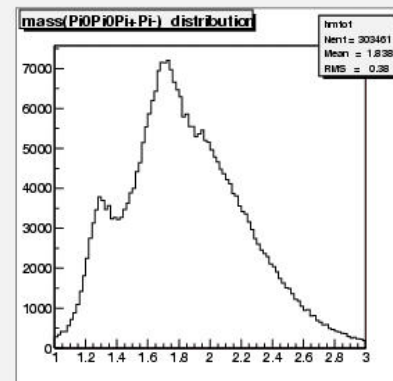
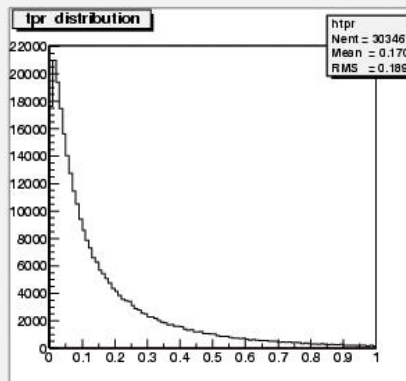
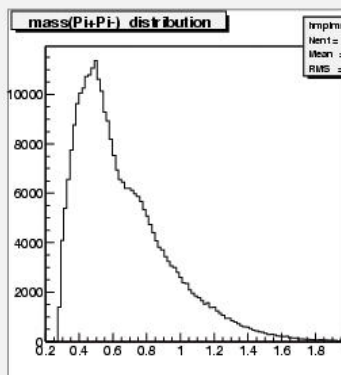
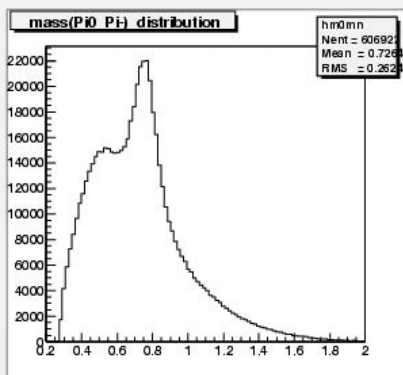


$m(\pi^0 \pi^0)$

$m(\pi^0 \pi^+)$

c_1

$m(\pi^0 \pi^+ \pi^-)$



$m(\pi^0 \pi^-)$

$m(\pi^+ \pi^-)$

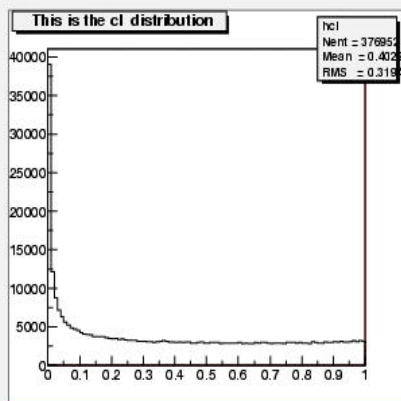
t'

$m(\pi^0 \pi^0 \pi^+ \pi^-)$

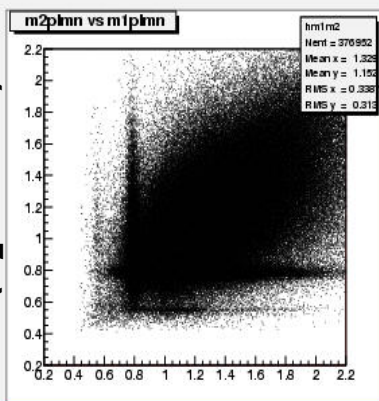
No cut

$\pi^+ \pi^- \pi^0$

$\eta \pi^0$

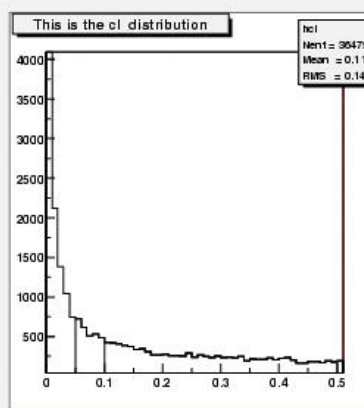


c1

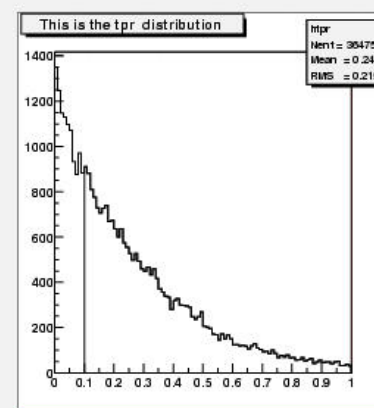


$m(\pi_1^0 \pi^+ \pi^-)$

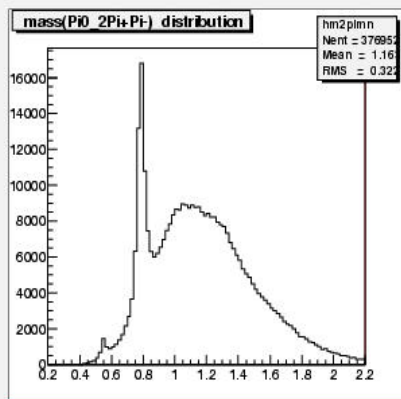
$m(\pi_2^0 \pi^+ \pi^-)$



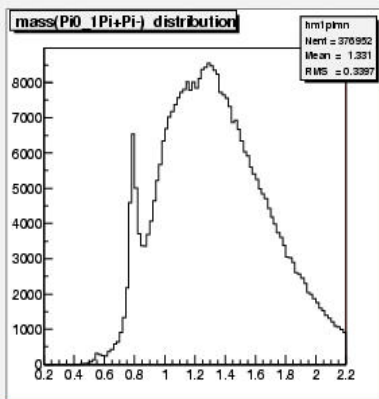
c1



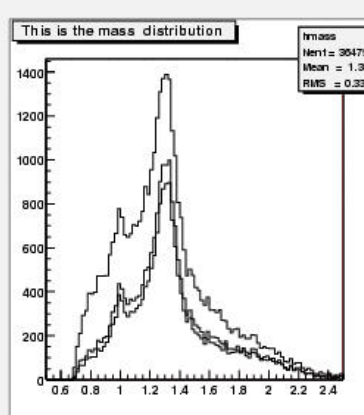
t'



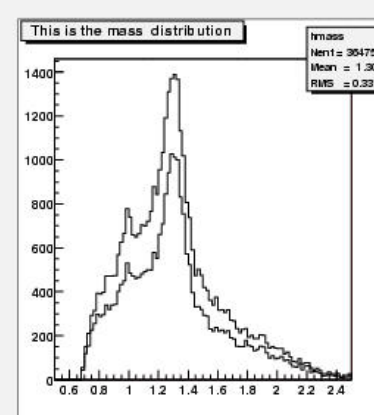
$m(\pi_2^0 \pi^+ \pi^-)$



$m(\pi_1^0 \pi^+ \pi^-)$



$m(\eta \pi^0)$



$m(\eta \pi^0)$

Onn-line selection

Trigger: 0-2-2-(4)
 $\eta\pi^0$

- * Interaction beam
- * Two downstream tracks
- * No recoil trac
- * LGD trigger processor mass $> \pi^0$ mass

Off-line selection

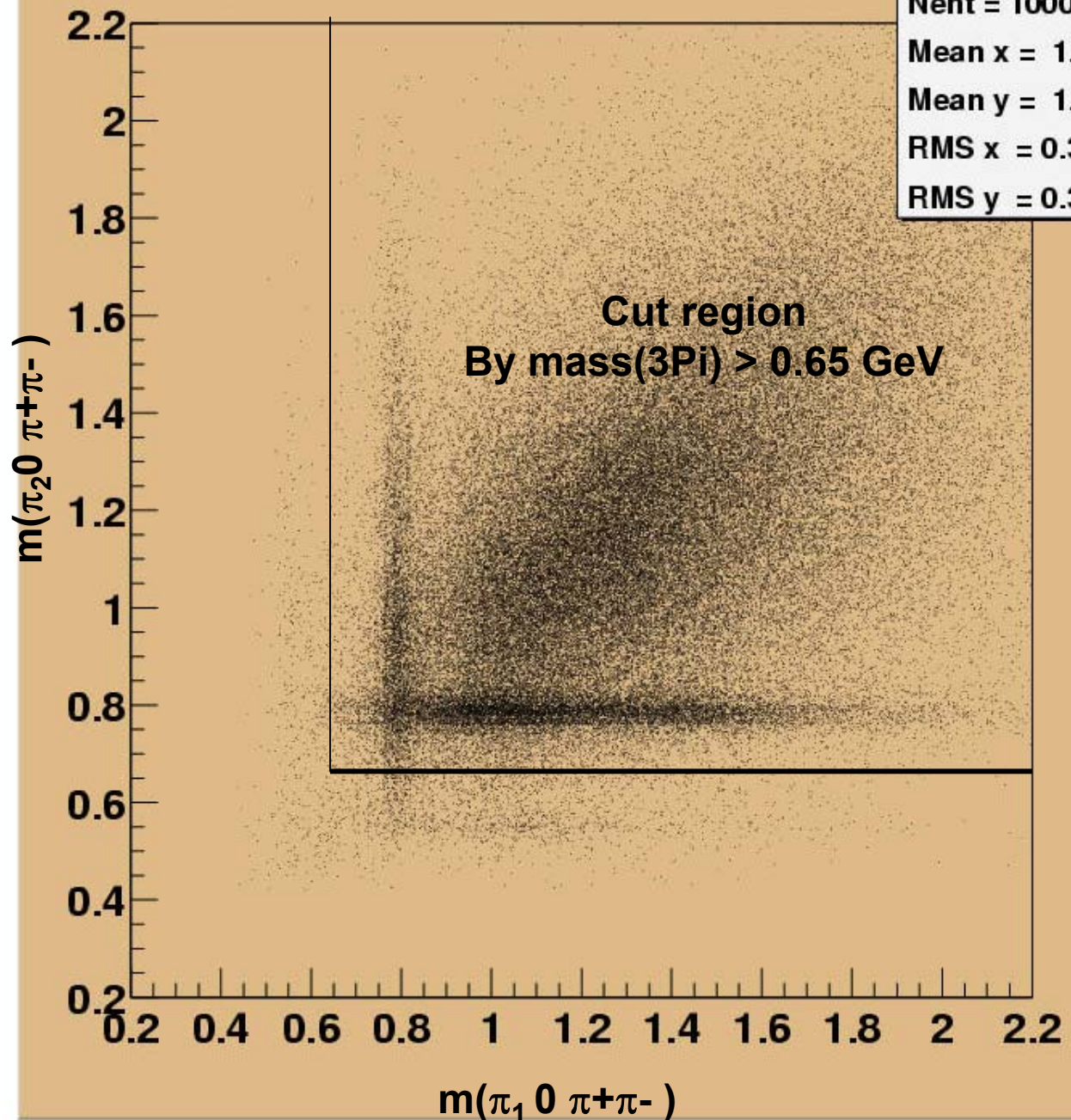
- * Reconstructed beam
- * No recoil
- * CsI < 160 MeV
- * Two forward reconstructed tracks
- * Vertex in target
- * Exactly 4 photons
- * Kinematical fit selecting events consistent with (n, η , π^0)

Statistics. Data cuts.

			Trigger: 0-2-2-(4)
Total 0-2-2-X triggers analyzed	108,000,000		
After skimming data 0-2-2-4Photons	6,000,000		$\eta\pi^0$
<hr/>			
1.1. Hypothesis EtaPi0	41,108		
1.1.1. Hypothesis EtaPi0,(ellips cut+cl>0.01)	26,871		
<hr/>			
With 3 Pi mass cut			
1.2. Hypothesis EtaPi0	31,679		
1.2.1. Hypothesis EtaPi0,(ellips cut, cl>0.10)	23492	→	PWA
<hr/>			
Monte Carlo simulation			
<hr/>			
1.1.MC. EtaPi0, Raw Monte Carlo Events	900,000	→	PWA
<hr/>			
1.1.MC. EtaPi0, Acc MC Events,(after SQUAW)	265,972		
1.1.MC. EtaPi0, Acc MC Events,(ellips cut)	196,560		
1.1.1.MC. EtaPi0, Acc MC Events,(ellips cut, cl>0.01)	192,302		
1.2.1.MC. EtaPi0, Acc MC Events,(ellips cut, cl>0.10)	180,294	→	PWA

$\pi^+\pi^-\pi^0$ - plot

m(PI0_2pi+pi-) vs m(PI0_1pi+pi-)



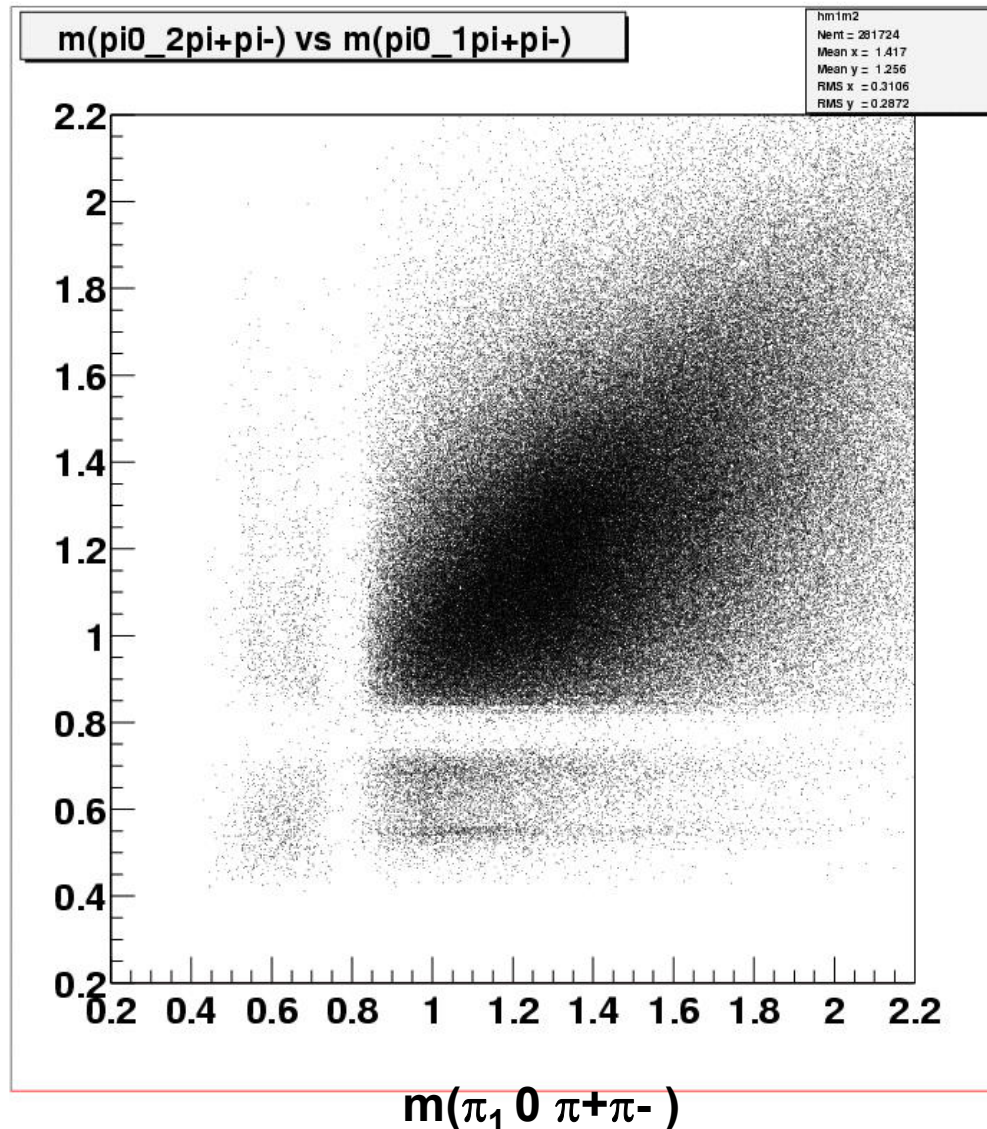
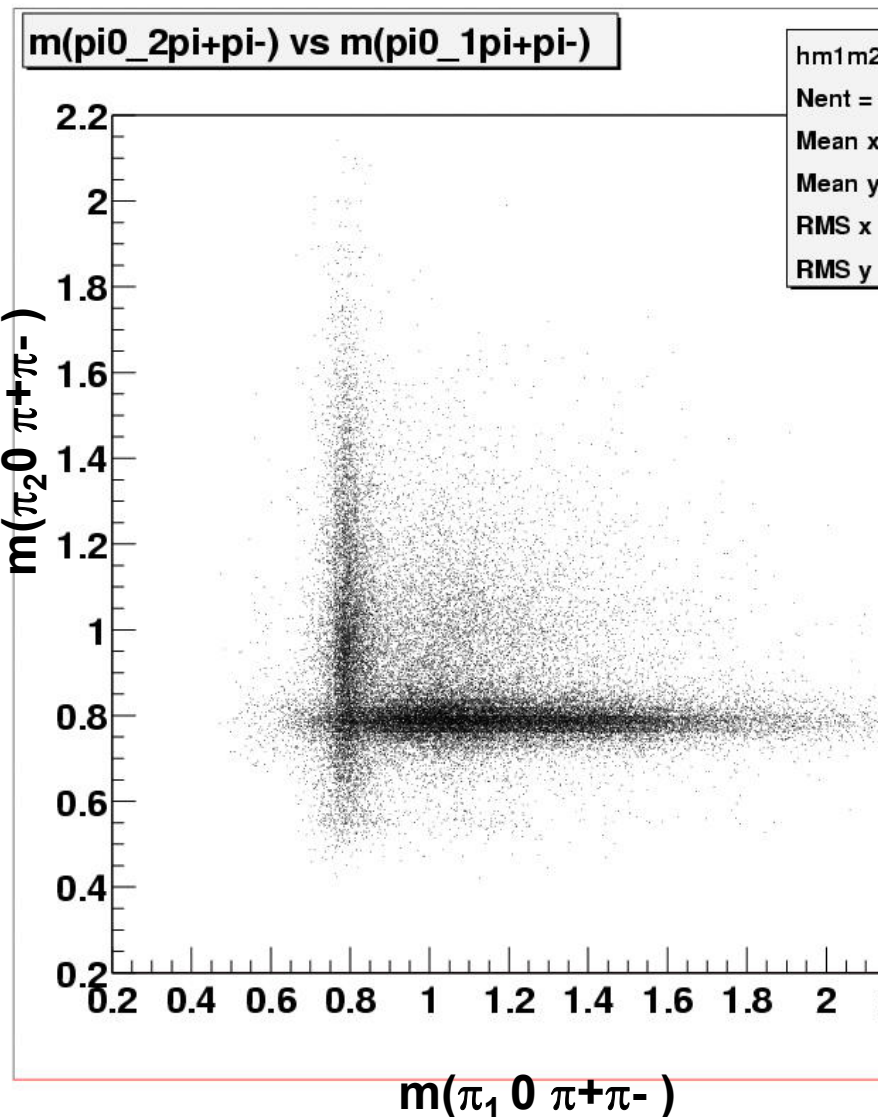
hm1m2
Nent = 100000
Mean x = 1.317
Mean y = 1.148
RMS x = 0.3384
RMS y = 0.3115

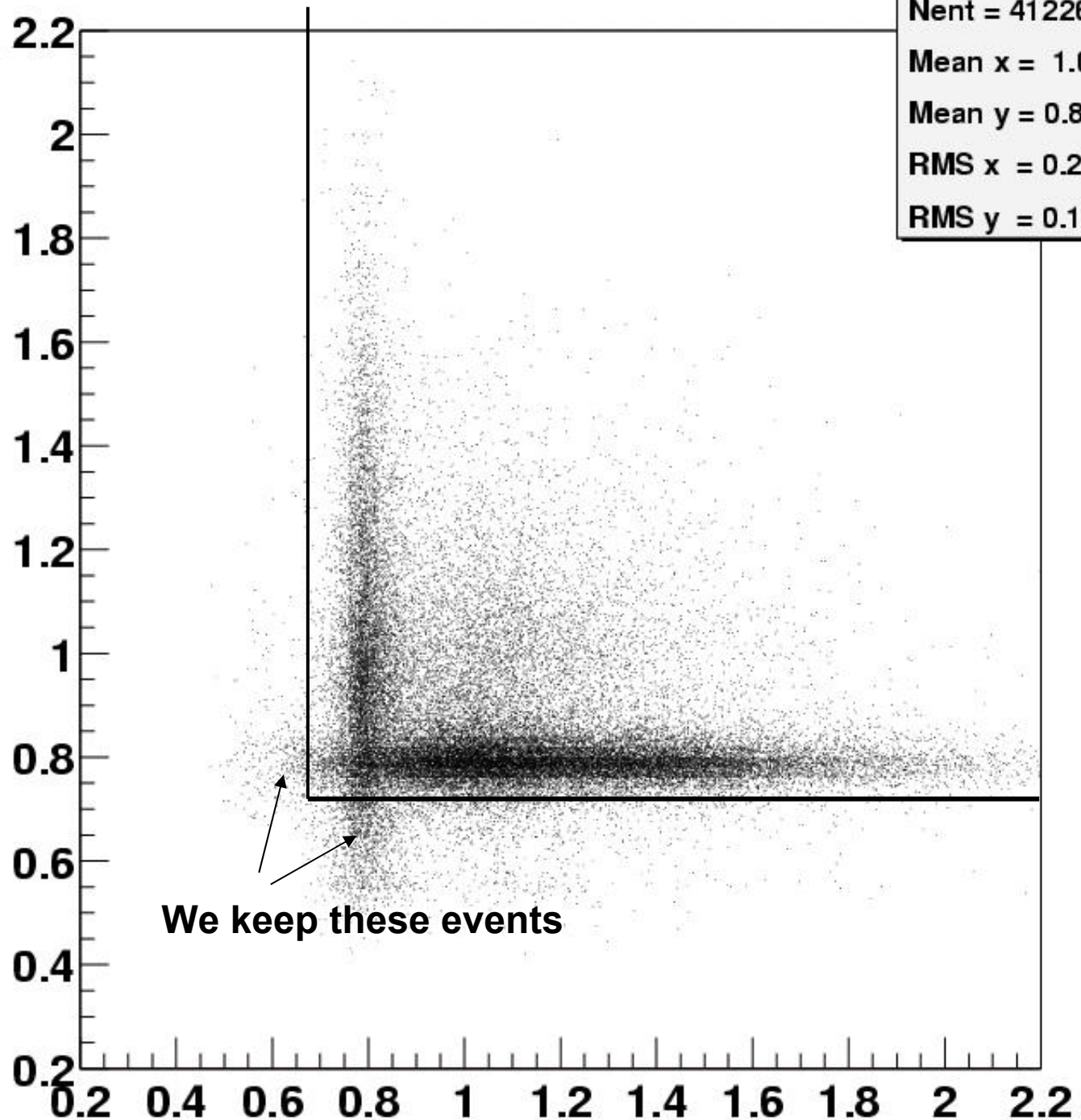
3 %

Extract by squaw
Omg+Pi0, Omg+2Gamma

Cut by squaw
Omg+Pi0, Omg+2Gamma

10 %

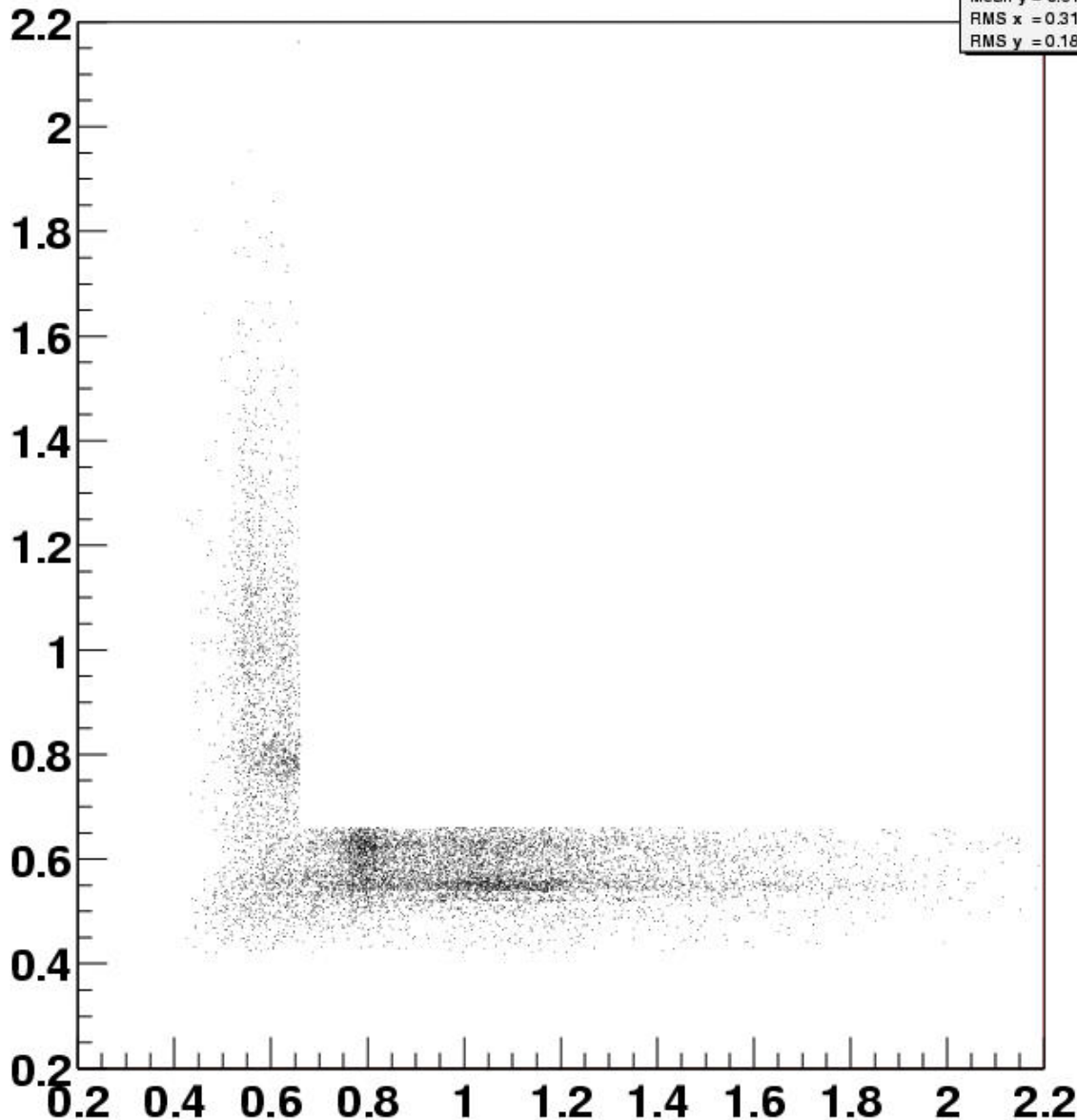




Nent = 41226
Mean x = 1.087
Mean y = 0.8756
RMS x = 0.2895
RMS y = 0.1814

We keep these events

$m(\pi^0_2\pi^+\pi^-)$ vs $m(\pi^0_1\pi^+\pi^-)$



hm1m2
Nent = 10000
Mean x = 0.9298
Mean y = 0.6495
RMS x = 0.3142
RMS y = 0.1885

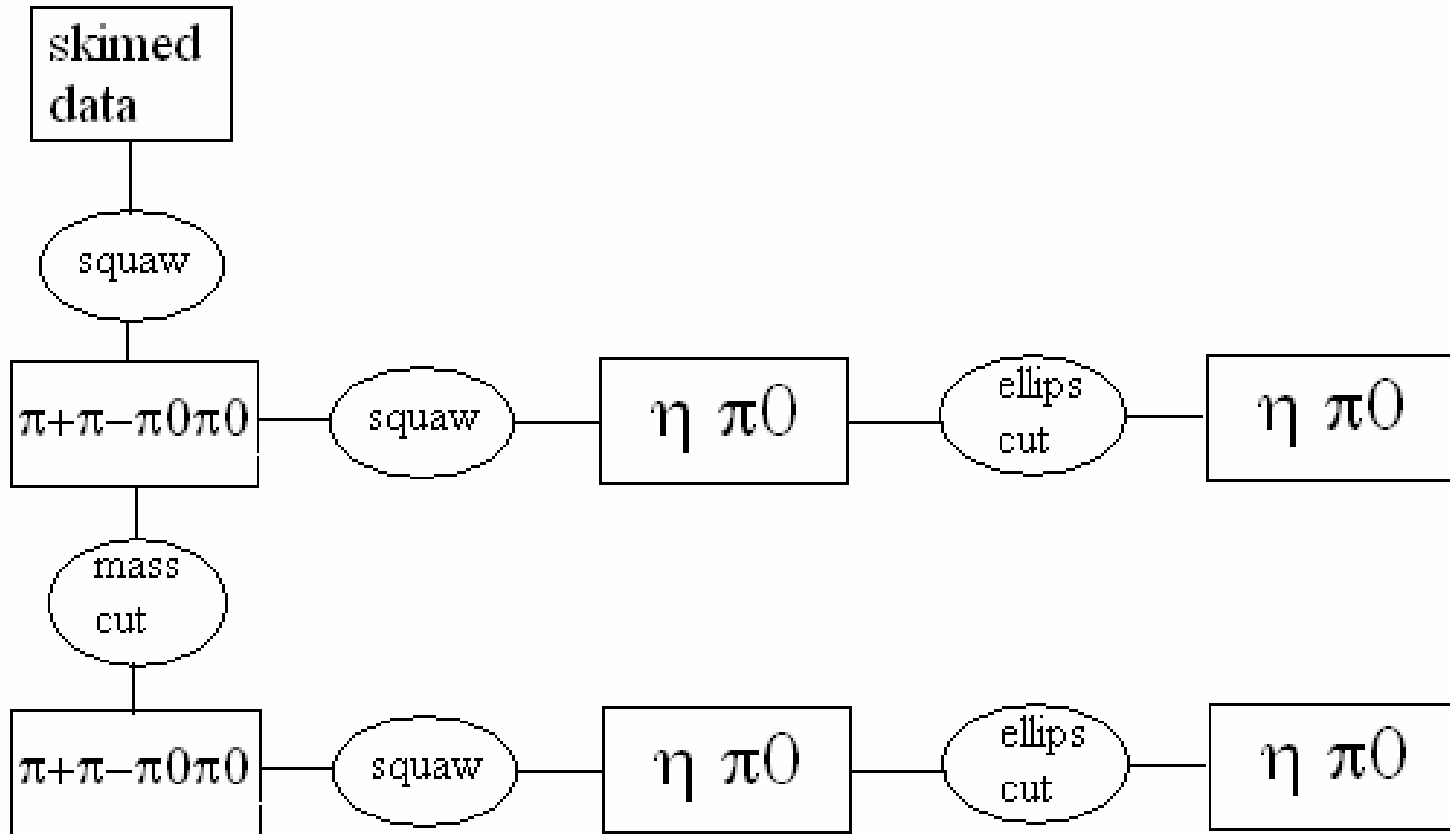
Cuts:

1. $\text{Mass}(3\text{Pi}) > 0.65\text{GeV}$
2. $(\text{Omg}+\text{Pi}0)$ by sq97
3. $(\text{Omg} + 2\text{Gamma})$
4. K0 short \rightarrow $\text{Pi}0\text{Pi}0$

and add:

$\text{Omg} \rightarrow \text{Pi}0\text{Pi}^+\text{Pi}^-$
at $\text{mass}(3\text{Pi}) < 0.65$
which was deleted
by sq97

Event selection



Number of the selected events

Skimed data 0-2-2-4 (6000000)	No cut	Mass cut	Ellips cut	cl>0.01
$\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$	3973000	85228		
$\eta\pi^0$	41108		31504	26871
$\eta\pi^0$		35784	31679	23492

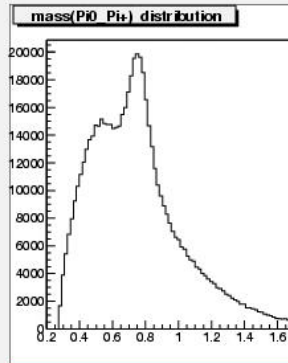
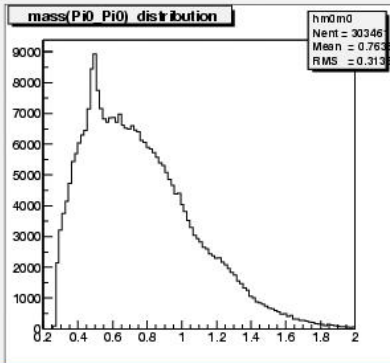
Distributions of mass with cuts

$$\eta \pi^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi_1^0 \pi_2^0$$

No cut

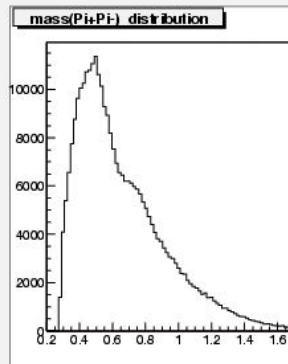
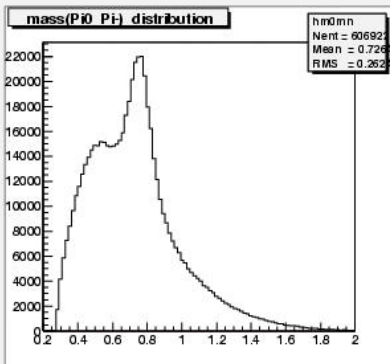
With mass cuts

$\pi \pi$



$m(\pi^0 \pi^0)$

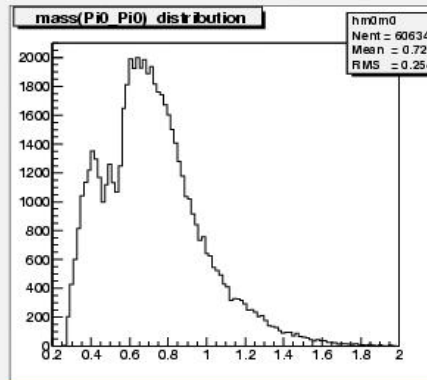
$m(\pi^0 \pi^+)$



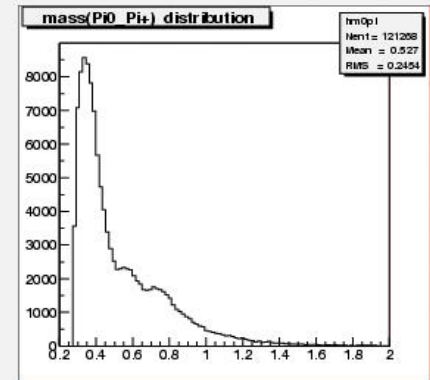
$m(\pi^0 \pi^-)$

$m(\pi^+ \pi^-)$

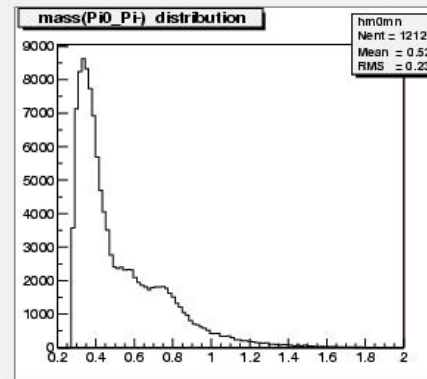
$\pi \pi$



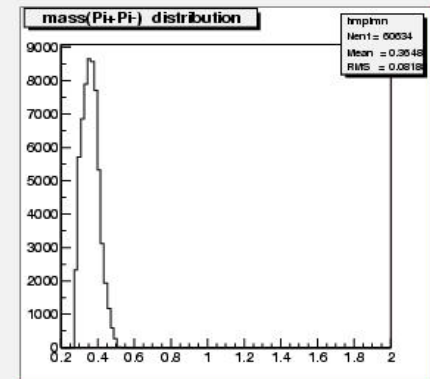
$m(\pi^0, \pi^0)$



$m(\pi^0, \pi^+)$



$m(\pi^0, \pi^-)$

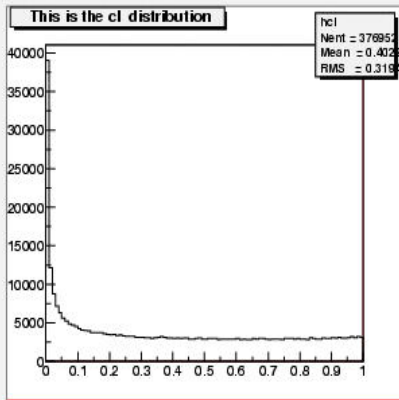


$m(\pi^+, \pi^-)$

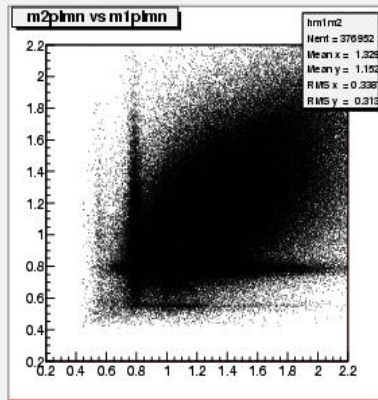
No cut

With mass cuts

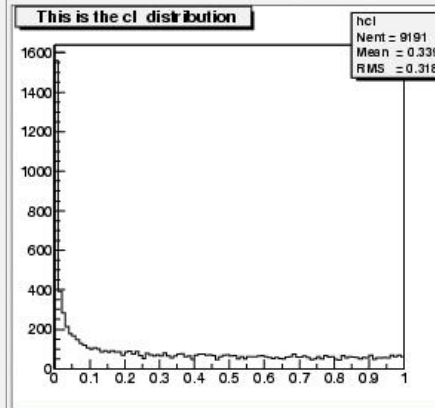
3π



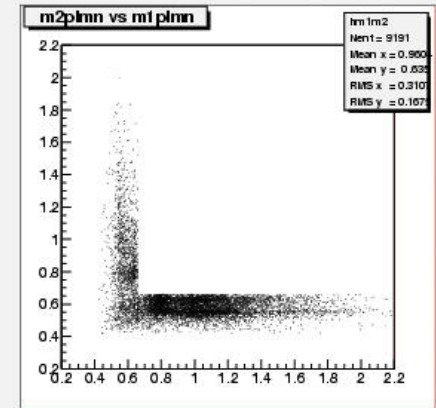
c1



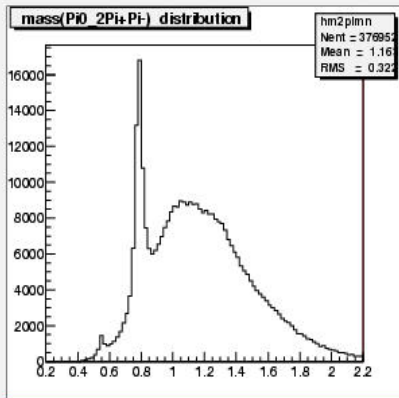
$m(\pi_1 0 \pi^+\pi^-)$



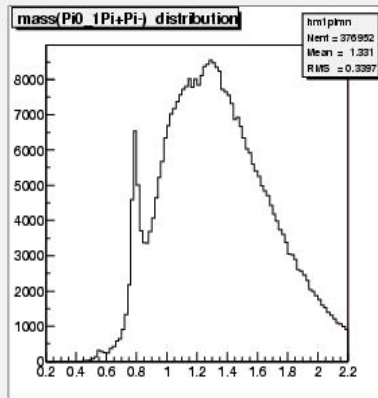
c1



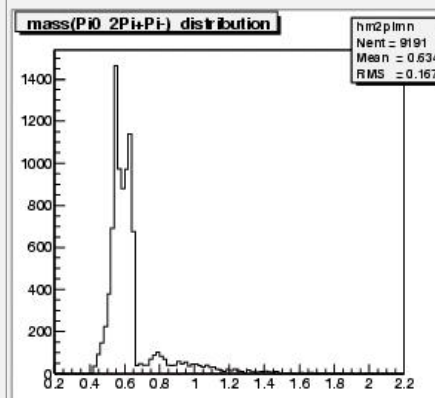
$m(\pi_1 0 \pi^+\pi^-)$



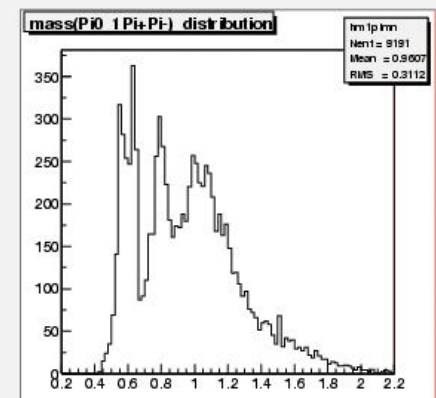
$m(\pi_2 0 \pi^+\pi^-)$



$m(\pi_1 0 \pi^+\pi^-)$

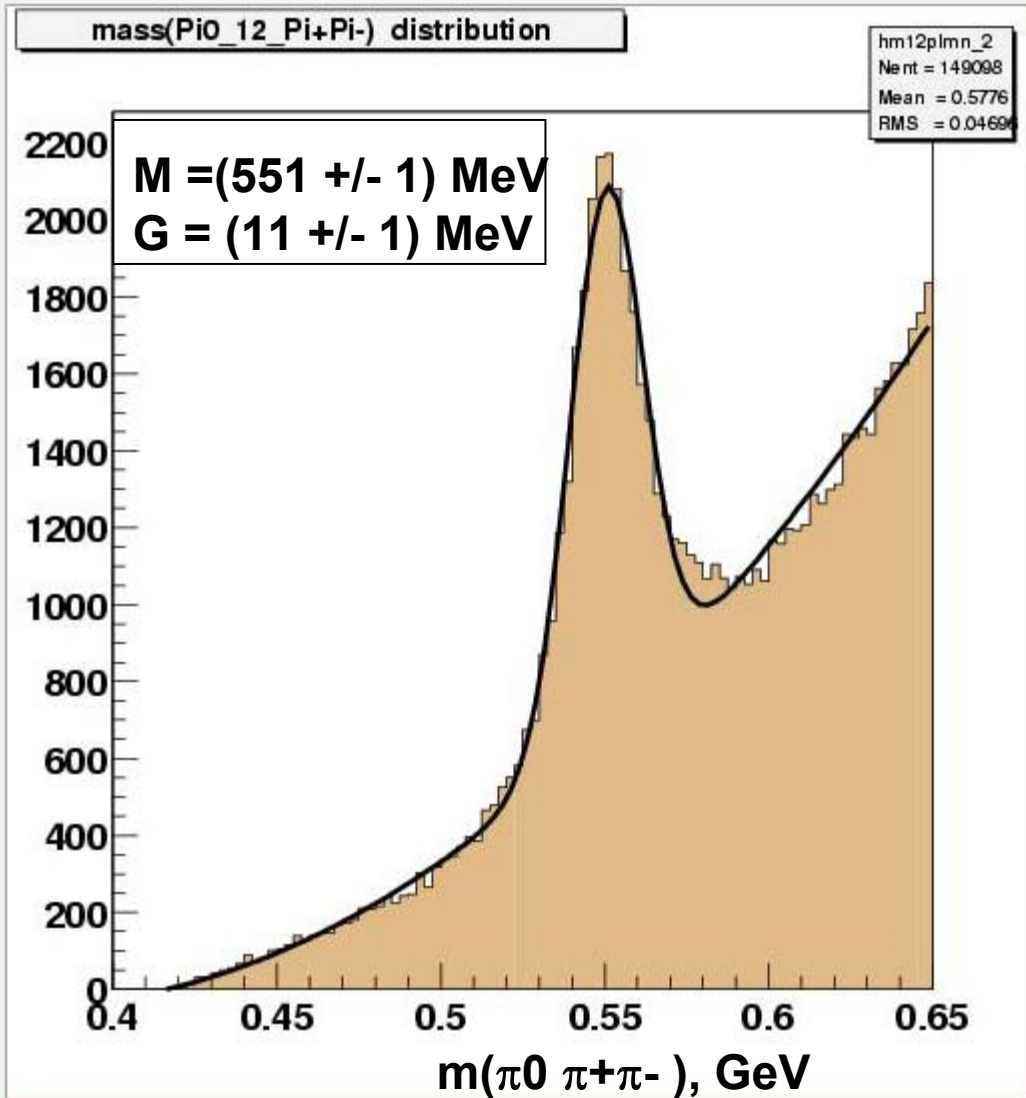


$m(\pi_2 0 \pi^+\pi^-)$



$m(\pi_1 0 \pi^+\pi^-)$

η signal



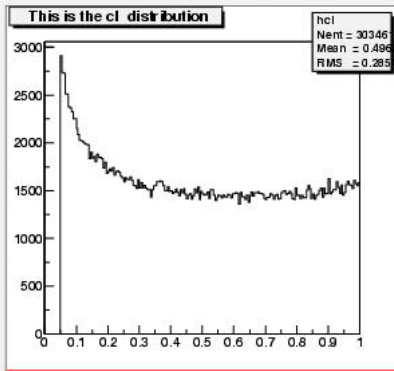
$$S/B \approx 2$$

PDG:
 $M = 547 \text{ MeV}$

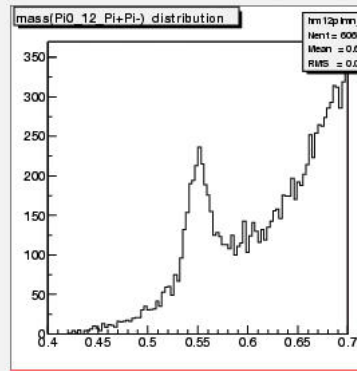
No cut

With mass cuts

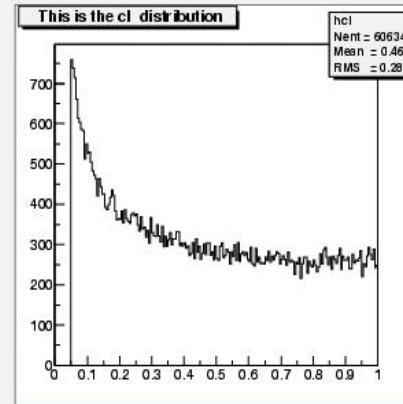
3π and 4π



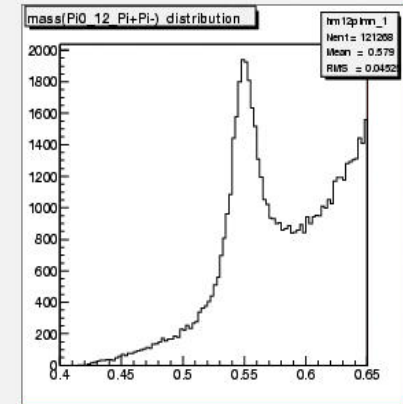
cl



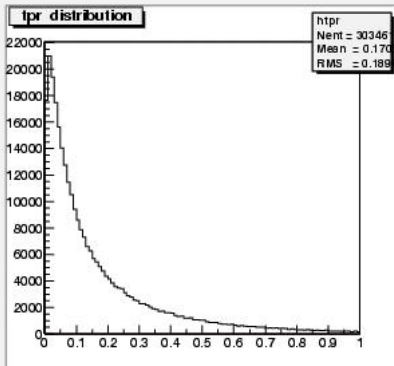
$m(\pi^0 \pi^+ \pi^-)$



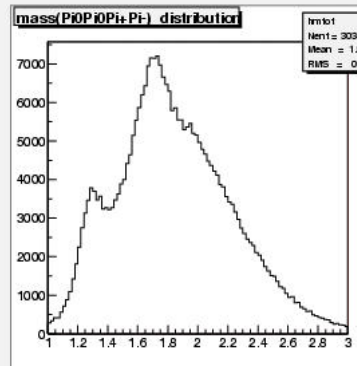
cl



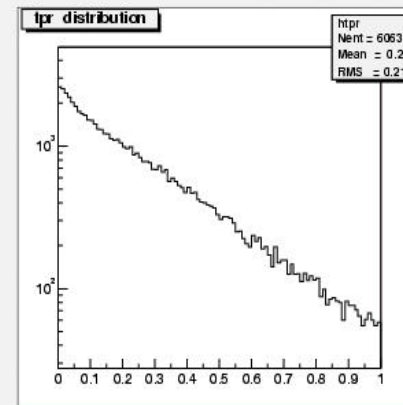
$m(\pi^0, \pi^+, \pi^-)$



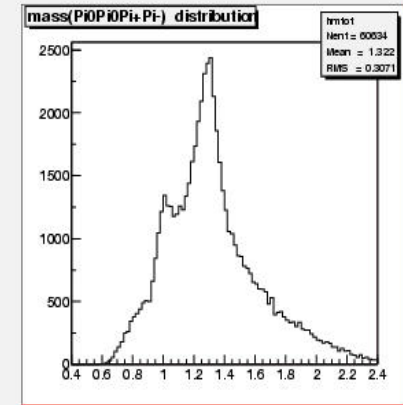
t'



$m(\pi^0 \pi^0 \pi^+ \pi^-)$



t'

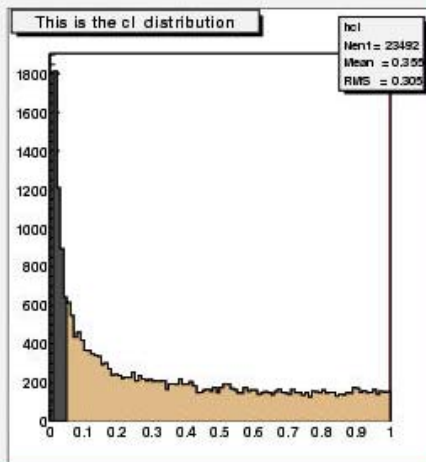


$m(\pi^0, \pi^0, \pi^+, \pi^-)$

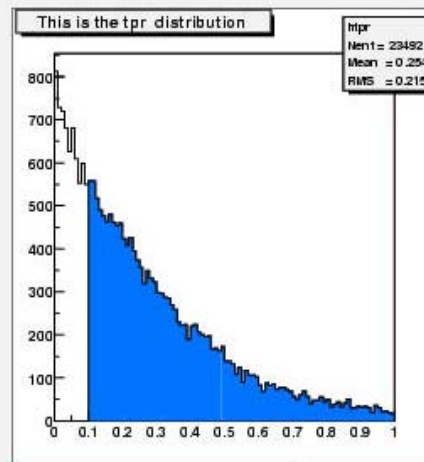
2004 год

With mass cuts

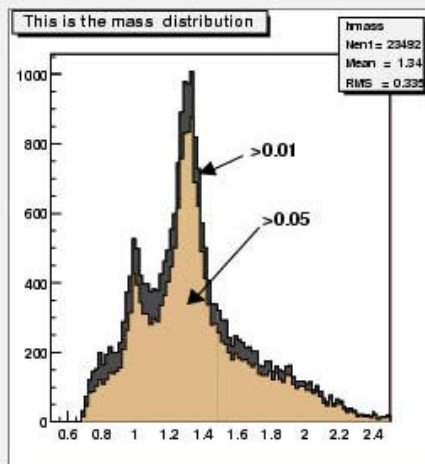
$\eta\pi^0$ 23490 событий



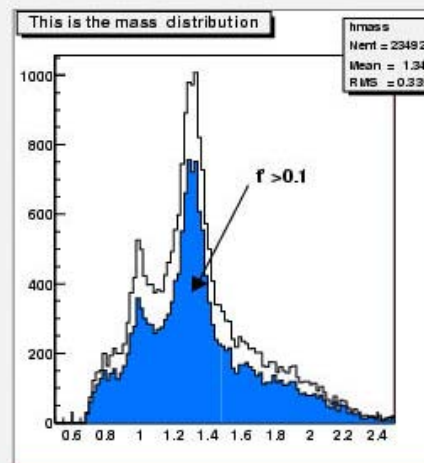
cl



t', GeV^2



$m(\text{EtaPi}0), \text{GeV}$



$m(\text{EtaPi}0), \text{GeV}$

PWA+MDF

L Allowed waves:

Notation	J	P	C	M	ϵ
S_0	0	+	+	0	-
P_0	1	-	+	0	-
P_-	1	-	+	1	-
D_0	2	+	+	0	-
D_-	2	+	+	1	-
P_+	1	-	+	1	+
D_+	2	+	+	1	+

γ^{PC} :

$1^{-+} \rightarrow$

$2^{++} \rightarrow$

background

Парциально-волновой анализ

$$\pi^- + p \rightarrow X^- + p$$

$$X^- \rightarrow \eta + \pi^-$$

$M_X = M_{\eta\pi}$ - инвариантная масса системы $\eta\pi^-$

l - относительный орбитальный момент частиц $\eta\pi^-$

θ, ϕ - полярный и азимутальный угол частицы η
в системе Готфрида-Джексона

Угловое распределение:

$$I(M_X, \theta, \phi) = \sum_{\varepsilon k} |\varepsilon U_k(M_X, \theta, \phi)|^2, \quad \varepsilon = \pm 1, \quad k = 1, 2$$

$$\varepsilon U_k(M_X, \theta, \phi) = \sum_{l|m|} V_{lmk}^\varepsilon(M_X) \varepsilon D_{m0}^l(\theta, \phi)$$

$$\varepsilon D_{m0}^l(\theta, \phi) = D_{m0}^l(\phi, \theta, 0) - \varepsilon (-1)^m D_{m0}^l(\phi, \theta, 0)$$

Краткие обозначения "интенсивности" волн:

$$\varepsilon = -1 : S_0 = V_{00k}^-, P_0 = V_{10k}^-, P_- = V_{11k}^-, D_0 = V_{20k}^-, D_- = V_{21k}^-$$

$$\varepsilon = +1 : P_+ = V_{11k}^+, D_+ = V_{21k}^+$$

Масс-зависящий анализ 2-х интерферирующих волн

Две волны: $l = 2$, $l = 1$

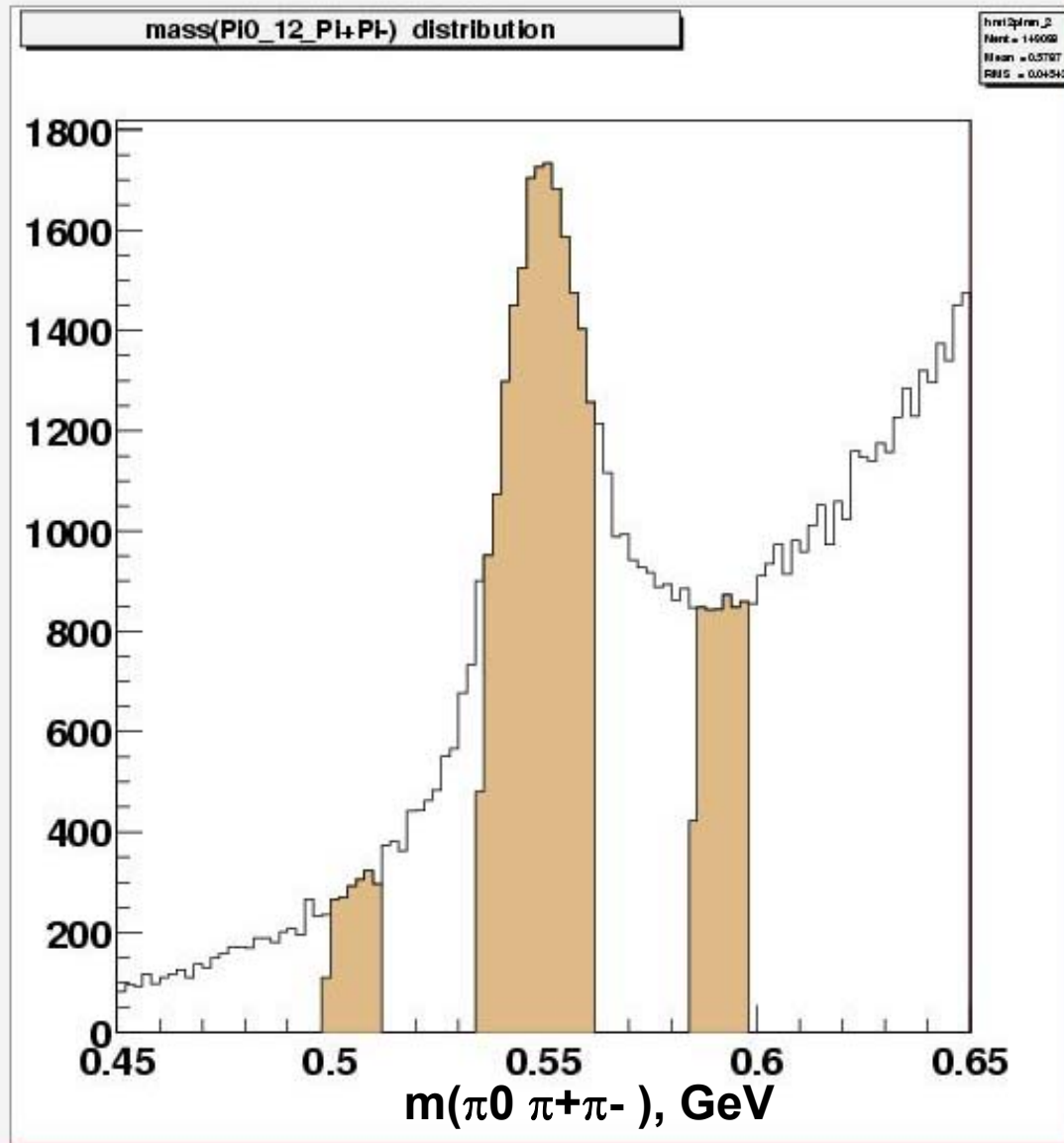
$$\frac{dI(M, \Omega)}{dM d\Omega} \sim |V_2(M) D_{10}^2(\theta, \phi) + V_1(M) D_{10}^1(\theta, \phi)|^2$$

$$V_1(M) = a e^{i\alpha} f_1^{BW}(M)$$

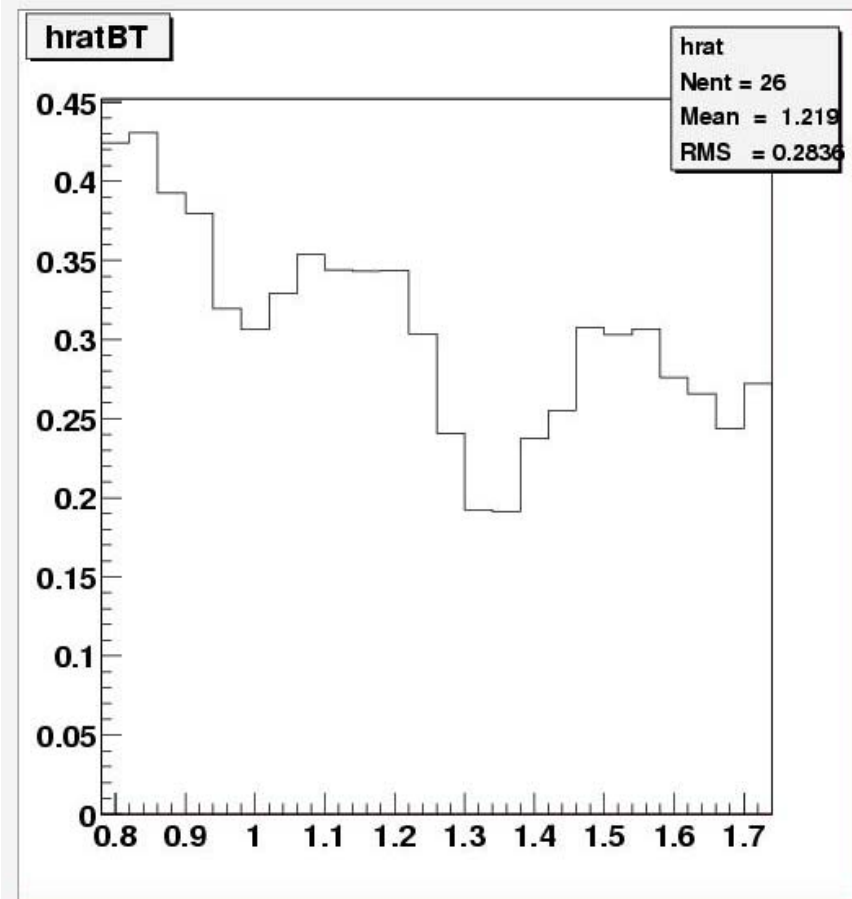
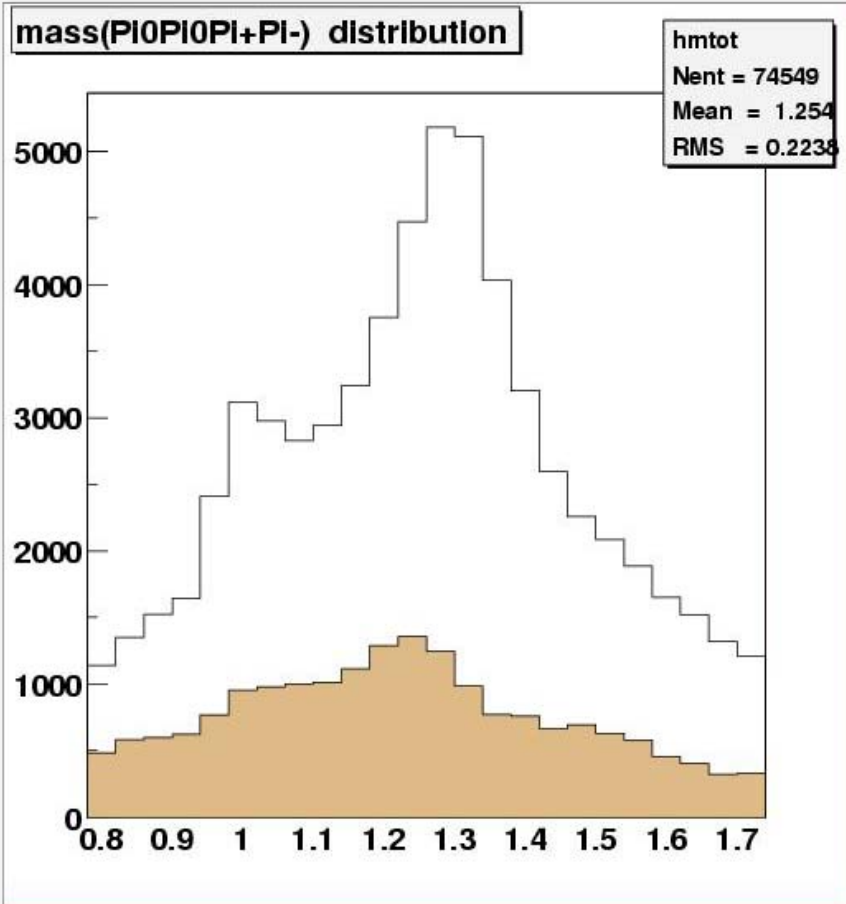
$$V_2(M) = b f_2^{BW}(M)$$

$$f_j^{BW}(M) = \frac{M_j \Gamma_j}{M_j^2 - M^2 - i M_j \Gamma_j} = e^{i\delta_j(M)} \sin \delta_j(M), \quad \operatorname{ctg} \delta_j(M) = \frac{M_j^2 - M^2}{M_j \Gamma_j}$$

Интерферирующий член $\sim e^{i(\alpha + \delta_1(M) - \delta_2(M))}$

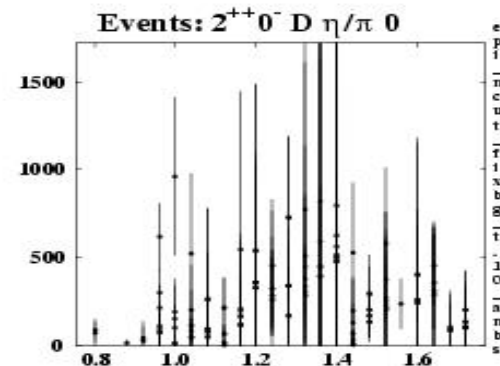
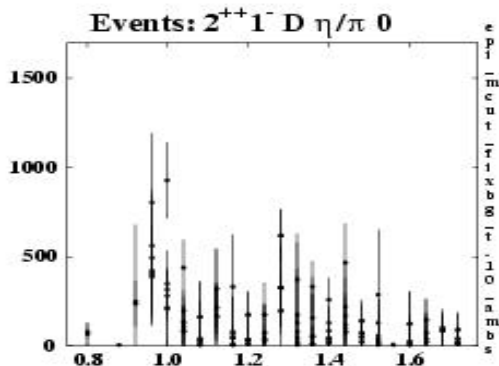
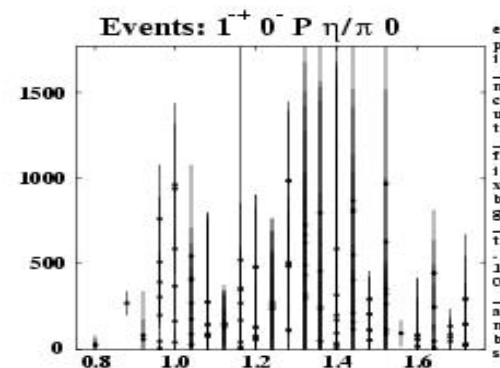
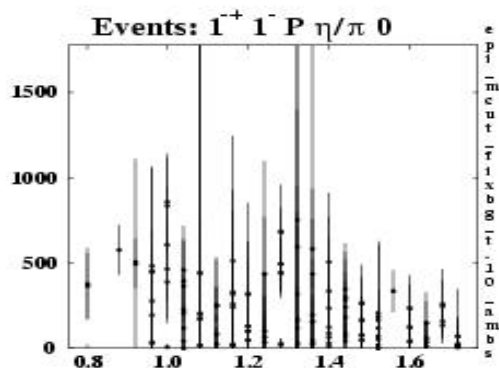
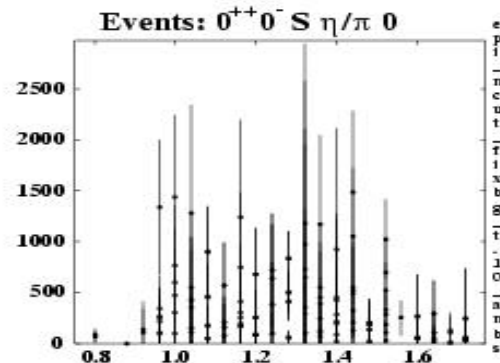
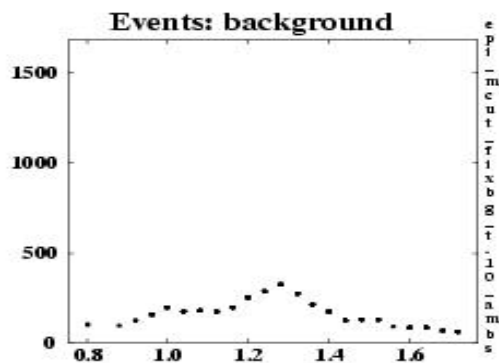


Background calculation by the side bands in each mass bin



- a) Data and background in the $m(\pi^0\pi^0\pi^+\pi^-)$ distribution
 b) Ratio Bckg/Data, mass bin = 40 MeV

**Lets fix the ratio Bckg/Data
from side bands analysis**



$m(\eta\pi^0)$, GeV

Fixed background, $t > 0.1 \text{ GeV}^2$, $cl > 0.01$

UNPW

NPW

S0

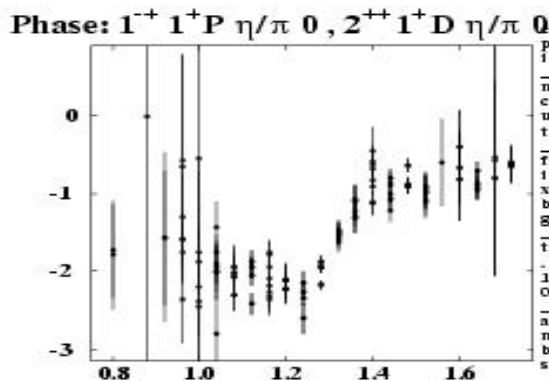
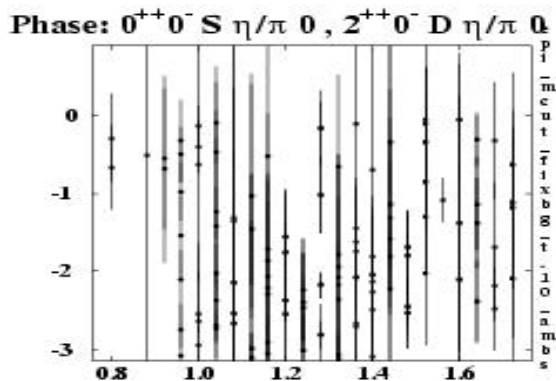
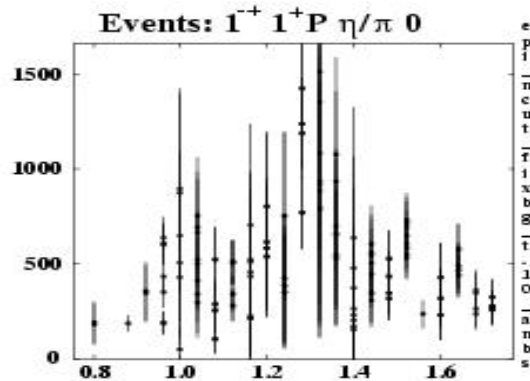
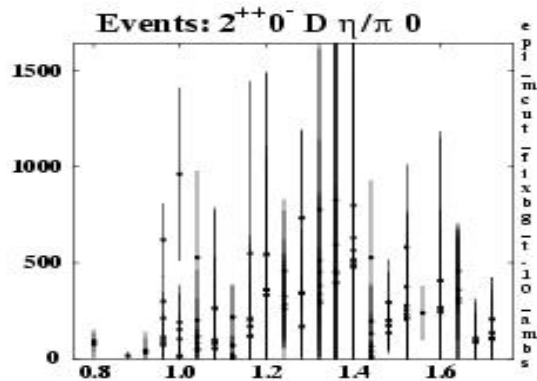
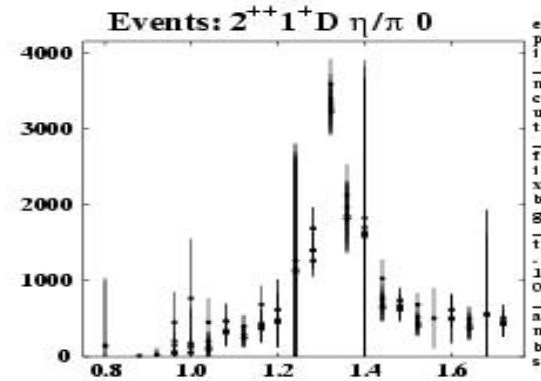
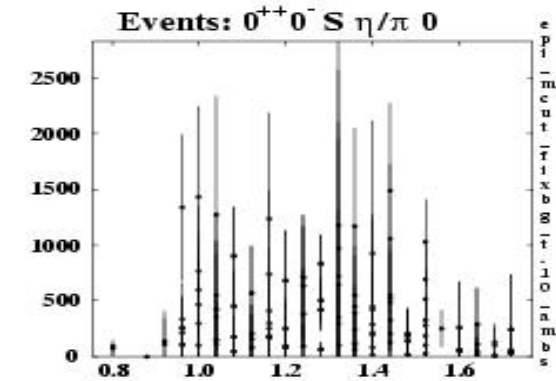
D+

D0

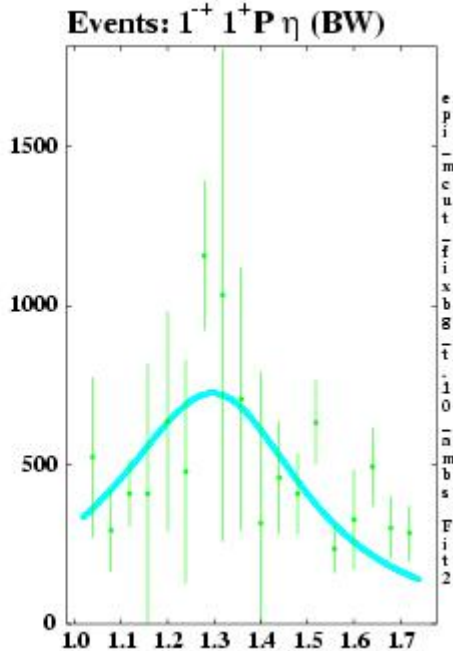
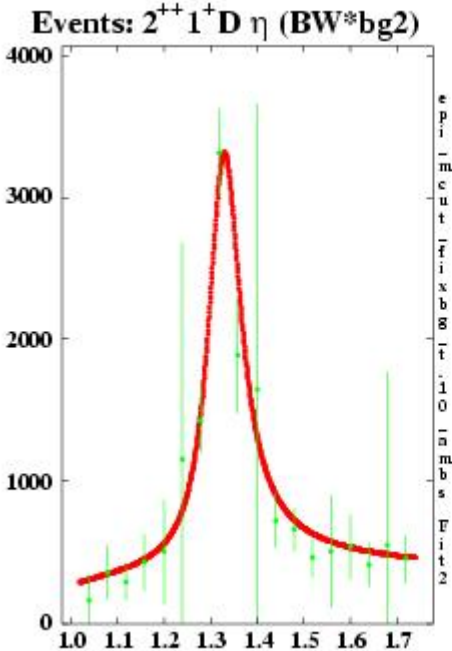
P+

Phase

Phase



$m(\eta\pi^0), \text{ GeV}$



Fixed background

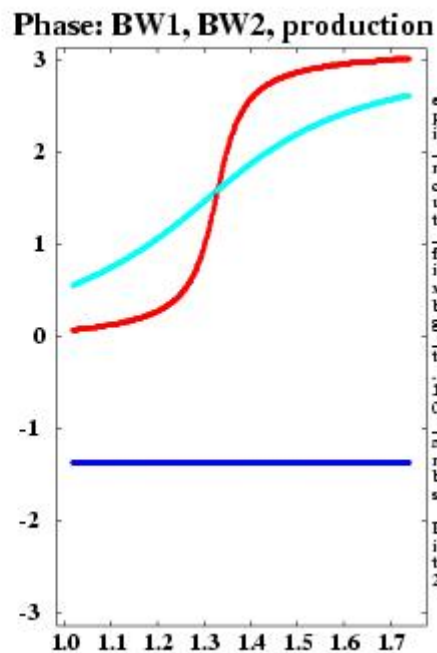
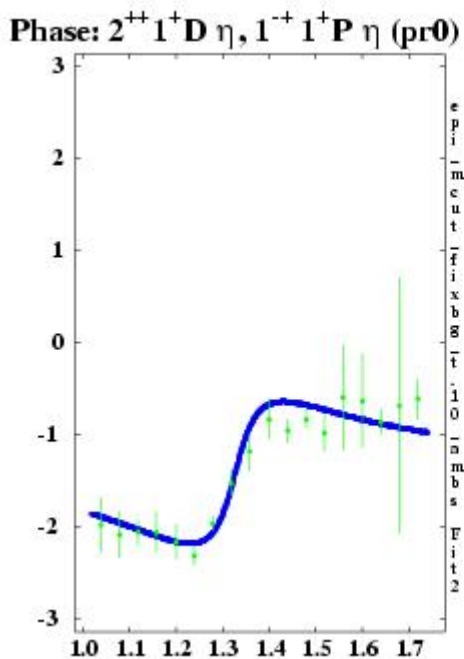
D+ and P+, MDF, $cl > 0.01$
Average solution
Average error matrix

D+

$$M = 1.330 \pm 0.002$$

$$G = 0.085 \pm 0.003$$

a₂(1320)



New E852 result

P+

$$M = 1.326 \pm 0.024$$

$$G = 0.470 \pm 0.081$$

Pi₁(1300) ?
In EtaPi0

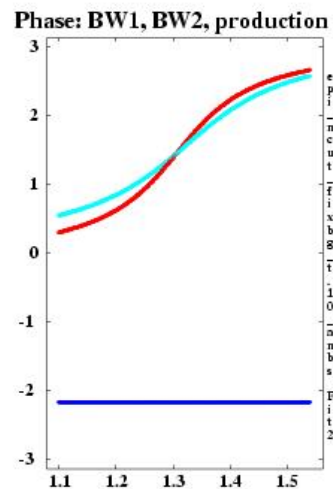
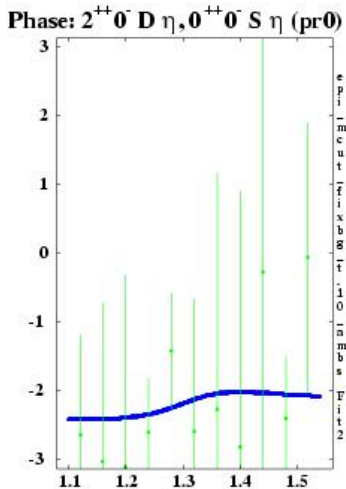
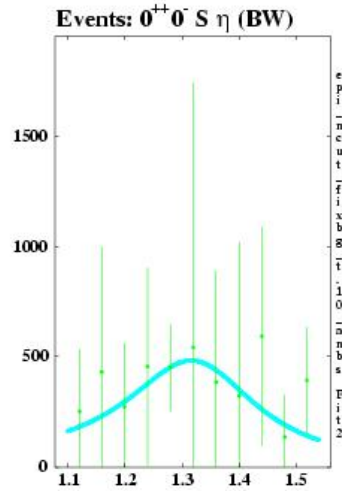
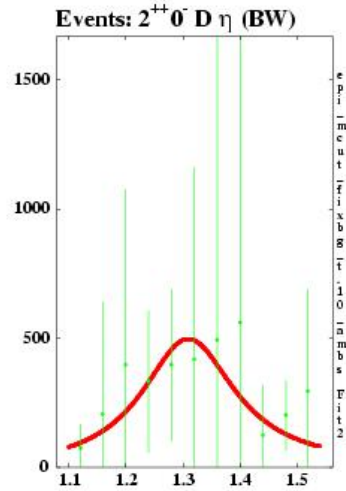
Width is less then at 2000 year !!!

Preliminary

S0 and D0, MDF, $cl > 0.01$, $1.1 < m < 1.54$ GeV
Average solution, Average error matrix

Fixed background

New E852 result



D0
 $M = 1.32 \pm 0.046$
 $G = 0.20 \pm 0.10$

a2(1320) ?
In UNPW

S0
 $M = 1.32 \pm 0.042$
 $G = 0.28 \pm 0.19$

a0(1300)

GAMS
S0
 $M = 1.308 \pm 0.006$
 $G = 0.101 \pm 0.14$

Preliminary

Lets calculate

$$\mathbf{R}=(\mathbf{D}^0+\mathbf{D}^-)/\mathbf{D}^+$$

for

$$\eta\pi^0,$$

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

«Источник» множественных решений – волны с ненатуральной Четностью . Поэтому необходимо для отбора физического решения «работать» с $\mathbf{D}^0,\mathbf{D}^-$, S_0

Regge model: $N \sim E_0^{2\alpha(0) - 2}$

GAMS ,S.A.Sadovsky

D_+ : $N \sim E_0^{-1}$, $\rightarrow \rho$ - exchange, if $\alpha(0) = 0.5$

D_0, D_- : $N \sim E_0^{-2}$ $\rightarrow b_1$ - exchange , if $\alpha(0) = 0$.

$R=(D_0+D_-)/D_+$, So: $R(E_0) \sim E_0^{-1}$

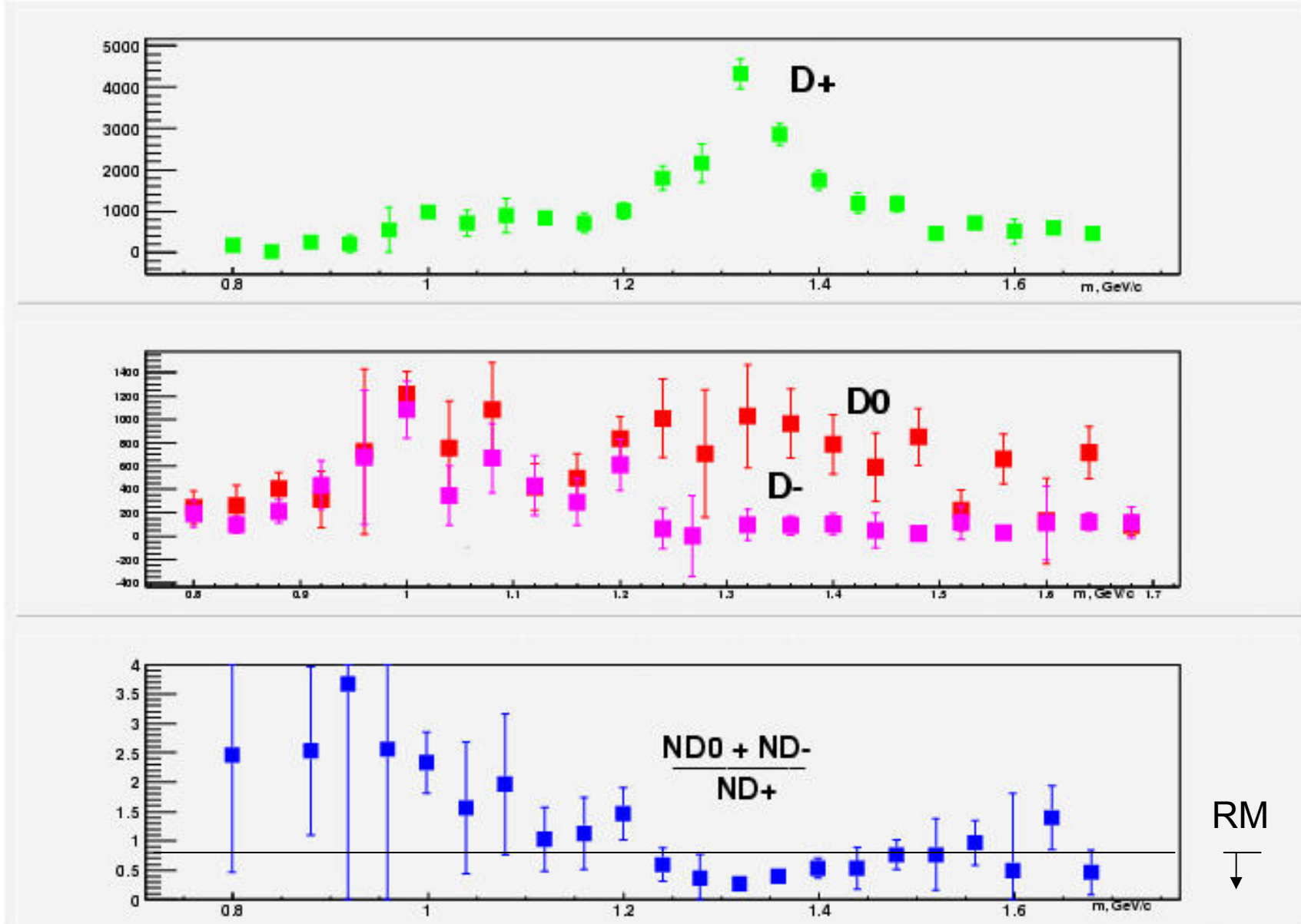
$R(E_0)$

$E_0,$ GeV/c	Regge model	GAMS $\eta \rightarrow 2\gamma$	E852-IU $\eta \rightarrow 2\gamma$	
38.	0.4	0.38 ± 0.015		
18.	0.84		0.72 ± 0.12	

Точнее, $\alpha_\rho(0) = 0.57$, $\alpha_{b_1}(0) = -0.37$ $\rightarrow R(E_0) \sim E_0^{-2}$

$\eta\pi^0$,
 $\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$

One solution

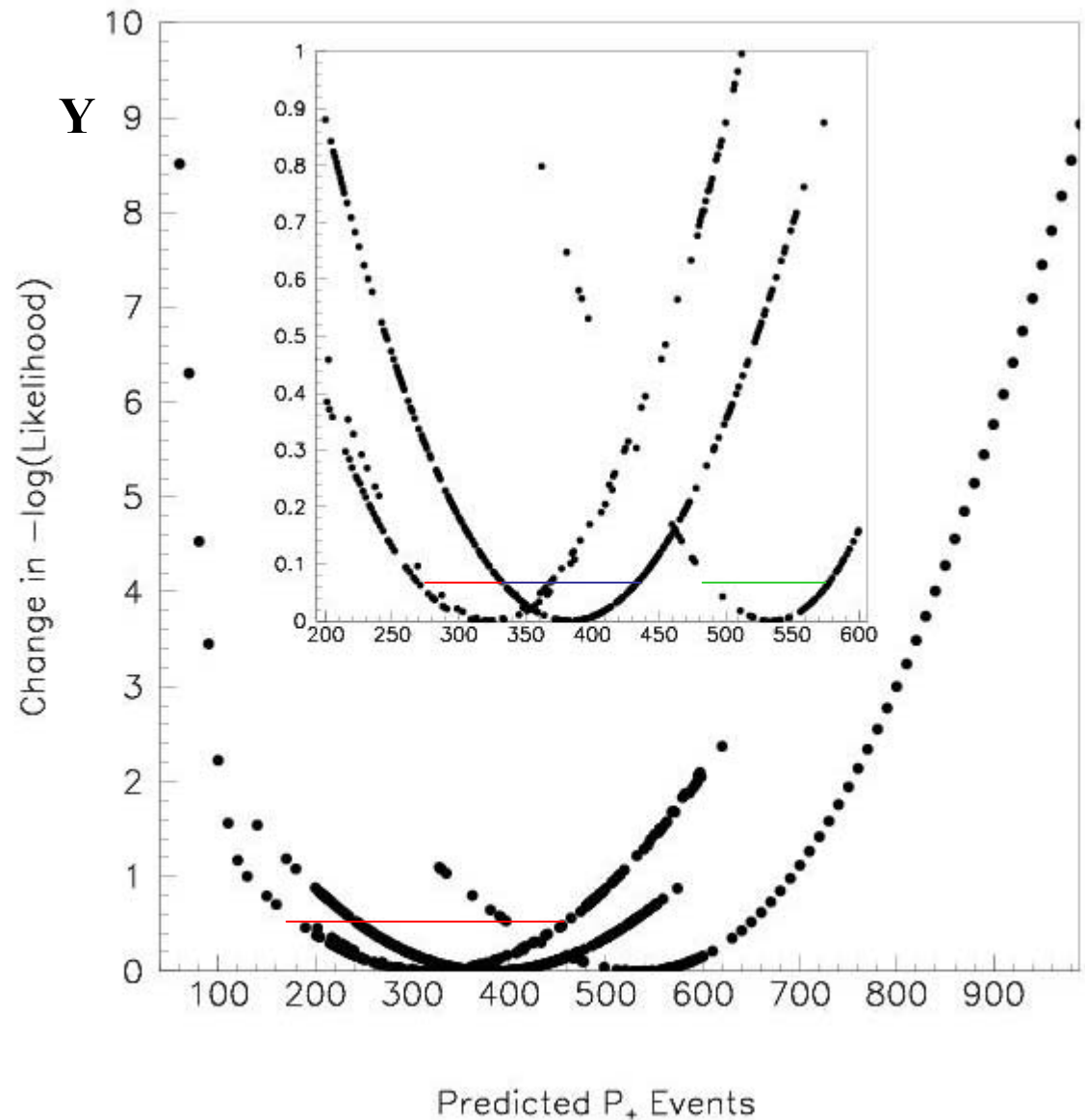


В настоящий момент
ошибки множественных
решений вычисляются
неправильно.

Способ корректного
Вычисления нужно
Реализовать:

$Y = \ln(\text{Likelihood})$ для
множественных решений

1. Величина ошибки
соответствует $|Y| < 0.5$
2. Для всех решений ошибка
примерно одинакова



Предлагаемый метод отбора физического решения среди множественных решений

1. Выполнить подгонку интенсивности D^+ волны и относительной фазы D^+ и P^+ волн (распределений - менее всего зависящих от множественных решений)
2. По резонансным кривым $a_2(1320)$ б $a_0(1300)$ и $a_0(980)$ отобрать точки – кандидаты физического решения
3. Вычислить отношение $R=(D_0 + D^-)/D^+$ и отобрать точки при $0.4 < R < 0.8$
4. Повторить подгонку с новым отбором точек

Continuation of the study is necessary. Problem is large errors.

Заключение:

1. Вычищение событий от фона позволило улучшить отношение S/B для η сигнала в 2 раза
2. Отношение R близко к предсказанию модели Редже
3. Возможно установить $a_0(1300)$ в S0 волне, что особенно важно для выбора физического решения
4. Результат ПВА дает близкие значения параметров $\pi_1^0(1400)$ в $\eta\pi^0$ к значениям $\pi_1^-(1400)$ в $\eta\pi^-$

$$\pi_1^-(1400) : m = 1370 \pm 16 +50/-30, \Gamma = 385 \pm 40 +66/-105$$

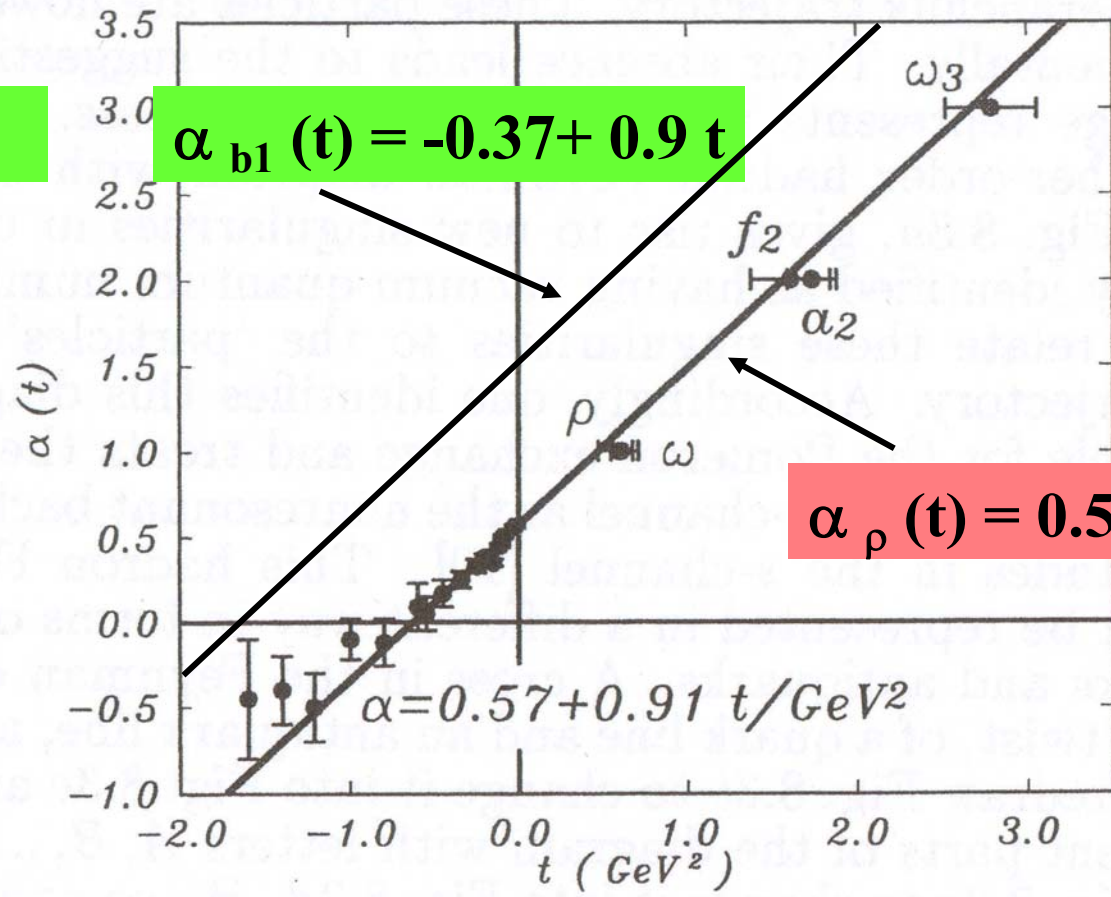
$$\pi_1^0(1400) : m = 1326 \pm 24 +70/-50, \Gamma = 470 \pm 81 +34/-126$$

Вопросы для завершения работы

- 1. Правильное вычисление ошибок результатов для множественных решений**
- 2. Выбор физического решения предложенным методом**
- 3. Отсутствие провала в t' – распределении при $t' \rightarrow 0$**
- 4. Учесть «протечку» в P^+ волне с отобраным решением как от D^+ , так и от S_0 волны**
- 5. Анализ «физического» фона под пиком π_1 (1400)**

Outside slides

D₀, D⁻



$\alpha_{b1}(t) = -0.37 + 0.9 t$

$\alpha_\rho(t) = 0.57 + 0.91 t$

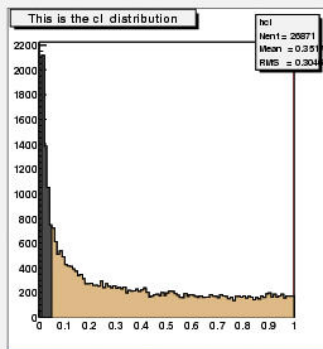
D₊

No cut

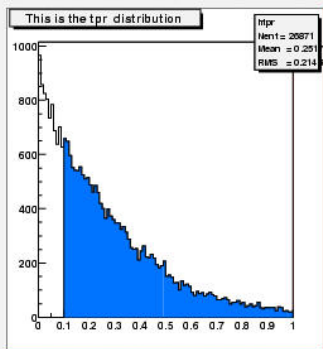
With mass cuts

$\eta\pi^0$

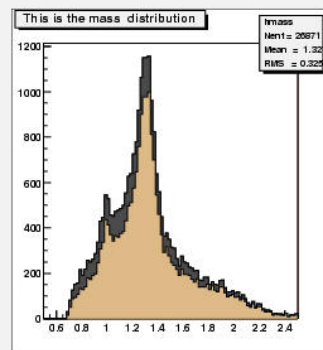
23490 событий



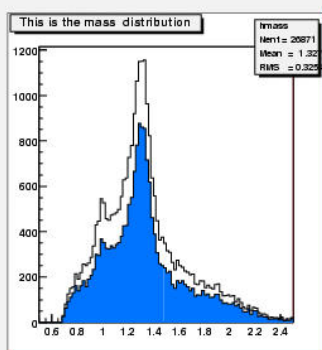
cl



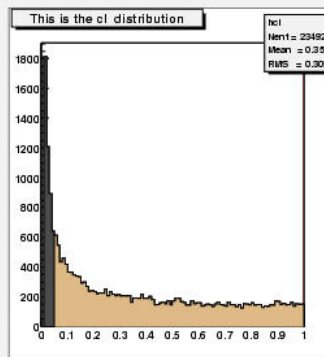
t'



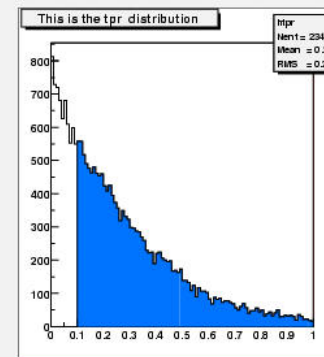
$m(\eta\pi^0)$



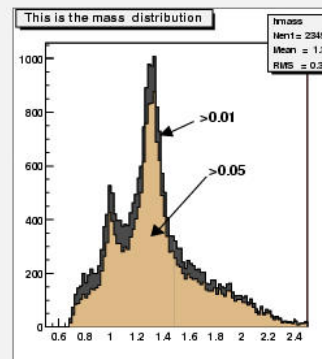
$m(\eta\pi^0)$



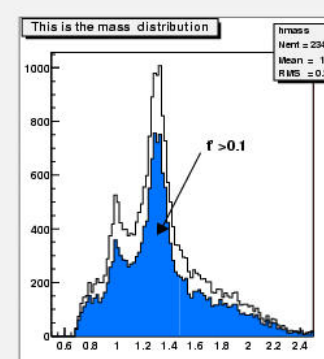
cl



t', GeV²



$m(\eta\pi^0)$, GeV

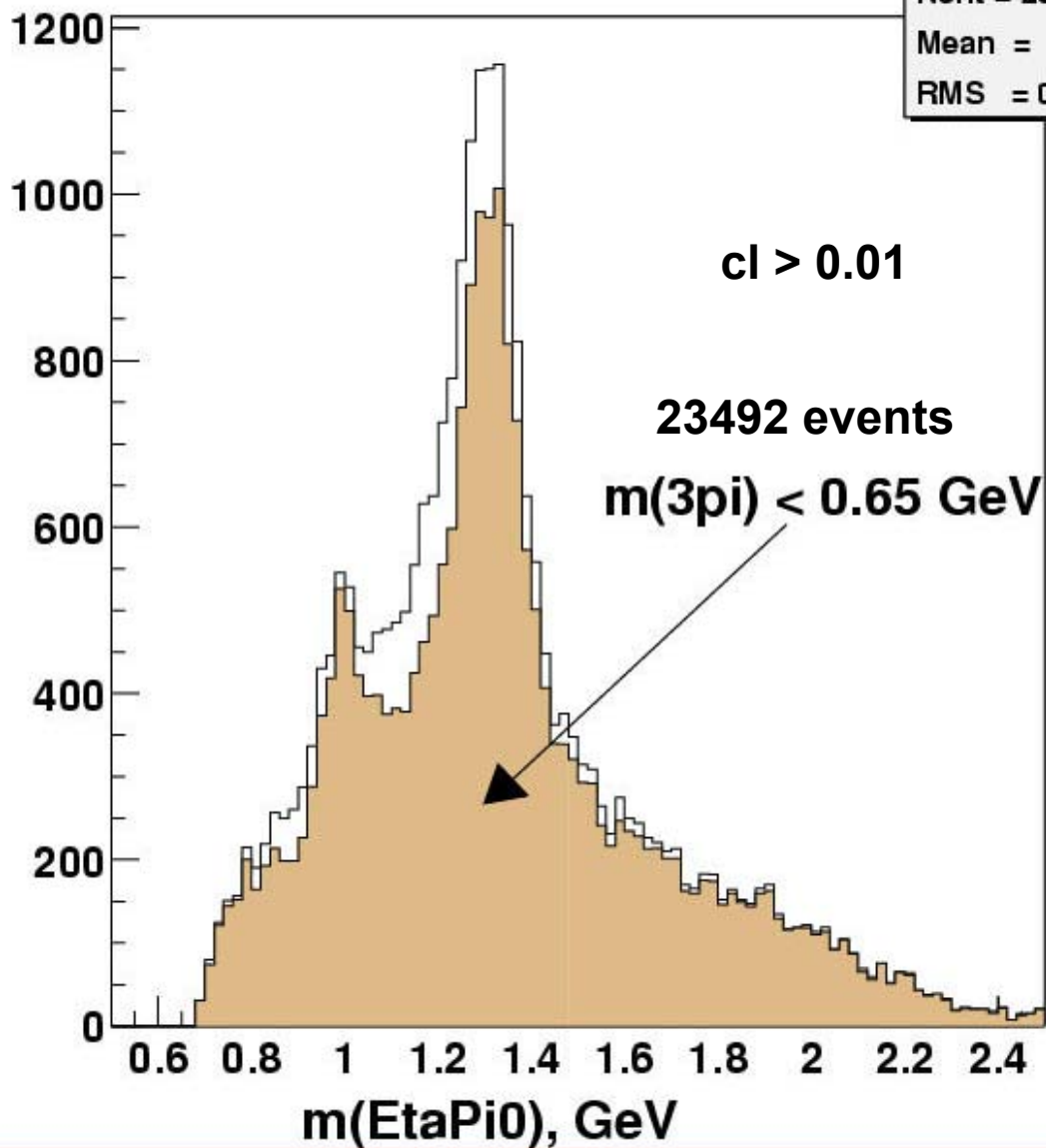


$m(\eta\pi^0)$, GeV

Comparison without and with mass(3pi) cut

This is the mass distribution

hmass
Nent = 26871
Mean = 1.327
RMS = 0.3254

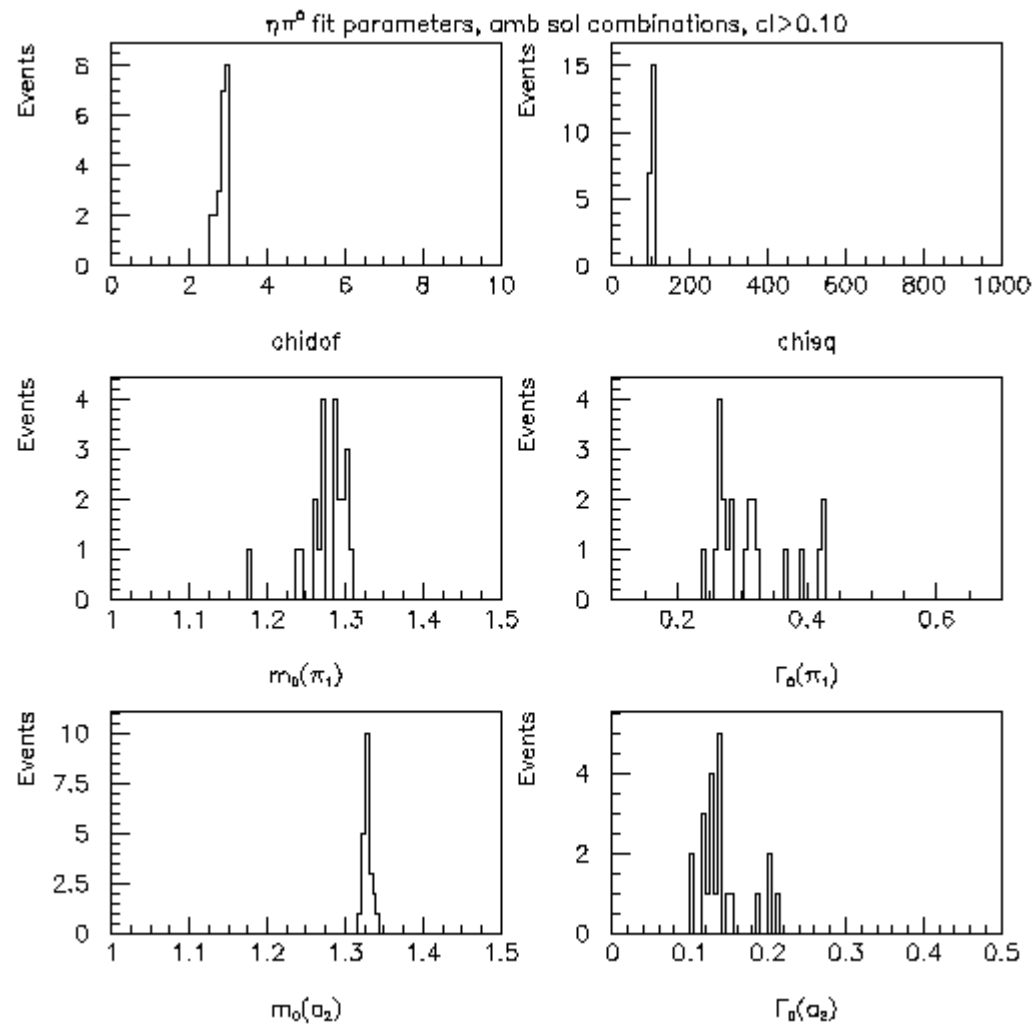


Systematical error estimations

Main source: ambiguous solutions

We did the mass dependent fit of random combinations of solutions.

Here are the distributions of BW parameters for π_1 and a_2 peaks



Systematical solutions



π_1 $M = 1280 \pm 24 + 30 / -45$
 $G = 526 \pm 81 + 0 / -286$

a_2 $M = 1326 \pm 4 + 19 / -11$
 $G = 119 \pm 5 + 36 / -19$

Other source: leakage

We did Mass Dependent PWA

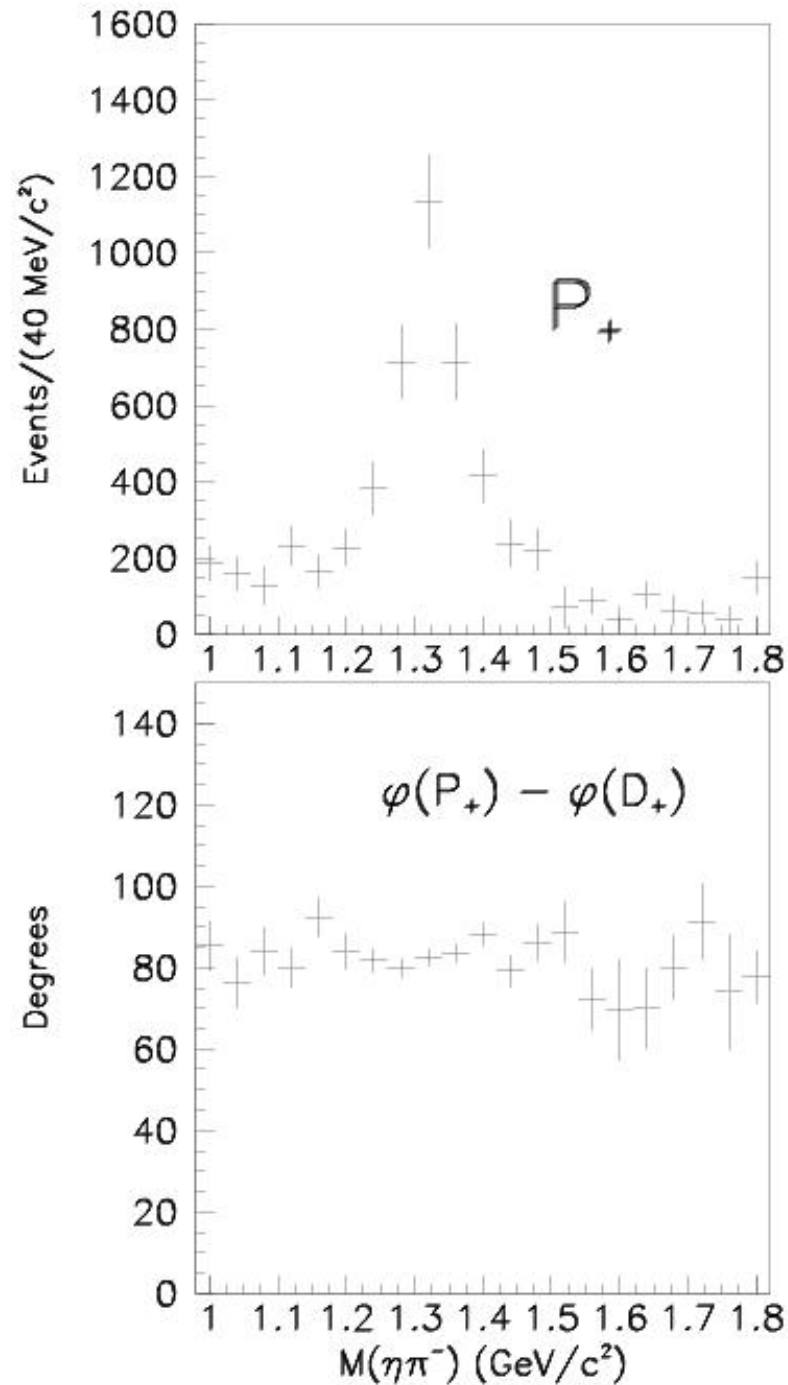
Parameters of π_1 (1300)
 Old results, no mass cut

Mass = 1280 ± 24 $+30/-45$
 Width = 526 ± 81 $+0/-286$

		Mass, Mev	Width, MeV
PWA, MDF →	Average	1280 ± 24	526 ± 81
MDPWA →	Leakage=0	1250 ± 7	386 ± 10
MDPWA →	MaxLeakage	1118 ± 21	477 ± 32

Свойства Leakage:

1. Интенсивность P_+ волны пропорциональна D_+ волне
2. Относительная фаза не зависит от массы и близка к 90°



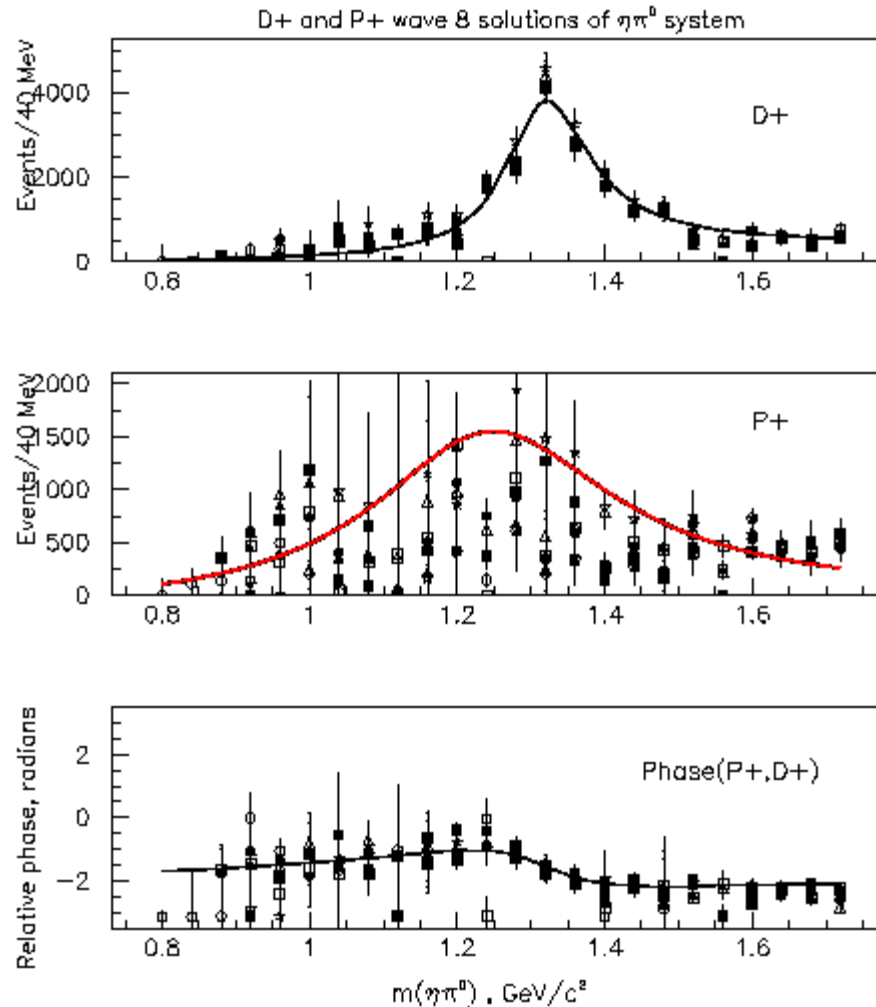
Mass dependent PWA of $\eta\pi^0$

1. Simultaneous fit of angular and mass distributions
2. Free BW parameters and leakage

red – BW of P+ wave

$$M = 1250 \pm 7$$
$$\Gamma = 386 \pm 10$$

A) Leakage = 0 and fixed



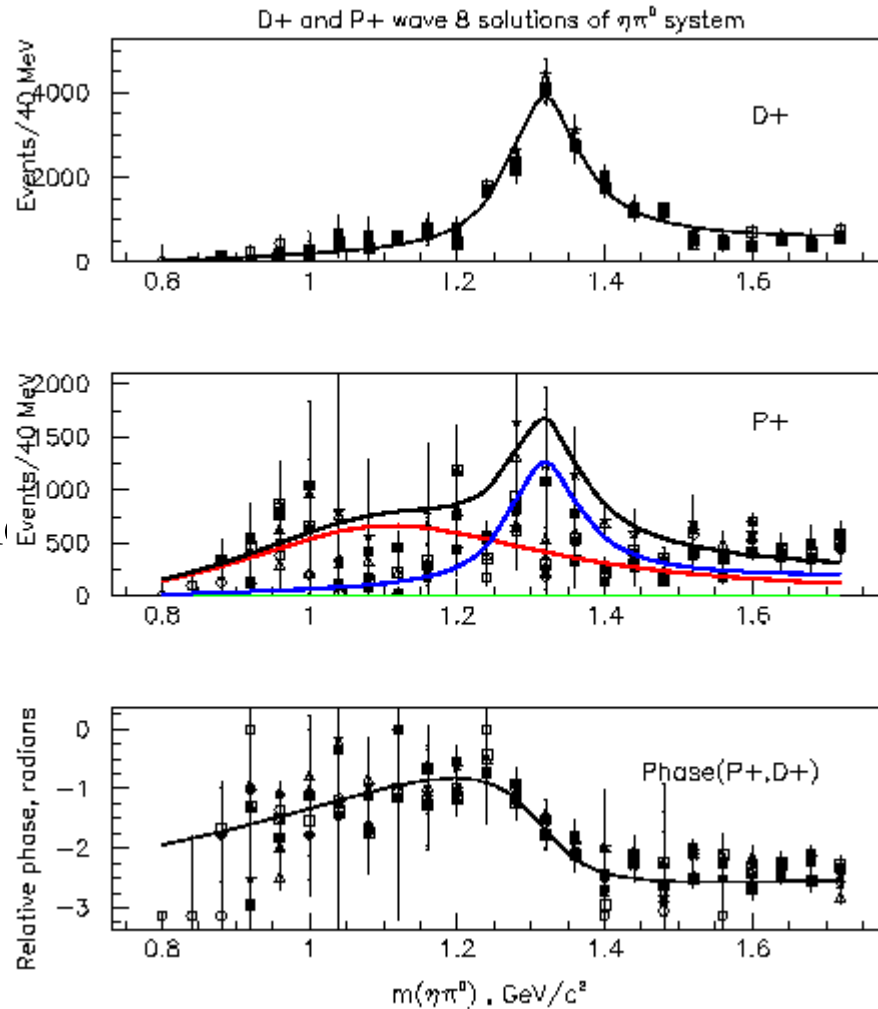
Analysis of 2000 year

Mass dependent PWA of $\eta\pi^0$

1. Simultaneous fit of angular and mass distributions
2. Free BW parameters and leakage

B) Leakage is maximum, 30% of $|D+|^2$

Analysis of 2000 year



$$M = 1118 \pm 21$$

$$\Gamma = 477 \pm 32$$

blue – leakage
red – BW contribution

We can't make the free leakage, but there is problem !!!

Why

$\pi_1(1400) \rightarrow \eta\pi$ and not $\rightarrow \eta'\pi$

$\pi_1(1600) \rightarrow \eta'\pi$ and not $\rightarrow \eta\pi$

S.U. Chung, E.Klempt, J.G.Korner, Eur.Phys.J.A15(2002)539

In the limit of flavor SU(3) conservation and by the requirement of Bose symmetrization

$$\pi, \eta \Rightarrow \{\text{Octet}\}_8$$

If $\{X\}_8 \rightarrow \{\eta\}_8 + \{\pi\}_8$, then $X = \eta\pi + \pi\eta$

$$X = \pi_1(1400) \rightarrow [\eta\pi]_-, L=1, X = \eta\pi - \pi\eta$$

So $\pi_1(1400)$ is not $\{\text{Octet}\}_8$, not Hybrid !!

$\pi_1(1600)$ may be $\{\text{Octet}\}_8$, $\{X\}_8 \rightarrow \{\eta'\}_1 + \{\pi\}_8$

Experimental results and interpretation

1^{-+}	$X \rightarrow \eta \pi$	$X \rightarrow \eta' \pi$	Interpretation
π_1 (1400)	+	-	Decuplet {4q}
π_1 (1600)	-	+	Hybrid

