

Измерение вероятности распада $J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$
и резонансного вклада $f_2(1270)$

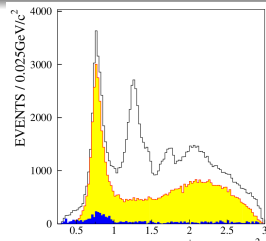
Резанова Ольга, коллаборация КЕДР

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск

Научная сессия секции ядерной физики ОФН РАН
Дубна, 3 апреля 2024

- 1 Обзор опубликованных результатов
- 2 Применявшиеся методы обработки
- 3 Детектор КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М
- 4 Моделирование
- 5 Процедура обработки
- 6 Предварительные результаты $J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$,
 $J/\psi \rightarrow f_2(1270)\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$
- 7 Заключение

- Основной интерес к радиационным распадам J/ψ связан с поиском глюболов
- Ни один из наблюдаемых в распаде резонансов как несомненный глюбол идентифицирован не был
- Экспериментальная ситуация неоднозначна
- Цель нашей работы — прояснить ситуацию, насколько позволяет набранная статистика



Пример спектра инвариантных масс (BES II)

$$Br(J/\psi \rightarrow \gamma X) \times Br(X \rightarrow \pi^+ \pi^-) \times 10^5$$

Резонанс	Mark III ¹⁾	DM ²⁾	BES ³⁾	on CLEO data ⁴⁾
$f_2(1270)$	$115 \pm 7 \pm 19$	$74.4 \pm 2.4 \pm 11.2$	$91.4 \pm 0.7 \pm 14.8$	$108.8 \pm 3.9 \pm 8.1$
$f_2(1430)$	—	$7.9 \pm 2.4 \pm 1.2$	—	+
$f_2'(1525)$	—	$2.5 \pm 1. \pm 0.4$	—	+
$f_0(1500)$	—	—	$6.7 \pm 0.2 \pm 3.0$	$11.0 \pm 2.4 \pm 1.6$
$f_2(1720)$	$16 \pm 4 \pm 3$	$10.3 \pm 1.6 \pm 1.5$	—	—
$f_0(1710)$	—	—	$26.4 \pm 0.4 \pm 7.5$	$27.9 \pm 2.5 \pm 2.9$
$f_4(2030)$	—	$16.3 \pm 2.4 \pm 2.4$	+	—
$f_0(2100)$	$30 \pm 5 \pm 6$	—	—	$44.3 \pm 3.3 \pm 5.8$
$f_2(1810)$	—	—	+	—
$f_0(2020)$	—	—	+	—
$f_2(2150)$	—	—	+	—

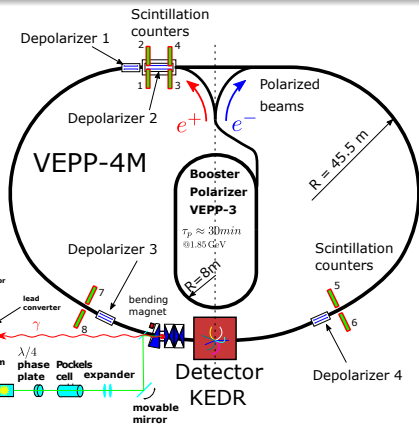
¹⁾ R.M. Baltrusaitis et al., Phys.Rev.D 35 (1987) 2077

³⁾ M. Ablikim et al., Phys.Lett. B642 (2006) 441

²⁾ J.E. Augustin et al., Z.Phys.C 36 (1987) 369

⁴⁾ Dobbs et al., Phys.Rev.D 91 (2015), 052006

- Mark III (13M J/ψ): Подгонка области 0.9-2.5 ГэВ тремя не интерферирующими Брейт-Виггнеровскими формами плюс плавный фон от $J/\psi \rightarrow \rho\pi$. Подгонка 4 интерферирующими амплитудами для обнаружения сигнала $f_2'(1525) \rightarrow \pi^+\pi^-$. Дополнительно рассматривается мода $J/\psi \rightarrow K^+K^-\gamma$. Спиновый анализ в окрестностях резонансов
- DM2 (8.6M J/ψ): Подгонка аналогично Mark III. Дополнительно вводится резонанс M_x ($f_2(1430)$). Учет интерференции $f_2(1270)$ и $f_2'(1525)$
- BES (58M J/ψ): Парциально-волновой анализ с необычным выбором рассматриваемых резонансов (нет $f_2'(1525)$, $f_2(1430)$, $f_0(2100)$), рассматриваются $f_2(1810)$ либо $f_2(1950)$, $f_0(2020)$, $f_2(2150)$). Функции Брейта-Виггнера с постоянной $\Gamma(W)$. Систематические ошибки до 45%. Независимо рассматривается мода $J/\psi \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$
- Dobbs et al на данных CLEO (5.1M J/ψ): Подгонка Брейт-Виггнеровскими формами с зависимостью $\Gamma(W)$ для двухчастичного распада без учета интерференции. Дополнительно рассматриваются моды $J/\psi \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$, $J/\psi \rightarrow K\bar{K}\gamma$
- КЕДР (4.3M J/ψ): Учет интерференции резонансов с одинаковыми квантовыми числами, подгонка формами Брейт-Виггнера с зависимостью $\Gamma(W)$ для двухчастичных и многочастичных распадов. В отличие от других анализов, значения масс и ширин резонансов фиксированные, неопределенности включены в систематические ошибки



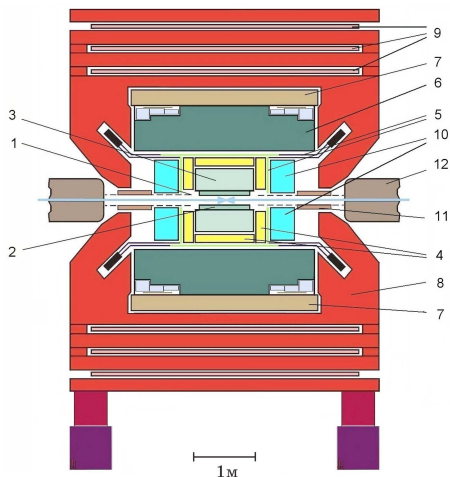
ВЭПП-4 начал работу 1981,
с 1998 – ВЭПП-4М

Периметр	366 м
Энергия пучка	1 ÷ 5 ГэВ
Количество сгустков	2 × 2
Светимость: $E = 1.9$	$2 \cdot 10^{30} \frac{1}{\text{CM}^2 \cdot \text{C}}$
$E = 3.5$	$1 \cdot 10^{31} \frac{1}{\text{CM}^2 \cdot \text{C}}$

Измерение энергии методом
резонансной деполяризации:

- Тушековский поляриметр (внутрисгустковое рассеяние), $E < 2$ ГэВ
Мгновенная точность измерений $\simeq 1 \times 10^{-6}$
Точность интерполяции энергии $(5 \div 15) \times 10^{-6}$ (10 ÷ 60 keV)
- Лазерный поляриметр (асимметрия рассеяния поляризованного света). При 4.73 ГэВ
статистическая точность $\simeq 3 \times 10^{-6}$ / 15 минут
корректируемая систематическая неопределенность 3×10^{-6} (30 кэВ)

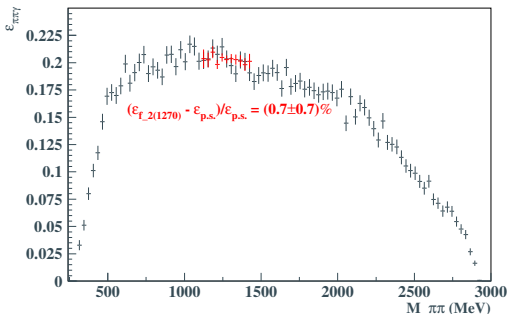
Детектор КЕДР



- 1 Вакуумная камера
 - 2 Вершинный детектор
 - 3 Дрейфовая камера
 - 4 Аэрогелевые счетчики
 - 5 Сцинтилляционные счетчики
 - 6 Калориметр на жидком криптоне
 - 7 Сверхпроводящая катушка
 - 8 Ярмо магнита
 - 9 Мюонная система
 - 10 CsI калориметр
 - 11 Компенсационный соленоид
 - 12 Линза ВЭПП-4м
- Монитор светимости по ОТИ в направлениях e^+ и e^-
 - Система регистрации рассеянных электронов для изучения двухфотонной физики

Обзор результатов на низких энергиях [Physics of Particles and Nuclei. Volume 54, pp. 185-226](#)

- 1 Моделирование $J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ делалось в согласии с работой V.V. Anashin *et al.* [KEDR], JHEP 06 (2023) 196. Рассматривались вклады $\rho(770)$, $\rho(1450)$, $\rho(1700)$, нерезонансный $J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$, $J/\psi \rightarrow \omega\pi$ с учетом интерференции
- 2 Для моделирования резонансов f_2 отношение спиральных амплитуд бралось из работы BES. Эффективность регистрации слабо зависит от выбора спиральных амплитуд и определяется инвариантной массой пары $\pi^+\pi^-$. При моделировании резонансов f_0 распад в системе отсчета резонанса производился изотропно

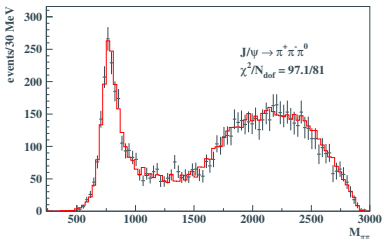


Зависимость эффективности регистрации $\pi^+\pi^-\gamma$ от инвариантной массы $\pi^+\pi^-$ пары (красный — для $f_2(1270)$)

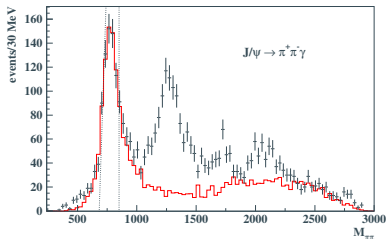
Условия отбора $J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$:

- Два противоположно заряженных трека из места встречи, допускается наличие дополнительного трека не из места встречи
- Требуется фотон с энергией $200 < E_\gamma < 1700$ МэВ
- Допускается наличие дополнительных фотонов с энергией < 50 МэВ
- Угол между направлением вылета фотона и системы $\pi^+\pi^-$ больше 168°
- Отбраковываются события $J/\psi \rightarrow e^+e^-\gamma$, $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-\gamma$
- После кинематической реконструкции (к.р.) $\chi^2_{\pi\pi} < 100$, $\chi^2_{\pi\pi} < \chi^2_{KK}$

Использовано 4.3 млн событий J/ψ отобранных из данных 2015 года



$J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ изучается в работе V.V. Ashin *et al.* [KEDR], JHEP 06 (2023) 196, имеется хорошее согласие моделирования (красный) с экспериментом (черный)

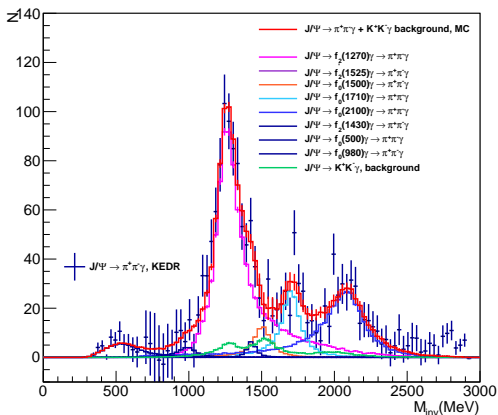


$J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$

События моделирования $J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ (красный), прошедшие через условия отбора $\pi^+\pi^-\gamma$, вычитаются из данных (3907 событий, черный) с нормировкой по области 650 – 850 МэВ

Предварительные результаты $J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$, $J/\psi \rightarrow f_2(1270)\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$

Подгонка сигнала $J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ с интерференцией резонансов с одинаковыми квантовыми числами. Массы и ширины резонансов фиксированы



1647 событий после вычитания $J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$

Мы представляем 2 результата:

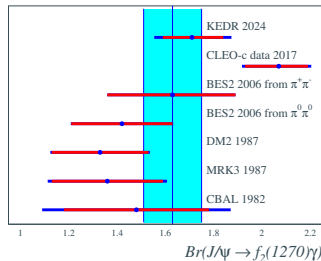
- $Br(J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma) = (223.1 \pm 7.6 \pm 16.7) \times 10^{-5}$
- $Br(J/\psi \rightarrow f_2(1270)\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma) = (96.3 \pm 5.5 \pm 7.32) \times 10^{-5}$,

поскольку набор резонансов выше $f_2(1270)$ не однозначен, и статистические ошибки велики

Источник неопределенности	$J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$	$J/\psi \rightarrow f_2\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$
Вычитание $J/\psi \rightarrow \rho\pi$	6.9%	6.7%
Фон от не 3π распадов J/ψ	1.5%	0.5%
Число J/ψ	1.1%	1.1%
Условие на χ^2 к.р.	2%	2%
Модель $\Gamma(W)$		<0.9%
Реконструкция треков	0.8%	0.8%
Фиксация ширин резонансов		0.8%
Фиксация масс резонансов		0.3%
Идентификация π/K по к.р.	0.3%	0.2%
Квадратичная сумма	7.5%	7.6%

Заключение

- Проведена обработка процесса $J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ с использованием 4.3 млн событий распада J/ψ
- Впервые получен результат (предварительный) по полной вероятности распада $Br(J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma) = (223.1 \pm 7.6 \pm 16.7) \times 10^{-5}$, который согласуется с результатом BES III: $Br(J/\psi \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma) = (115. \pm 50.) \times 10^{-5}$
- Получен предварительный результат $Br(J/\psi \rightarrow f_2(1270)\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma) = (96.3 \pm 5.5 \pm 7.32) \times 10^{-5}$ с учетом интерференции резонансов с одинаковыми квантовыми числами
- Используя табличное значение вероятности распада $Br(f_2(1270) \rightarrow \pi\pi) = 0.843^{+0.029}_{-0.009}$, мы получили вероятность распада $Br(J/\psi \rightarrow \gamma f_2) = (1.71 \pm 0.01^{+0.13}_{-0.12}) \times 10^{-3}$



Планы:

- Мы надеемся уменьшить систематики, связанные с вычитанием сигнала $J/\psi \rightarrow 3\pi$
 - подавлением фона от слившихся π^0 , используя информацию от стрипов жидкокриптонового калориметра
 - лучшей подстройкой моделирования сигнала $J/\psi \rightarrow 3\pi$
- Мы надеемся прояснить природу пика в районе инвариантной массы 2100 МэВ за счет использования угловых распределений

Fitted value of branching fractions $J/\psi \rightarrow R \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ (10^{-5})

$f_2(1270)$	96.3 ± 5.5	5.7%
$f_0(1710)$	22.1 ± 5.2	23.4%
$f_0(1500)$	12.1 ± 6.4	53.0%
$f_0(2100)$	57.5 ± 6.7	11.6%