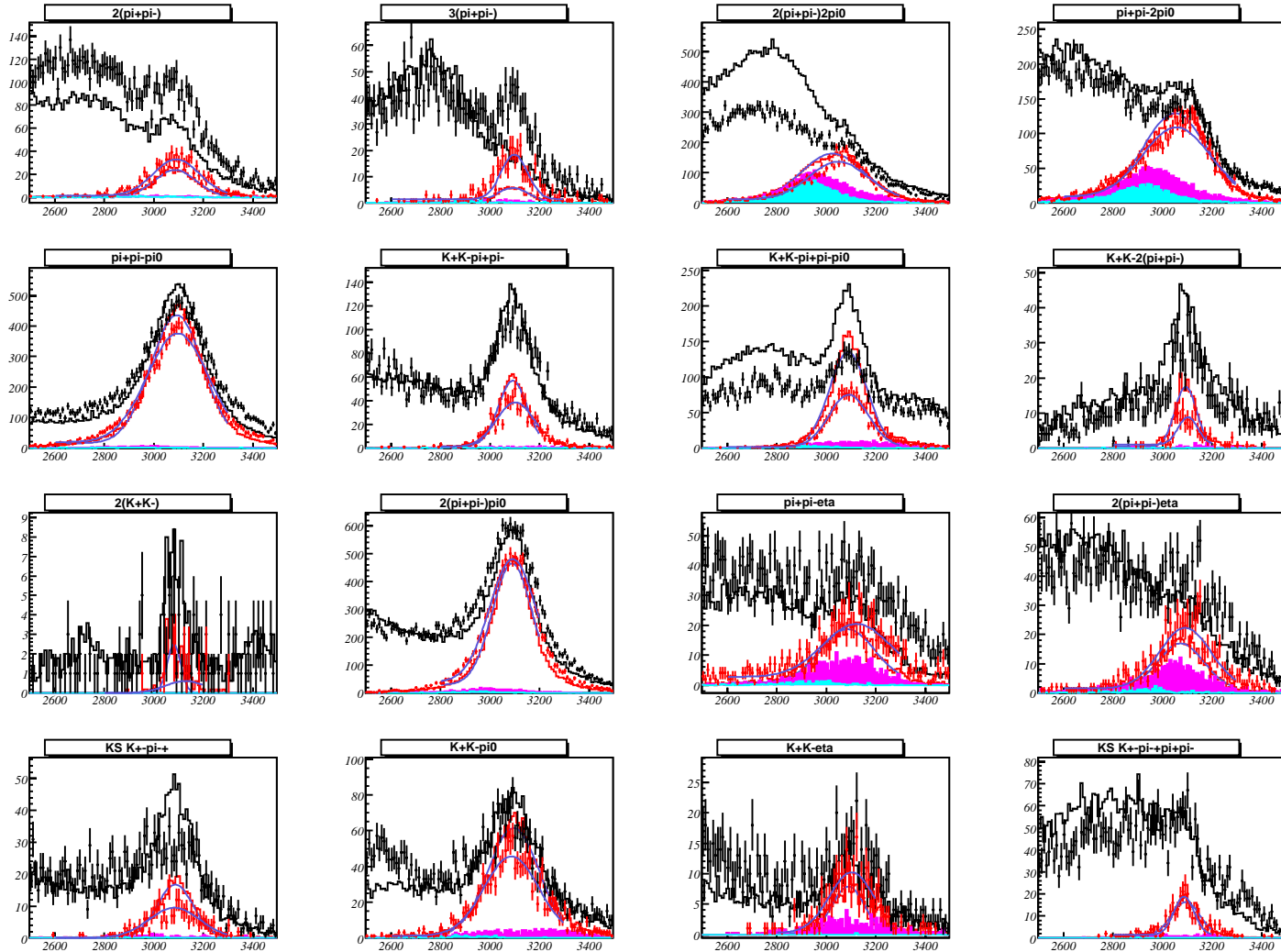


Измерение бранчингов распадов
J/ψ-мезона в $2(\pi^+\pi^-)\pi^0$, $K^+K^-\pi^+\pi^-\pi^0$,
 $2(\pi^+\pi^-)$, $K^+K^-\pi^+\pi^-$ на детекторе КЕДР.

В.М. Малышев
26/03/2021

Адронные распады $J/\psi \rightarrow X_i$



Чёрным - распределения по массам M_X (МэВ) для отобранных событий $J/\psi \rightarrow X_i$. Красным – с наложением условия $\chi^2/\text{ncps} < 10$. Точки-данные, гистограммы - моделирование с генератором LundCharm. Фиолетовым – фон, голубым – фон от $J/\psi \rightarrow X_i \pi^0$.

Бранчинги адронных распадов J/ψ (PDG 2018).

▼ Decays into stable hadrons

Γ_{127}	$2(\pi^+\pi^-)\pi^0$	$(4.1 \pm 0.5)\%$	S=2.4	1496
Γ_{128}	$3(\pi^+\pi^-)\pi^0$	$(2.9 \pm 0.6)\%$		1433
Γ_{129}	$\pi^+\pi^-\pi^0$	$(2.11 \pm 0.07)\%$	S=1.5	1533
Γ_{130}	$\pi^+\pi^-\pi^0 K^+ K^-$	$(1.79 \pm 0.29)\%$	S=2.2	1368
Γ_{131}	$4(\pi^+\pi^-)\pi^0$	$(9.0 \pm 3.0) \times 10^{-3}$		1345
Γ_{132}	$\pi^+\pi^- K^+ K^-$	$(6.84 \pm 0.32) \times 10^{-3}$		1407
Γ_{133}	$\pi^+\pi^- K_S^0 K_L^0$	$(3.8 \pm 0.6) \times 10^{-3}$		1406
Γ_{134}	$\pi^+\pi^- K_S^0 K_S^0$	$(1.68 \pm 0.19) \times 10^{-3}$		1406
Γ_{135}	$\pi^\pm \pi^0 K^\mp K_S^0$	$(5.7 \pm 0.5) \times 10^{-3}$		1408
Γ_{136}	$K^+ K^- K_S^0 K_S^0$	$(4.1 \pm 0.8) \times 10^{-4}$		1127
Γ_{137}	$\pi^+\pi^- K^+ K^- \eta$	$(1.84 \pm 0.28) \times 10^{-3}$		1221
Γ_{138}	$\pi^0 \pi^0 K^+ K^-$	$(2.12 \pm 0.23) \times 10^{-3}$		1410
Γ_{139}	$\pi^0 \pi^0 K_S^0 K_L^0$	$(1.9 \pm 0.4) \times 10^{-3}$		1408
Γ_{140}	$K\bar{K}\pi$	$(6.1 \pm 1.0) \times 10^{-3}$		1442
Γ_{141}	$K^+ K^- \pi^0$	$(2.14 \pm 0.24) \times 10^{-3}$		1442
Γ_{142}	$K_S^0 K^\pm \pi^\mp$	$(5.6 \pm 0.5) \times 10^{-3}$		1440
Γ_{143}	$K_S^0 K_L^0 \pi^0$	$(2.06 \pm 0.27) \times 10^{-3}$		1440
Γ_{144}	$K^*(892)^0 \bar{K}^0 + c.c. \rightarrow K_S^0 K_L^0 \pi^0$	$(1.21 \pm 0.18) \times 10^{-3}$		
Γ_{145}	$K_2^*(1430)^0 \bar{K}^0 + c.c. \rightarrow K_S^0 K_L^0 \pi^0$	$(4.3 \pm 1.3) \times 10^{-4}$		
Γ_{146}	$K_S^0 K_L^0 \eta$	$(1.44 \pm 0.34) \times 10^{-3}$		1328
Γ_{147}	$2(\pi^+\pi^-)$	$(3.57 \pm 0.30) \times 10^{-3}$		1517
Γ_{148}	$3(\pi^+\pi^-)$	$(4.3 \pm 0.4) \times 10^{-3}$		1466
Γ_{149}	$2(\pi^+\pi^-\pi^0)$	$(1.62 \pm 0.21)\%$		1468
Γ_{150}	$2(\pi^+\pi^-)\eta$	$(2.29 \pm 0.24) \times 10^{-3}$		1446
Γ_{151}	$3(\pi^+\pi^-)\eta$	$(7.2 \pm 1.5) \times 10^{-4}$		1379

Экспериментальные данные:

- Заходы в пике J/ψ 21908÷23114 (23/05/2015 – 29/01/2016). $E_{set}=1561.4$ МэВ
- Отброшены заходы 23008÷23016, 23048÷23051 по причине шумовых кластеров в CsI

$$\int Ldt = 1315 \text{ нб}^{-1} \approx 5.14 \cdot 10^6 \text{ J}/\psi$$

Подложка:

- Заходы 22637÷23134 (11/11/2015 – 01/02/2016). $E_{set}=1550.5$ МэВ

$$\int Ldt = 82.3 \text{ нб}^{-1}$$

Моделирование:

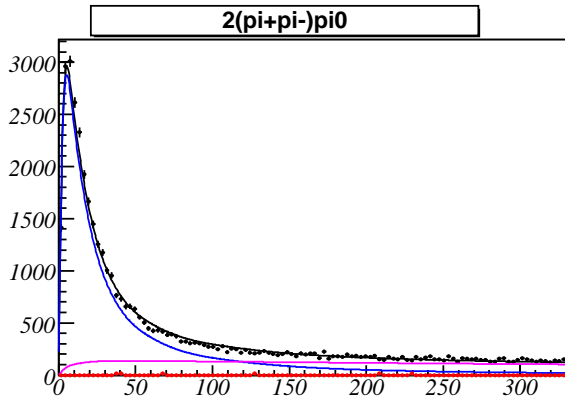
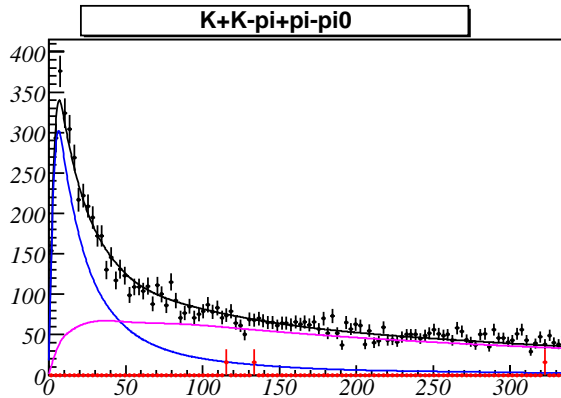
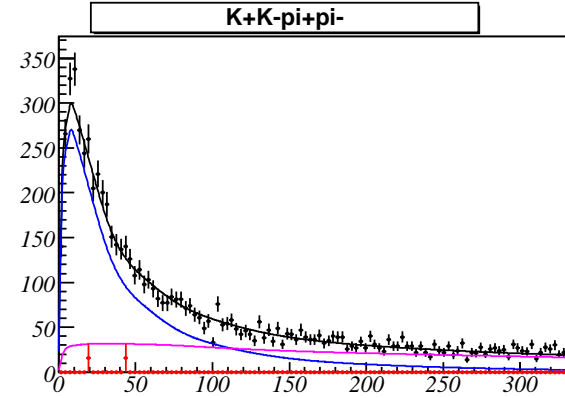
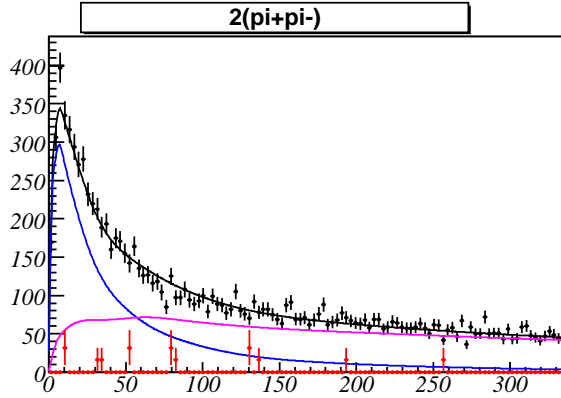
- $24.1 \cdot 10^6 \text{ J}/\psi \rightarrow$ all, генератор 214 (LundCharm), мода 0 + PHOTOS
- $J/\psi \rightarrow X_i$, генератор GenNAmp

Отбор событий:

- Есть хотя бы один центральный трек,
 $|x_0 - x_{IP}| < 1 \text{ см}$, $|y_0 - y_{IP}| < 1 \text{ см}$, $|z_0 - z_{IP}| < 15 \text{ см}$,
- Суммарная энергия по всем кластерам (с $E > 20$ МэВ) > 0.8 ГэВ,
- ≥ 4 кластеров с энергией > 30 МэВ;
 - Треки идентифицируются как π , K по ToF, АЧС,
 - Фотоны – непришитые кластеры с $E > 50$ МэВ,
 - Из пар $\pi^+\pi^-$ строятся K_S , если $|M(\pi^+\pi^-) - M(K_S)| < 2\sigma$,
 - Из пар $\gamma\gamma$ строятся π^0 , η если $|M(\gamma\gamma) - M(\pi^0, \eta)| < 2\sigma$ (наилучшая комбинация),
 - В зарегистрированном канале распада могут быть доп. фотоны.

Кинематическая реконструкция:

- Пакет KfKRes (исключен перебор типов частиц, использована параметризация разрешения калориметра на основе MC),
- $(4 + n\pi^0 + m\eta)C$ – фит : E , \mathbf{P} , $M(\pi^0)$, $M(\eta)$,
- Распады $J/\psi \rightarrow X_i$ отбираются по условию $\chi^2 < 40, 50$



Подгонки распределений по χ^2 кинематической реконструкции для распадов $J/\psi \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)$, $J/\psi \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-$, $J/\psi \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-\pi^0$, $J/\psi \rightarrow 2(\pi^+\pi^-\pi^0)$. Точки - данные, линии – подгонки гистограмм моделирования: синим – распады $J/\psi \rightarrow X_i$, сиреневым – фоны (моделирование LundCharm). Красным – (масштабированная) подложка.

Определение бранчингов распадов $J/\psi \rightarrow X_i$

$$B_i / B_{mh} = \frac{N_i^{peak} - N_i^{cont}}{N_{mh}^{peak} - N_{mh}^{cont}} \frac{\epsilon_{mh}^{MC}}{\epsilon_i^{MC}} \frac{R^{MC}}{R^{exp}}$$

Здесь

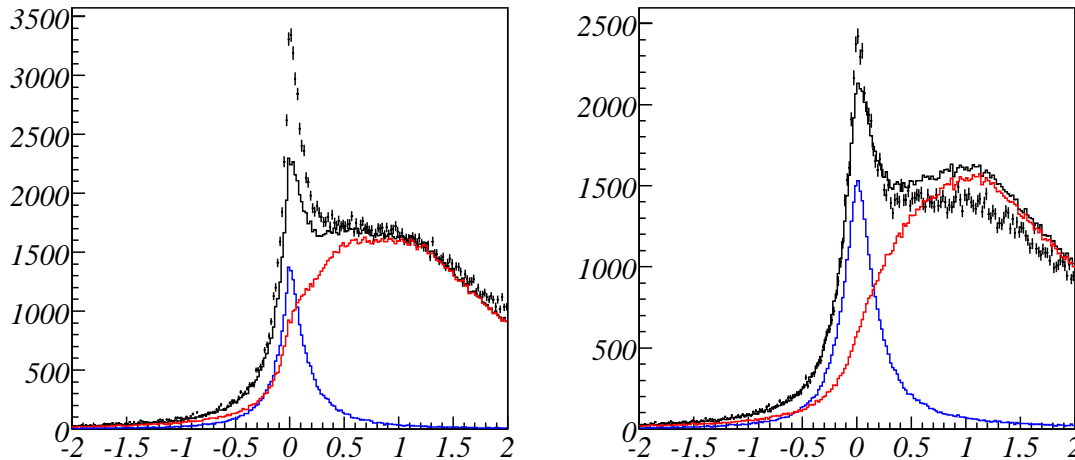
- B_i – бранчинг распада $J/\psi \rightarrow X_i$,
- $B_{mh} = (87.7 \pm 0.5)\%$ – бранчинг многоадронных распадов J/ψ (PDG),
- N_i^{peak} – число зарегистрированных распадов $J/\psi \rightarrow X_i$,
(со всеми условиями отбора), определяется из подгонки распределений χ^2 кинематической реконструкции,
- N_i^{cont} – число зарегистрированных распадов $J/\psi \rightarrow X_i$ из подложки,
- $N_{mh}^{peak} = 461878$ – число зарегистрированных многоадронных событий в пике J/ψ ,
- $N_{mh}^{cont} = 32.3 \text{к} \cdot L / L^{cont}$ – число зарегистрированных многоадронных событий из подложки
- $L = 1.315 \text{ пб}^{-1}$ – интеграл светимости в пике J/ψ ,
- $L^{cont} = 82.3 \text{ нб}^{-1}$ – интеграл светимости в подложке,
- $\epsilon_{mh} = 0.911$ – эффективность регистрации многоадронных распадов J/ψ ,
- $\epsilon_{mh}^{MC} = 0.938$ – эффективность регистрации многоадронных распадов J/ψ (MC),
- ϵ_i^{MC} – эффективность регистрации распадов $J/\psi \rightarrow X_i$ (MC),
- R^{exp} – доля зарегистрированных распадов $J/\psi \rightarrow X_i$ с $\chi^2 < \chi_{cut}^2$,
- R^{MC} – доля зарегистрированных распадов $J/\psi \rightarrow X_i$ с $\chi^2 < \chi_{cut}^2$ (MC).

Эффективность реконструкции треков

- В событиях $3\text{tr}\pi^0$ и $4\text{tr}\pi^0$ (с произв. числом доп. фотонов) строятся распределения по массе отдачи $3\text{tr}\pi^0$ (считая треки пионами).
- Для разных диапазонов углов и импульсов отдачи определяется эффективность реконструкции трека:

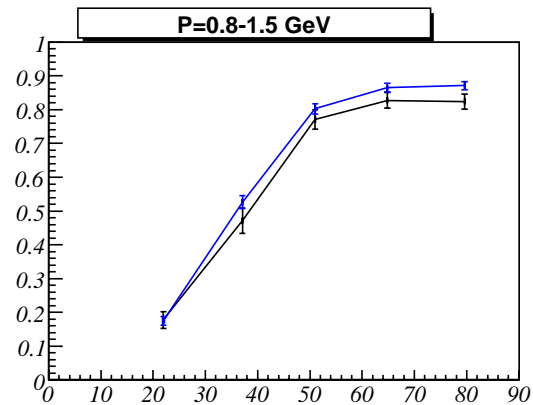
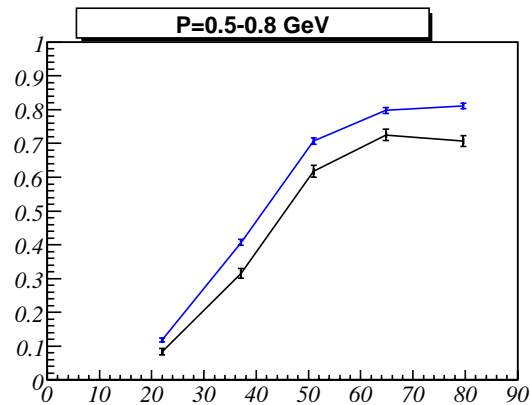
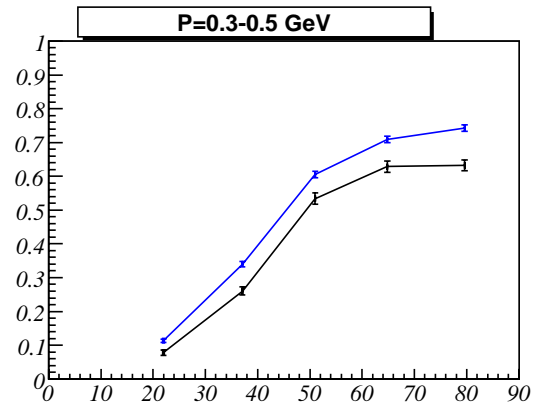
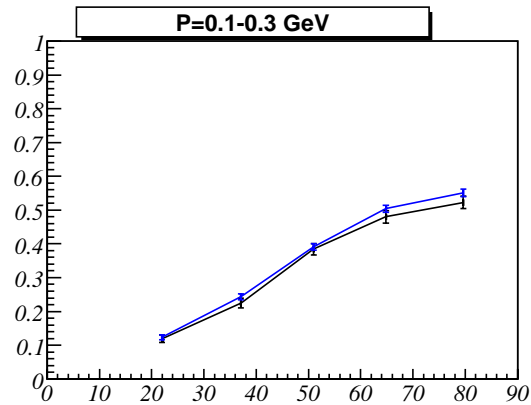
$$\varepsilon = N_4 / (N_4 + N_3),$$

где N_4 и N_3 – числа событий $2(\pi^+\pi^-\pi^0)$, определённые из подгонки распределений с 3-мя и 4-мя треками соответственно.



Распределения по квадратам масс отдачи системы $3\text{tr}\pi^0$ (ГэВ²) для реконструированных событий $3\text{tr}\pi^0$ (слева) и $4\text{tr}\pi^0$ (справа). Точки – данные, гистограммы – моделирование с генератором LundCharm, синим распады $J/\psi \rightarrow 2(\pi^+\pi^-\pi^0)$, красным – фон (остальные распады J/ψ).

Эффективность реконструкции треков (2)



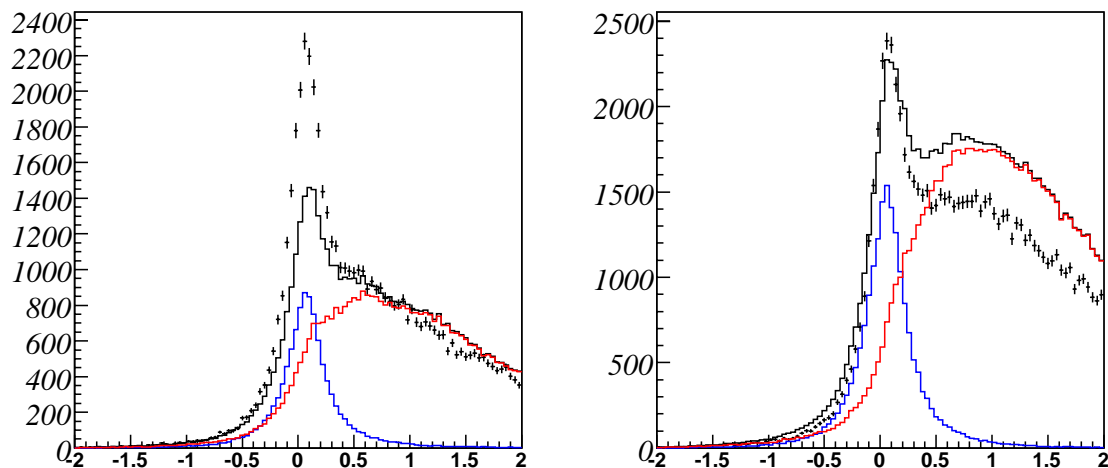
Эффективность реконструкции трека ϵ в распадах $J/\psi \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)\pi^0$ для разных углов и импульсов треков. Черным – данные, синим – моделирование с генератором LundCharm.

Эффективность регистрации π^0

- В реконструированных событиях $2(\pi^+\pi^-)$ и $2(\pi^+\pi^-)\pi^0$ (с произв. числом доп. фотонов) с $E_{\text{mis}}(4\pi) > 0.4 \text{ ГэВ}$ (для подавления фона от $J/\psi \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)$) рассматриваются распределения по массе отдачи $2(\pi^+\pi^-)$.
- Для разных диапазонов углов и импульсов отдачи определяется эффективность реконструкции π^0 :

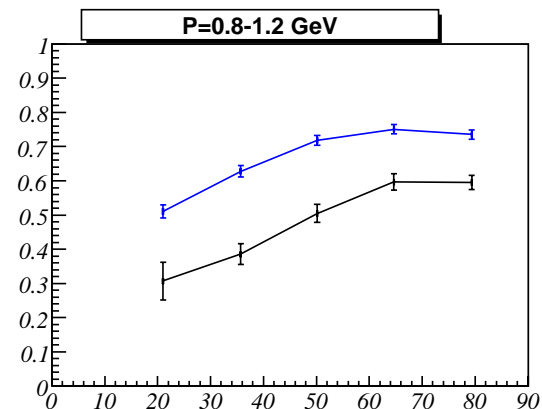
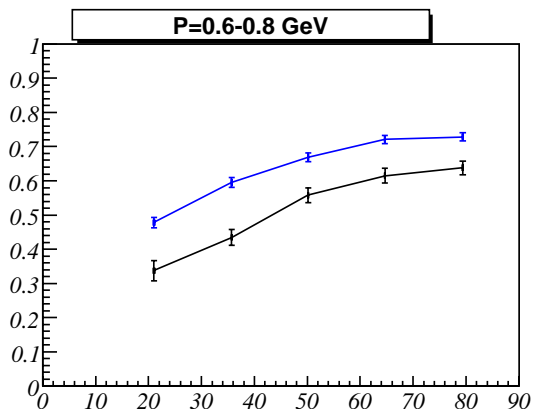
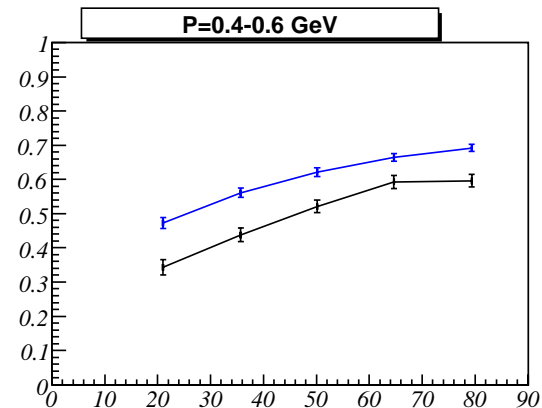
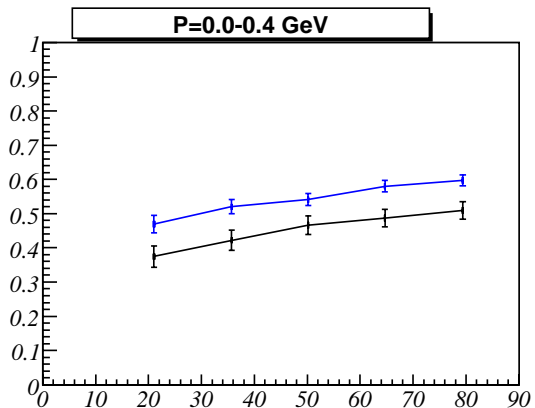
$$\varepsilon = N_5 / (N_5 + N_4),$$

где N_5 и N_4 – числа событий $2(\pi^+\pi^-)\pi^0$, определённые из подгонки распределений с 5π и 4π соответственно.



Распределения по квадратам масс отдачи $2(\pi^+\pi^-)$ (ГэВ^2) для реконструированных событий $2(\pi^+\pi^-)$ (слева) и $2(\pi^+\pi^-)\pi^0$ (справа). Точки – данные, гистограммы – моделирование с генератором LundCharm, синим распады $J/\psi \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)\pi^0$, красным – фон (распады J/ψ не в $2(\pi^+\pi^-)\pi^0$).

Эффективность регистрации π^0 (2)



Эффективности регистрации π^0 в распадах $J/\psi \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)\pi^0$ для разных углов и импульсов π^0 . Черным – данные, синим – моделирование с генератором LundCharm.

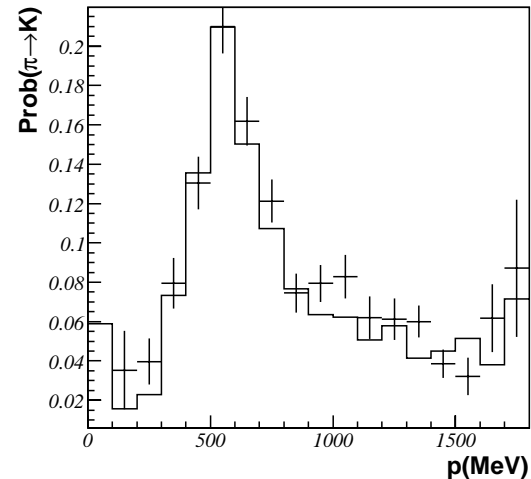
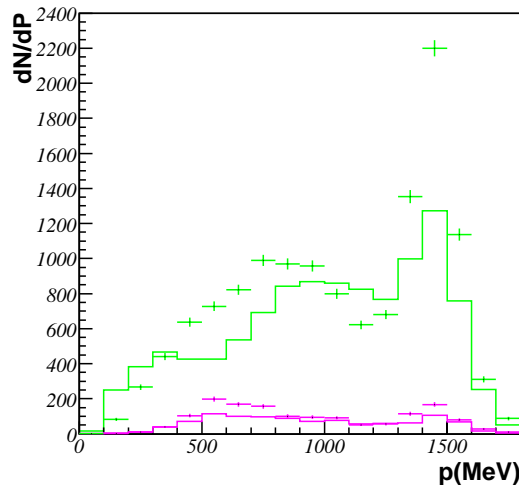
Вероятность ложной идентификации $\pi \rightarrow K$

- Вероятность ложной идентификации $P_{\pi \rightarrow K}$ определялась по событиям $\pi^+\pi^-\pi^0$, отобранном с помощью кинематической реконструкции.
- Если N_{π}^r – число центральных треков, идентифицированных как пионы для таких событий, N_K^r – число треков, идентифицированных как каоны, а N_{π} , N_K – истинное число пионов и каонов (для каждого значения импульса), то

$$N_{\pi}^r = N_{\pi}(1 - P_{\pi \rightarrow K}) + N_K P_{K \rightarrow \pi},$$

$$N_K^r = N_{\pi} P_{\pi \rightarrow K} + N_K(1 - P_{K \rightarrow \pi}).$$

- Отсюда $P_{\pi \rightarrow K} = (x_r - x)/(1 + x_r) + x P_{K \rightarrow \pi}$, где $x = N_K/N_{\pi}$, $x_r = N_K^r/N_{\pi}^r$.
Для событий $\pi^+\pi^-\pi^0$ $x \approx 1-3\%$, $P_{K \rightarrow \pi} \sim (20-40)\%$, поэтому $P_{\pi \rightarrow K} \approx (x_r - x)/(1 + x_r)$.



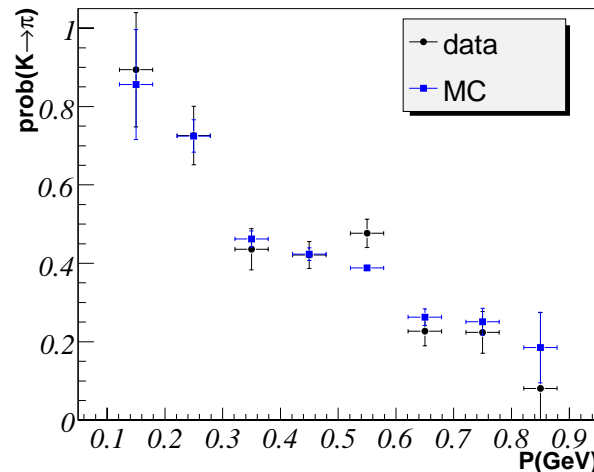
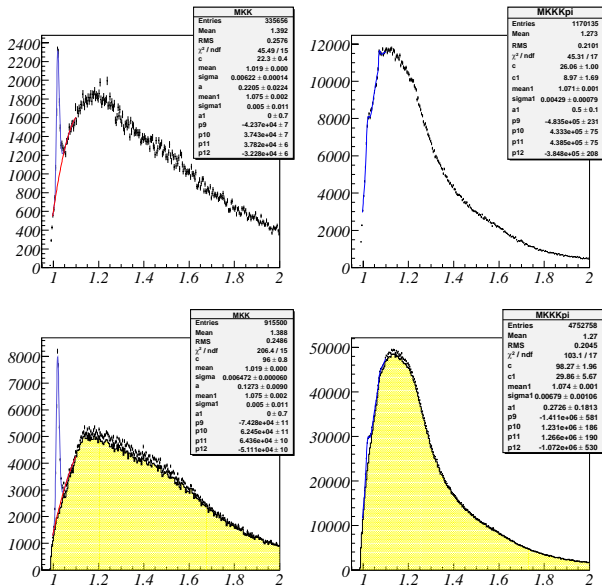
слева – распределения по импульсам для событий с $\chi^2(\pi^+\pi^-\pi^0) < 0.5\chi^2(K^+K^-\pi^0)$, $\chi^2(\pi^+\pi^-\pi^0) < 50$; зелёным – пионы, сиреневым – каоны; точки – данные, гистограммы – моделирование (LundCharm).

справа – вероятность ложной идентификации $\pi \rightarrow K$ в зависимости от импульса; точки – данные, гистограммы – моделирование.

Вероятность ложной идентификации $K \rightarrow \pi$

- Вероятность ложной идентификации $P_{K \rightarrow \pi}$ определялась по распадам $\phi \rightarrow K^+K^-$.
- Отбор событий:
 1. многоадронный распад J/ψ
 2. есть 2 или 4 центр. трека с $Q=0$
 3. есть пара K^+K^- или $K^+\pi^-$, $K^-\pi^+$
- Для пар KK строятся распределения по $M(KK)$, для пар $K\pi$ строятся распределения по $M(KK)$ в предположении $K \rightarrow \pi$.
- Для разных диапазонов углов и импульсов K вероятность ложной идентификации $K \rightarrow \pi$ определяется из подгонок распределений как

$$P_{K \rightarrow \pi} = N_{KK} / (N_{KK} + N_{K\pi}), \text{ где } N_{KK} \text{ и } N_{K\pi} \text{ – числа событий в пике } \phi\text{-мезона.}$$



Вероятность ложной идентификации $K \rightarrow \pi$ в зависимости от импульса K (ГэВ), для каонов в центральной части ($\theta=40 \div 140^\circ$).

Распределения по $M(K^+K^-)$ (ГэВ). Слева – для пар KK , справа – для пар $K\pi$. Вверху – данные, внизу – моделирование. Жёлтым – распады J/ψ не через ϕ .

Угловые и импульсные распределения в распадах J/ψ

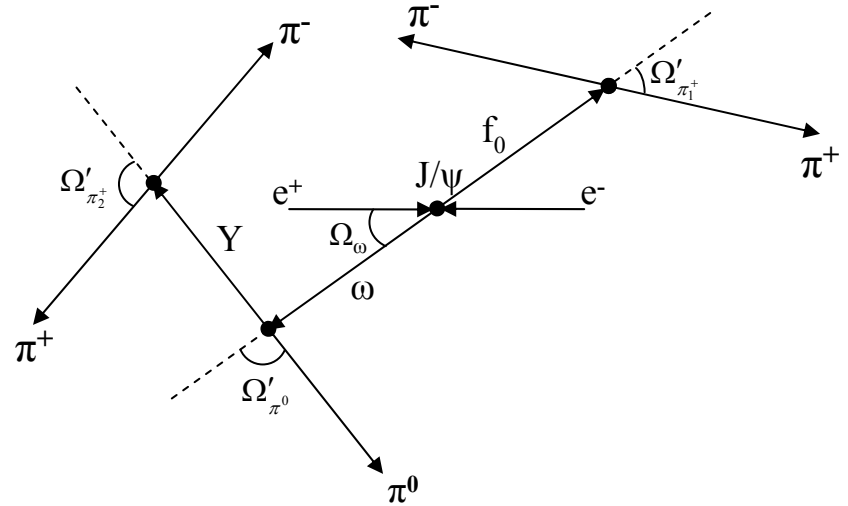
- Генератор **LundCharm** (на основе Jetset 7.4),
J.C.Chen et al., PRD V62, 034003
- Генератор **GenHamp** (метод спиральных амплитуд),
J.D. Richman, CALT-68-1148

$$d\Gamma = \frac{(2\pi)^4}{2M_\psi} \frac{1}{2} \sum_{\lambda=\pm 1} |M_{fi}^\lambda|^2 d\Phi$$

$$d\Phi \propto \prod_i p'_i d\Omega'_i \prod_k dm_k$$

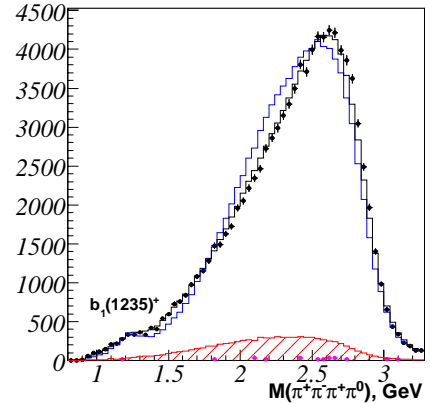
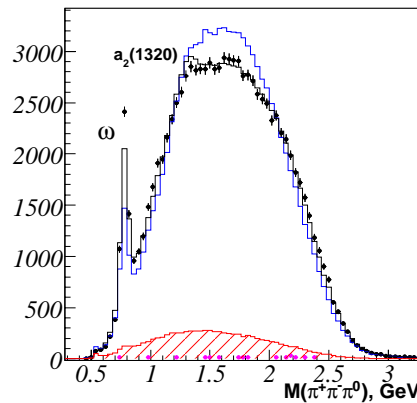
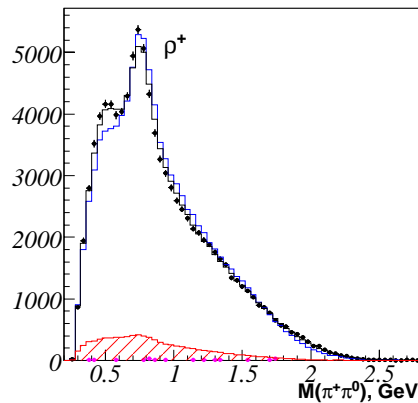
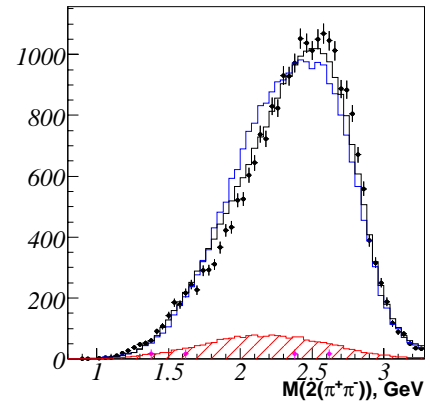
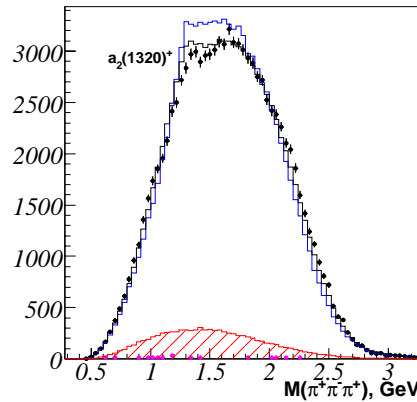
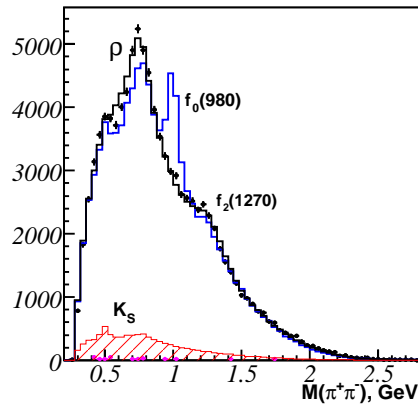
$$M_{fi}^\lambda = \sum_{\lambda_k} \prod_i \left(\frac{2J_i + 1}{4\pi} \right)^{1/2} D_{\lambda_i, \lambda_{i_1} - \lambda_{i_2}}^{J_i^*}(\Omega'_i) A_{\lambda_{i_1} \lambda_{i_2}}^i$$

$$A_{\lambda_1, \lambda_2} = \eta_0 \eta_1 \eta_2 (-1)^{J - S_1 - S_2} A_{-\lambda_1, -\lambda_2}$$



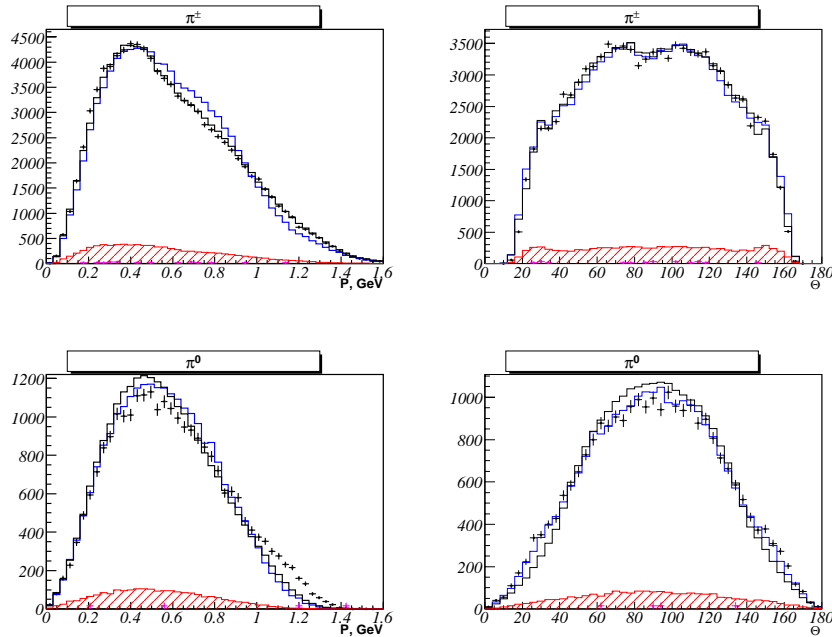
Пример: распад $J/\psi \rightarrow \omega f_0 \rightarrow 2(\pi^+ \pi^-) \pi^0$.

Распад $J/\psi \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)\pi^0$

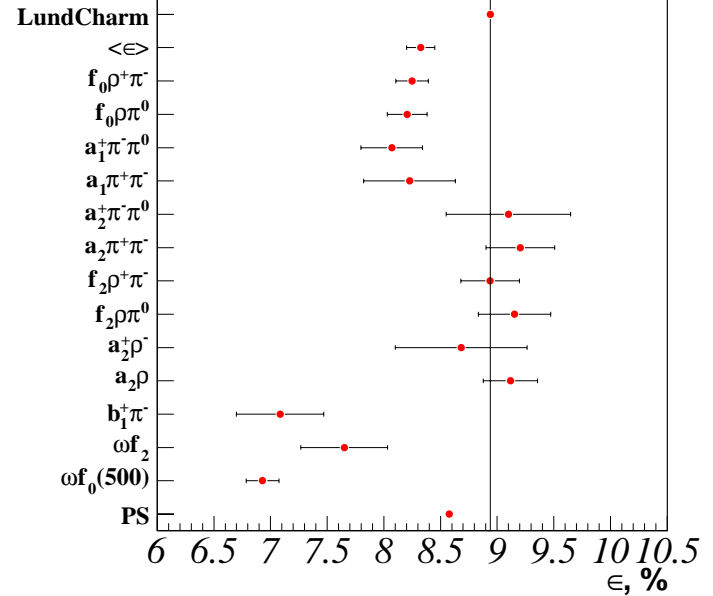


Распределения по массам систем пионов для отобранных событий $2(\pi^+\pi^-)\pi^0$ с $\chi^2 < 50$. Точки – данные, гистограммы – моделирование: синим – с генератором LundCharm, чёрным – с генератором GePHAMr, красным – фоновые события (LundCharm), фиолетовым – события подложки.

Распад $J/\psi \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)\pi^0$ (2)



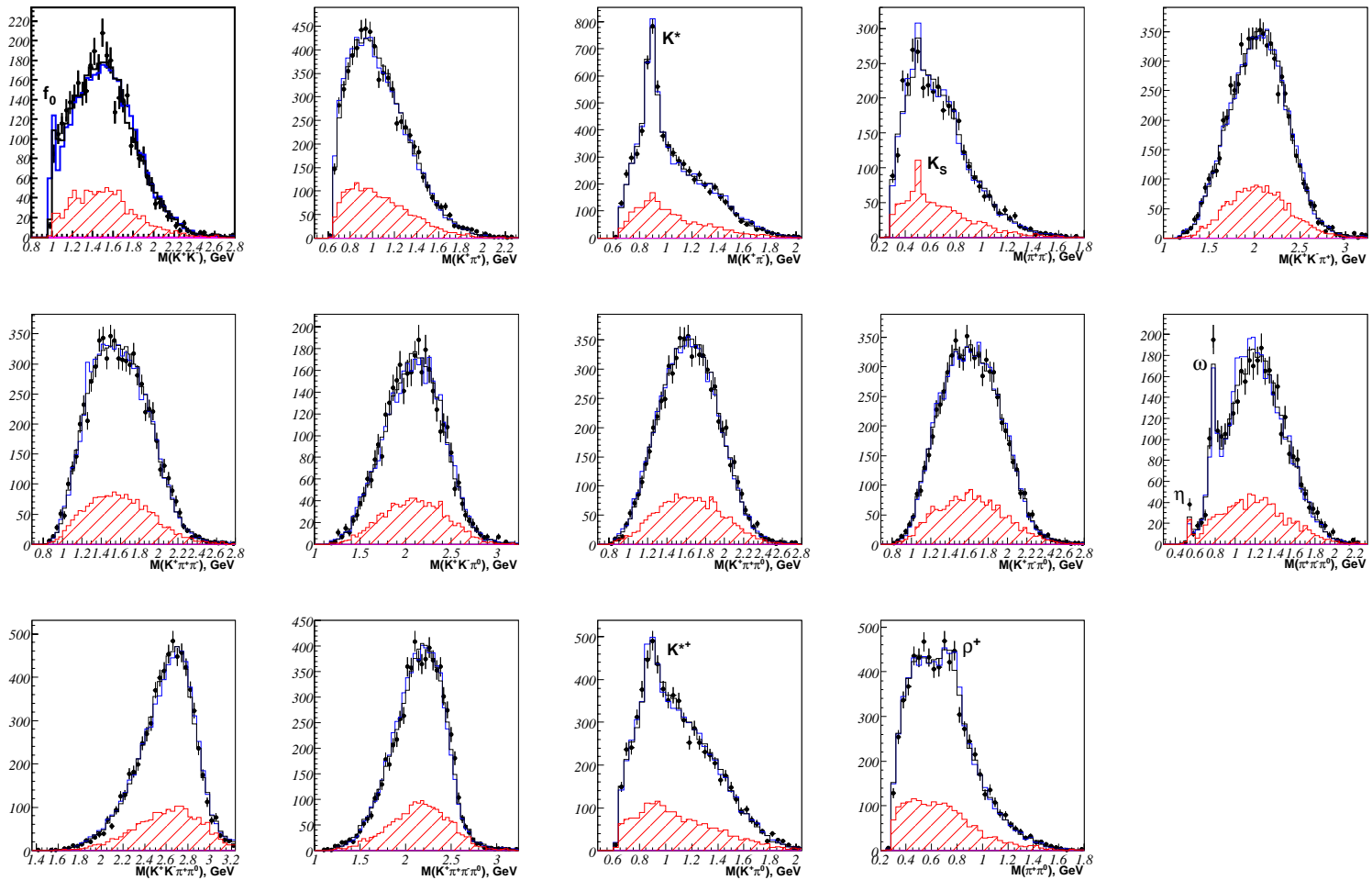
Распределения по импульсам и полярным углам для отобранных событий $2(\pi^+\pi^-)\pi^0$ с $\chi^2 < 50$. Точки – данные, гистограммы – моделирование: синим – с генератором LundCharm, чёрным – с генератором GenHAmr, красным – фоновые события (LundCharm), фиолетовым – события подложки.



Эффективности регистрации в распадах $J/\psi \rightarrow X_i \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)\pi^0$ для моделирования с генераторами LundCharm и GenHAmr. Горизонтальные усы на рисунке – систематические ошибки, связанные с неопределённостью спиральных амплитуд. (моды 1-5 - угл. распр. $\sim 1 + \cos^2(\Theta)$).

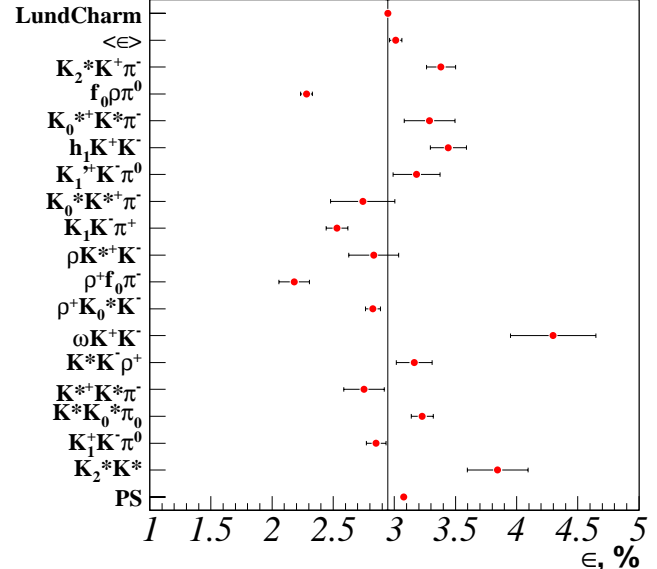
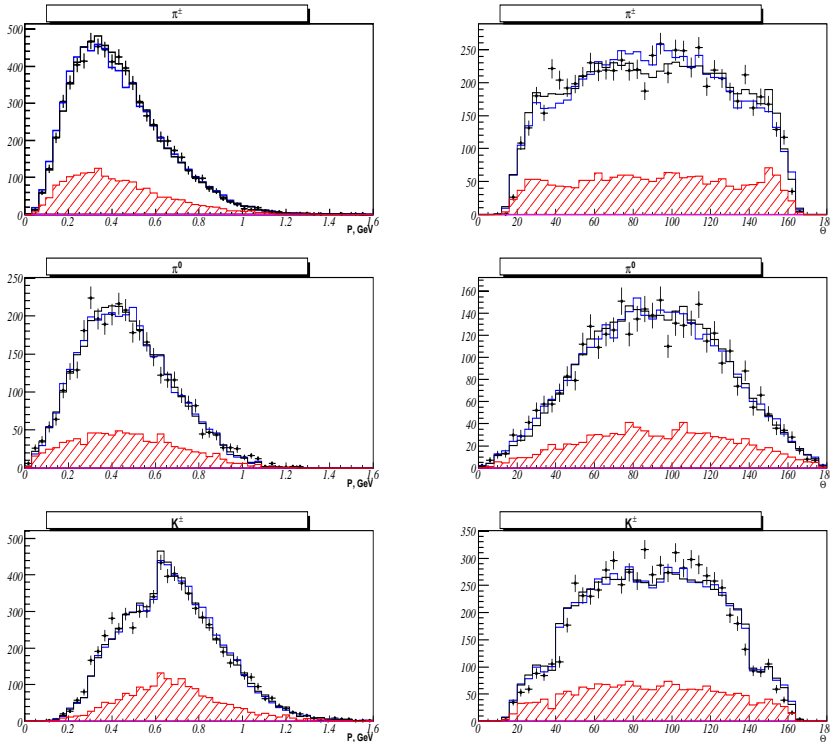
$$\langle \epsilon \rangle = \sum V_i \epsilon_i / \sum V_i, \quad \sum V_i = 30.5 \cdot 10^{-3}, \quad \sum V_i / V_{5\pi} = 95\%.$$

Распад $J/\psi \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-\pi^0$



Распределения по массам для событий $K^+K^-\pi^+\pi^-\pi^0$ с $\chi^2 < 50$. Точки – данные, гистограммы – моделирование: синим – генератор LundCharm, чёрным – генератор GenHamp, красным – фоновые события (LundCharm), фиолетовым – события подложки.

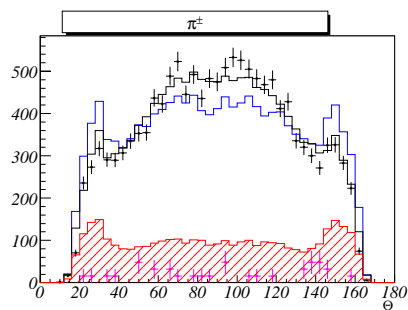
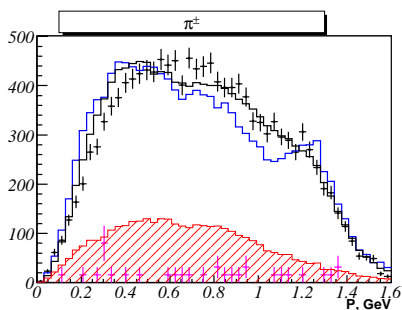
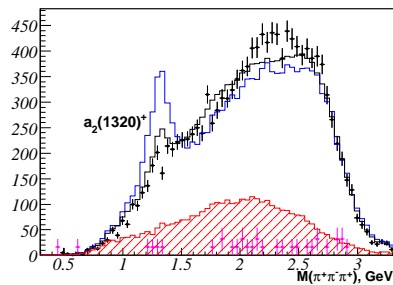
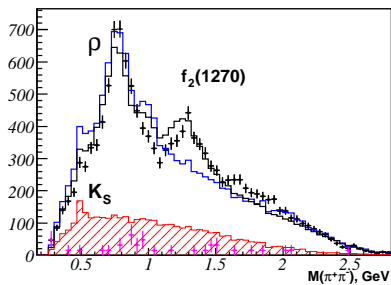
Распад $J/\psi \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-\pi^0$ (2)



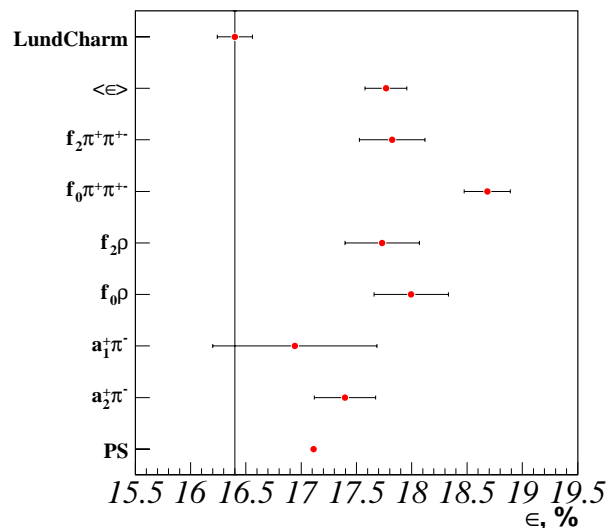
Распределения по импульсам и полярным углам для событий $K^+K^-\pi^+\pi^-\pi^0$ с $\chi^2 < 50$. Точки – данные, гистограммы – моделирование: синим – генератор LundCharm, чёрным – генератор GenNAmp, красным – фоновые события (LundCharm), фиолетовым – события подложки.

Эффективности регистрации в распадах $J/\psi \rightarrow X_i \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-\pi^0$ для моделирования с генераторами LundCharm и GenNAmp. Горизонтальные усы на рисунке – систематические ошибки, связанные с неопределённостью спиральных амплитуд. $\langle \epsilon \rangle = \sum B_i \epsilon_i / \sum B_i$, $\sum B_i = 10.9 \cdot 10^{-3}$, $\sum B_i / B_{2K3\pi} = 79\%$.

Распад $J/\psi \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)$

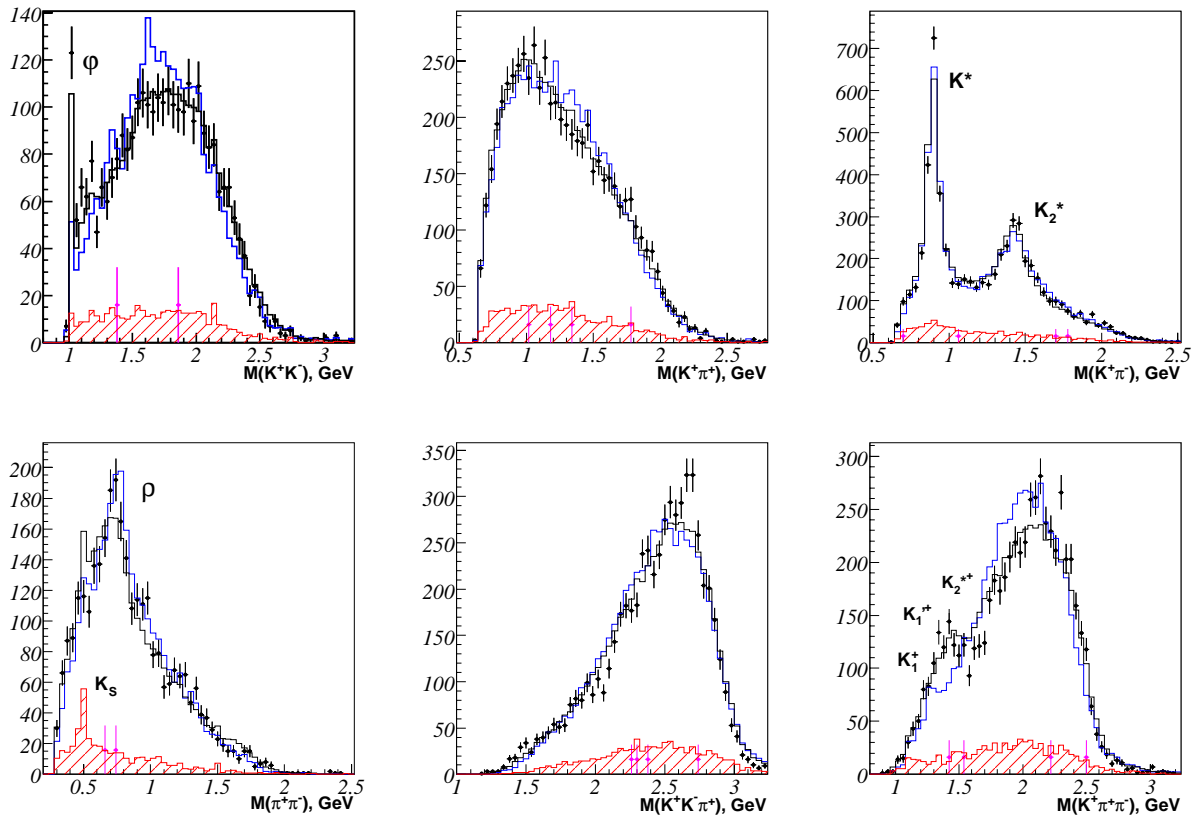


Распределения по массам, импульсам и полярным углам π^\pm для событий $2(\pi^+\pi^-)$ с $\chi^2 < 40$. Точки – данные, гистограммы – моделирование: синим – генератор LundCharm, чёрным – генератор GenNAmp, красным – фоновые события (LundCharm), фиолетовым – события подложки.



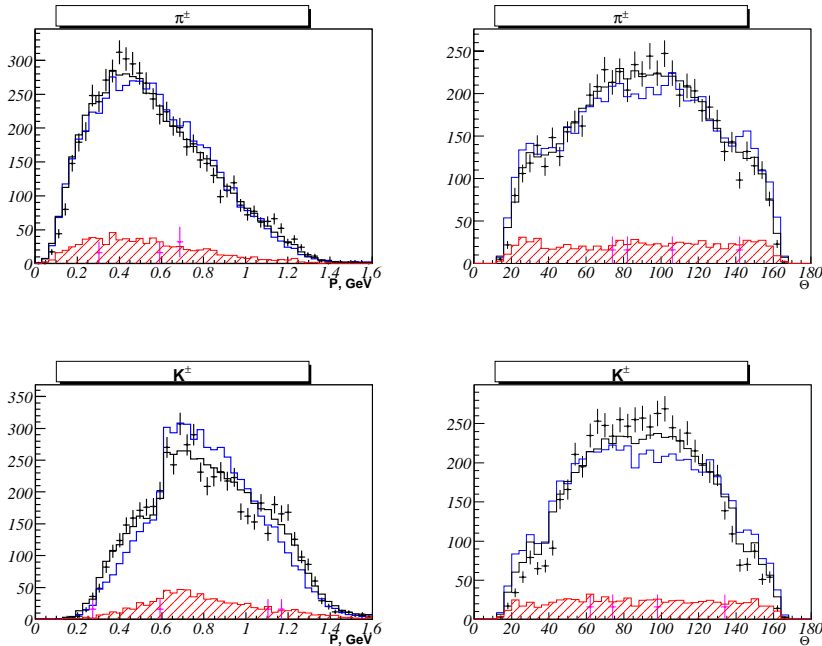
Эффективности регистрации для распадов $J/\psi \rightarrow X_i \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)$ для моделирования с генераторами LundCharm и GenNAmp. Горизонтальные усы на рисунке – систематические ошибки, связанные с неопределённостью спиральных амплитуд. $\langle \epsilon \rangle = \sum B_i \epsilon_i / \sum B_i$, $\sum B_i = 1.87 \cdot 10^{-3}$, $\sum B_i / B_{4\pi} = 92\%$.

Распад $J/\psi \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-$

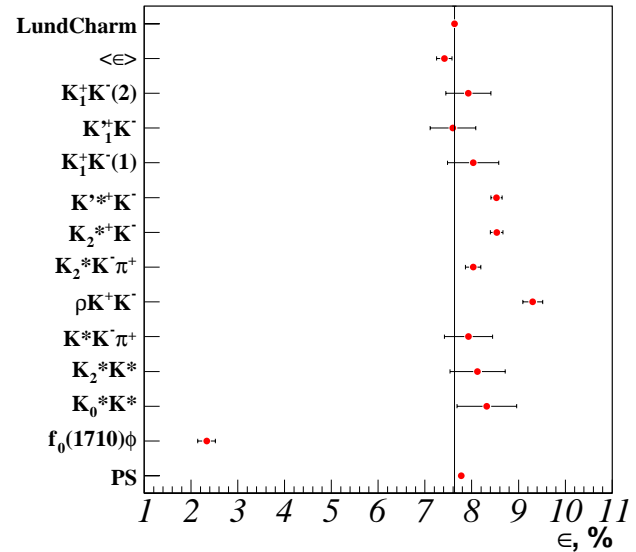


Распределения по массам для событий $K^+K^-\pi^+\pi^-$ с $\chi^2 < 40$. Точки – данные, гистограммы – моделирование: синим – генератор LundCharm, чёрным – генератор GenHep, красным – фоновые события (LundCharm), фиолетовым – события подложки.

Распад $J/\psi \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-$ (2)



Распределения по импульсам и полярным углам для событий $K^+K^-\pi^+\pi^-$ с $\chi^2 < 40$. Точки – данные, гистограммы – моделирование: синим – генератор LundCharm, чёрным – генератор GenHAmr, красным – фоновые события (LundCharm), фиолетовым – события подложки.



Эффективности регистрации для распадов $J/\psi \rightarrow X_i \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-$ для моделирования с генератором BES и эффективности регистрации для моделирования с генератором GenHAmr. Горизонтальные усы на рисунке – систематические ошибки, связанные с неопределённостью спиральных амплитуд.

$$\langle \epsilon \rangle = \sum B_i \epsilon_i / \sum B_i, \quad \sum B_i = 4.63 \cdot 10^{-3}, \quad \sum B_i / B_{2K2\pi} = 84\%.$$

Интерференция с подложкой

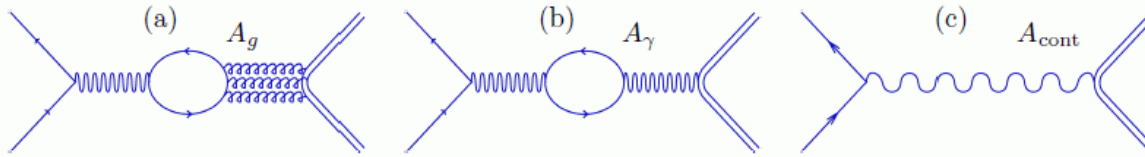


Figure 1: The Feynman diagrams for the process $e^+e^- \rightarrow \text{hadrons}$: (a) J/ψ strong decay *via* gluons, (b) J/ψ EM decay *via* one virtual photon, (c) the continuum decay *via* a virtual photon.

Эксперимент BESIII - Phys.Lett.B 791 (2019), 375-384 :

“Measurement of the phase between strong and electromagnetic amplitudes of J/ψ decays”

$$\sigma^0(W) = \left(\frac{\mathcal{A}}{W^2} \right)^2 \frac{4\pi\alpha^2}{W^2} \left| 1 + \frac{3W^2 \sqrt{\Gamma_{ee}\Gamma_{\mu\mu}} (1 + C e^{i\Phi_{g,EM}})}{\alpha M (W^2 - M^2 + iM\Gamma)} \right|^2$$

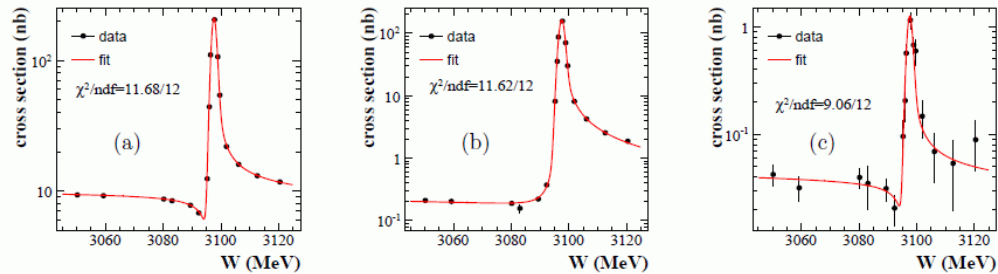


Figure 3: The lineshapes of e^+e^- annihilates to (a) $\mu^+\mu^-$, (b) 5π , and (c) $\eta\pi^+\pi^-$. The black points with error bars are data, and the solid lines show the fit results.

Table 3: Fit results for the lineshape of $e^+e^- \rightarrow 5\pi$. Solution I is with $\Phi_{g,EM} > 0^\circ$ and solution II is with $\Phi_{g,EM} < 0^\circ$.

	$\Phi_{g,EM}$	$\mathcal{B}_{5\pi}$ (%)	χ^2/ndf
Solution I	$(84.9 \pm 3.6)^\circ$	4.73 ± 0.44	11.62/12
Solution II	$(-84.7 \pm 3.1)^\circ$	4.85 ± 0.45	11.62/12

Интерференция с подложкой (2)

Распады J/ψ	hadrons	2(π ⁺ π ⁻)π ⁰	K ⁺ K ⁻ π ⁺ π ⁻ π ⁰	2(π ⁺ π ⁻)	K ⁺ K ⁻ π ⁺ π ⁻
число зарегистрированных сигнальных событий в пике J/ψ	4.10·10 ⁶	22992	2569	2670	2626
число зарегистрированных событий в пике J/ψ из подложки	23.8·10 ³	64 ± 32	0+16	128 ± 45	32 ± 23
сечение в пике J/ψ, нб	3774	215	73.2	13.3	28.4
σ ^{cont} /σ ^{J/ψ} , %	0.6	0.1 (BES)	0÷0.6	4.8 ± 1.7	1.2 ± 0.9
Δσ _{max} (φ=90°), %	3.3	1.4	3.4	<1 (9.5)	4.8

Оценка систематики, связанной с интерференцией с подложкой для данных КЕДР. Приведены числа зарегистрированных сигнальных событий в пике J/ψ от распадов J/ψ и из подложки, расчётное сечение в пике (σ_W=0.7 МэВ, подложка=0), отношение сечений в подложке и пике (для канала 5π взято значение из работы BES), максимальное изменение сечения в пике J/ψ с учётом подложки при фазе φ=90° (для канала 4π считается, что φ=0° т.к. G-чётность не сохраняется).

Интерференция между модами распада

- Набор спиральных амплитуд $\{A_{\lambda_1, \lambda_2}^{i(k)}\}$ для k-й эксклюзивной моды распада нормируется так, чтобы было $\Gamma_1 : \Gamma_2 : \dots : \Gamma_n = B_1 : B_2 : \dots : B_n$, где $\Gamma_i = \int d\Gamma_i$.
- $|M_{fi}^\lambda|^2 \rightarrow \sum_k |M_{fi}^{\lambda(k)}|^2$ или $|M_{fi}^\lambda|^2 \rightarrow \left| \sum_k M_{fi}^{\lambda(k)} \right|^2$, где фазы для разных k случайные или равны 0.
- Для этих трёх случаев определяются эффективности регистрации, максимальная разница берётся как систематика, связанная с возможной интерференцией между модами распада

$\varepsilon, \%$	$2(\pi^+\pi^-\pi^0)$	$K^+K^-\pi^+\pi^-\pi^0$	$2(\pi^+\pi^-)$	$K^+K^-\pi^+\pi^-$
нет интерференции	8.42 ± 0.15	3.29 ± 0.08	17.61 ± 0.18	6.76 ± 0.21
интерференция, случайные фазы	8.62 ± 0.14	3.25 ± 0.06	17.60 ± 0.20	7.12 ± 0.20
интерференция, нулевые фазы	8.65 ± 0.09	3.27 ± 0.07	17.55 ± 0.19	7.17 ± 0.15
$\Delta_{\max}, \%$	2.7	1.2	0.3	6.1

Измерения $B(J/\psi \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)\pi^0)$, $B(J/\psi \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-\pi^0)$, $B(J/\psi \rightarrow 2(\pi^+\pi^-))$, $B(J/\psi \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-)$

	$2(\pi^+\pi^-)\pi^0$	$K^+K^-\pi^+\pi^-\pi^0$	$2(\pi^+\pi^-)$	$K^+K^-\pi^+\pi^-$
N_i^{sig}	22995	2616	2654	2671
ϵ_i (MC GenHamp), %	8.47 ± 0.13	2.88 ± 0.05	17.7 ± 0.20	7.18 ± 0.15
B_i , %	$5.43 \pm 0.07 \pm 0.40$	$1.82 \pm 0.08 \pm 0.26$	$0.287 \pm 0.014 \pm 0.021$	$0.737 \pm 0.026 \pm 0.108$

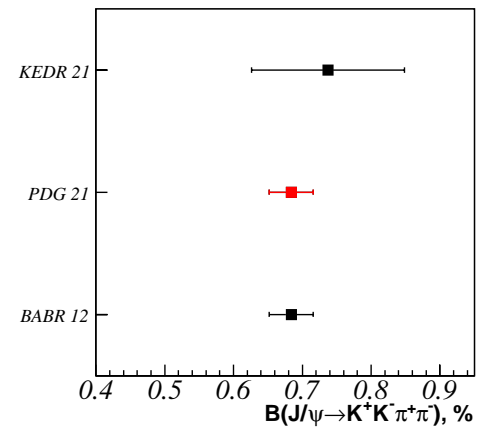
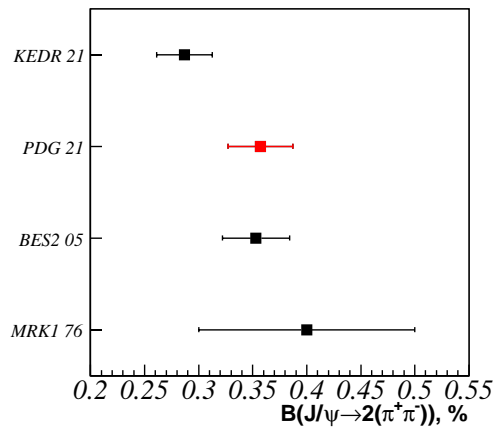
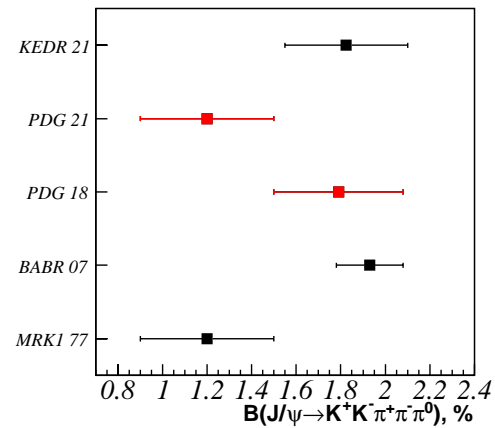
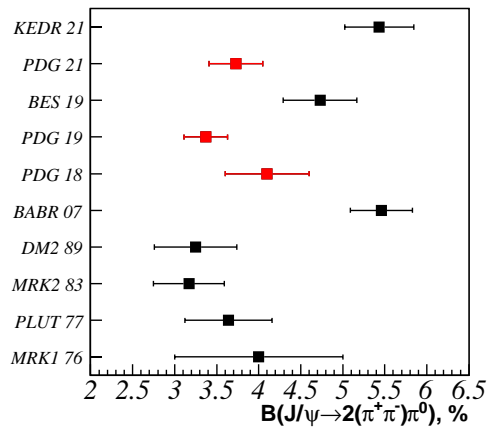
Систематические погрешности измерений B_i (%):

	$2(\pi^+\pi^-)\pi^0$	$K^+K^-\pi^+\pi^-\pi^0$	$2(\pi^+\pi^-)$	$K^+K^-\pi^+\pi^-$

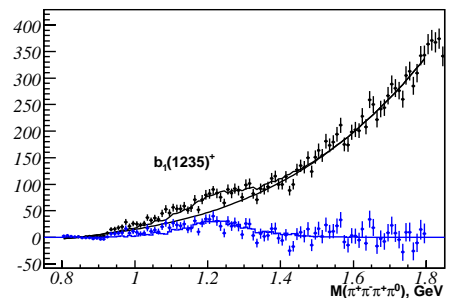
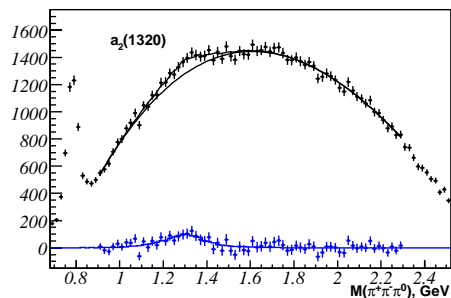
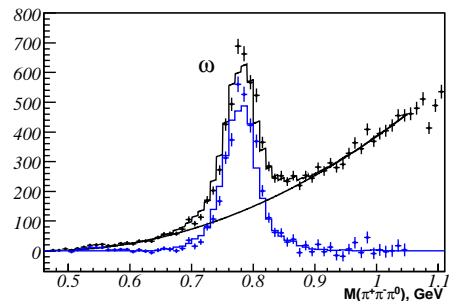
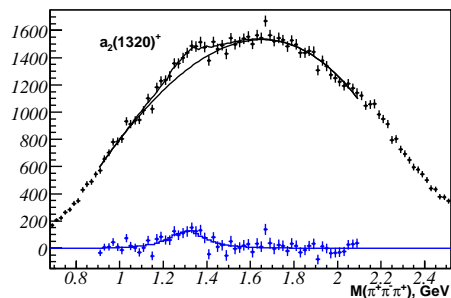
• эффективность регистрации треков	3.6	3.6	3.6	3.6
• эффективность регистрации π^0	1.5	1.5	-	-
• дополнительные π^0	1.9	3.5	2.8	<1
• вероятность ложной идентификации $\pi \rightarrow K$	2.1	1.1	2.1	1.1
• вероятность ложной идентификации $K \rightarrow \pi$	-	11.5	-	10.3
• параметры подгонки (границы, ширина бина)	<1	2.6	4.0	2.9
• порог на χ^2 : 50 \rightarrow 25, 100	<1	<1	<1	<1
• триггер + условия отбора	<1	<1	<1	<1
• вычитание подложки		3.7	3.7	3.7
3.7				
• интерференция с подложкой	1.4	3.4	<1	4.8
• импульсные и угловые распределения частиц				
• амплитуды мод распада	1.6	1.7	1.0	2.2
• бранчинги мод распада	2.5	3.6	<1	3.6
• интерференция между модами распада	2.7	1.2	<1	6.1

Всего	7.4	14.5	7.5	14.7

Сравнение с другими измерениями



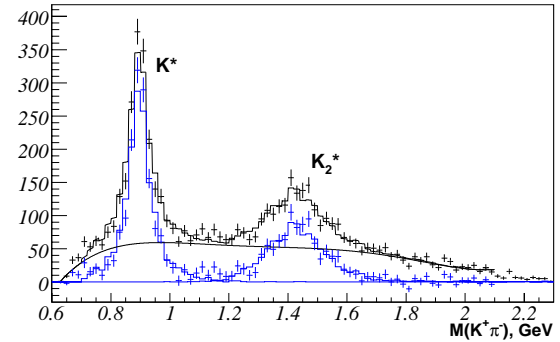
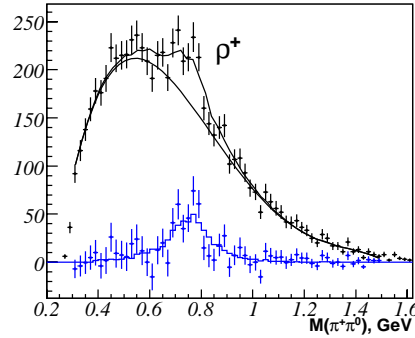
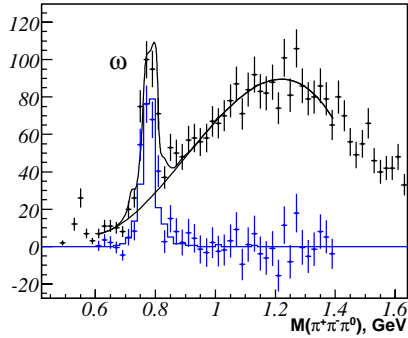
Измерения бранчингов мод распада $J/\psi \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)\pi^0$



Подгонки распределений по массам для событий $2(\pi^+\pi^-)\pi^0$ с $\chi^2 < 50$. Точки – данные, гистограммы – моделирование LundCharm, синим – после вычитания фона.

распад	$\epsilon, \%$	N_{sig}	$B, \%$	$B, \%$ (PDG)
$J/\psi \rightarrow a_2 \pi^+ \pi^- \rightarrow 2(\pi^+ \pi^-) \pi^0$	9.12 ± 0.24	$1317 \pm 36 \pm 265$	$0.289 \pm 0.008 \pm 0.062$	
$J/\psi \rightarrow a_2^+ \pi^- \pi^0 \rightarrow 2(\pi^+ \pi^-) \pi^0$	8.72 ± 0.52	$1628 \pm 40 \pm 247$	$0.373 \pm 0.010 \pm 0.067$	
$J/\psi \rightarrow \omega \pi^+ \pi^- \rightarrow 2(\pi^+ \pi^-) \pi^0$	7.34 ± 0.23	$3531 \pm 59 \pm 212$	$0.962 \pm 0.017 \pm 0.096$	
$\omega \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$				89.3 ± 0.6
$J/\psi \rightarrow \omega \pi^+ \pi^-$			$1.08 \pm 0.02 \pm 0.11$	0.72 ± 0.10 1.20 ± 0.11 (BABR07)
$J/\psi \rightarrow b_1^+ \pi^- \rightarrow 2(\pi^+ \pi^-) \pi^0$	7.09 ± 0.39	$708 \pm 27 \pm 37$	$0.200 \pm 0.008 \pm 0.021$	0.31 ± 0.06 (DM2)

Измерения бранчингов мод распадов $J/\psi \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-\pi^0$, $J/\psi \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-$



Подгонки распределений по массам для событий $K^+K^-\pi^+\pi^-\pi^0$ с $\chi^2 < 50$. Точки – данные, гистограммы – моделирование LundCharm, синим – после вычитания фона.

Подгонки распределений по массам для событий $K^+K^-\pi^+\pi^-$ с $\chi^2 < 40$ суммой гистограмм моделирования распадов через K^* , K_2^* и фоновых распадов (полином). Точки – данные, гистограммы – моделирование LundCharm, синим – после вычитания фона.

распад	$\epsilon, \%$	N_{sig}	B, %	B, % (PDG)
$J/\psi \rightarrow \omega K^+K^- \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-\pi^0$	4.30 ± 0.35	$276 \pm 17 \pm 17$	$0.129 \pm 0.008 \pm 0.023$	
$J/\psi \rightarrow \omega K^+K^-$			$0.144 \pm 0.009 \pm 0.026$	0.074 ± 0.024 (DM2) 0.083 ± 0.033 (BABR07)
$J/\psi \rightarrow \rho^+ K^+K^- \pi^- \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-\pi^0$	2.84 ± 0.054	$485 \pm 22 \pm 94$	$0.343 \pm 0.017 \pm 0.083$	

распад	$\epsilon, \%$	N_{sig}	B, %	B, % (PDG)
$J/\psi \rightarrow K^* K^+ \pi^- \rightarrow K^+ K^+ \pi^- \pi^-$	8.00 ± 0.39	$1559 \pm 39 \pm 17$	$0.391 \pm 0.012 \pm 0.059$	
$J/\psi \rightarrow K^* K^+ \pi^-$			$0.587 \pm 0.018 \pm 0.088$	0.77 ± 0.16
$J/\psi \rightarrow K_2^* K^+ \pi^- \rightarrow K^+ K^+ \pi^- \pi^-$	8.06 ± 0.23	$1094 \pm 33 \pm 90$	$0.272 \pm 0.010 \pm 0.045$	

Результаты

	B, %	B, % (PDG)
$B(J/\psi \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)\pi^0)$	$5.43 \pm 0.07 \pm 0.40$	3.73 ± 0.32 (S=1.4)
$B(J/\psi \rightarrow a_2\pi^+\pi^-) \cdot B(a_2 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0)$	$0.289 \pm 0.008 \pm 0.062$	
$B(J/\psi \rightarrow a_2^+\pi^-\pi^0) \cdot B(a_2^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-)$	$0.373 \pm 0.010 \pm 0.067$	
$B(J/\psi \rightarrow \omega\pi^+\pi^-) \cdot B(\omega \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0)$ $B(J/\psi \rightarrow \omega\pi^+\pi^-)$	$0.962 \pm 0.017 \pm 0.096$ $1.08 \pm 0.02 \pm 0.11$	0.72 ± 0.10 1.20 ± 0.11 (BABR07)
$B(J/\psi \rightarrow b_1^+\pi^-) \cdot B(b_1^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-\pi^0)$	$0.200 \pm 0.008 \pm 0.021$	0.31 ± 0.06 (DM2)
$B(J/\psi \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-\pi^0)$	$1.82 \pm 0.08 \pm 0.26$	1.20 ± 0.30
$B(J/\psi \rightarrow \omega K^+K^-) \cdot B(\omega \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0)$ $B(J/\psi \rightarrow \omega K^+K^-)$	$0.129 \pm 0.008 \pm 0.023$ $0.144 \pm 0.009 \pm 0.026$	0.074 ± 0.024 (DM2) 0.083 ± 0.033 (BABR07)
$B(J/\psi \rightarrow \rho^+K^+K^-\pi^-)$	$0.343 \pm 0.017 \pm 0.083$	
$B(J/\psi \rightarrow 2(\pi^+\pi^-))$	$0.287 \pm 0.014 \pm 0.021$	0.357 ± 0.030
$B(J/\psi \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-)$	$0.737 \pm 0.026 \pm 0.108$	0.684 ± 0.032
$B(J/\psi \rightarrow K^*K^-\pi^+) \cdot B(K^* \rightarrow K^+\pi^-)$ $B(J/\psi \rightarrow K^*K^-\pi^+)$	$0.391 \pm 0.012 \pm 0.059$ $0.587 \pm 0.018 \pm 0.088$	0.77 ± 0.16
$B(J/\psi \rightarrow K_2^*K^-\pi^+) \cdot B(K_2^* \rightarrow K^+\pi^-)$	$0.272 \pm 0.010 \pm 0.045$	