Измерение $\Gamma_{ee} imes \Gamma_{\mu\mu}/\Gamma \psi(2S)$ -мезона

А. М. Сухарев

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

Сессия-конференция секции ядерной физики ОФН РАН, 7 ноября 2013 г.

А. Сухарев (КЕДР, ИЯФ СО РАН)

 $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma \psi(2S)$ -мезона

7.11.2013 1 / 20

Содержание

1 Введение

- 2 Теория
- 3 Экспериментальные наборы

4 Анализ

- Условия отбора
- Моделирование
- Эффективность время-пролётной системы
- 🛯 Фоны

5 Результат

- Подгонка
- Систематические ошибки
- 6 Итог

< ∃ ►

Коллайдер ВЭПП-4М



Параметры

периметр	366 м
диапазон энергий	$1\div 5.5$ ГэВ
светимость,	
<i>E</i> = 1.5 ГэВ	$2 imes 10^{30}$ см $^{-2}$ с $^{-1}$
<i>E</i> = 5.0 ГэВ	$2 imes 10^{31}$ см $^{-2}$ с $^{-1}$
число сгустков	2×2

Калибровка энергии

- Метод резонансной деполяризации: точность однократного измерения $\simeq 1 \times 10^{-6}$ точность интерполяции (5 \div 15) $\times 10^{-6}$ (10 \div 30 кэВ)
- Обратное комптоновское рассеяние: статистическая точность $\simeq 5 \times 10^{-5}$ за 30 минут систематическая точность $\simeq 3 \times 10^{-5}$ (50 \div 70 кэВ)

А. Сухарев (КЕДР, ИЯФ СО РАН)

 $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma \psi(2S)$ -мезона

Детектор КЕДР

- 1 Вакуумная камера
- 2 Вершинный детектор
- 3 Дрейфовая камера
- Аэрогелевые черенковские счётчики
- 5 Время-пролётная система
- 6 LKr калориметр
- 7 Сверхпроводящая катушка
- 8 Мюонная система
- 🧕 Ярмо магнита
- 10 Торцевой Csl калориметр



 $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma \psi(2S)$ -мезона

7.11.2013 4 / 20

С 2004 по 2011 год детектор КЕДР несколько раз набирал статистику в области $\psi(2S)$ -резонанса.

- Сканирования: набор данных не менее чем в 5 точках по энергии
 - ниже и выше резонанса, в пике и на склонах.
- Режим «пик/подложка»: набор в двух точках ниже резонанса и в пике.

Интегральная светимость составила около 7 пб $^{-1}$, что соответствует более 3.5 imes 10⁶ ψ (2*S*).

За время работы состояние детектора существенно менялось.

◆□▶ ◆□▶ ◆臣▶ ◆臣▶ ─臣 ─の�?

Аналитическое выражение сечения вблизи узкого резонанса с учётом рад. поправок в мягкофотонном приближении получено в работе Я.И. Азимова и др. (Письма в ЖЭТФ, **21**, вып. 6, 378, 1975 г.)

$$\begin{pmatrix} \frac{d\sigma}{d\Omega} \end{pmatrix}^{ee \to \mu\mu} \approx \frac{3}{4M^2} \left(1 + \delta_{pn}\right) \left(1 + \cos^2\theta\right) \times \\ \left\{ \frac{3\Gamma_{ee}\Gamma_{\mu\mu}}{\Gamma M} \operatorname{Im} \mathcal{F} - \frac{2\alpha\sqrt{\Gamma_{ee}\Gamma_{\mu\mu}}}{M} \operatorname{Re} \frac{\mathcal{F}}{1 - \Pi_0} \right\} + \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)^{\mu\mu}_{\kappa \mathfrak{p}\mathfrak{q}}, \\ \mathcal{F} = \frac{\pi\beta}{\sin\pi\beta} \left(\frac{M/2}{-W + M - i\Gamma/2}\right)^{1-\beta}, \quad \beta = \frac{4\alpha}{\pi} \left(\ln\frac{W}{m_e} - \frac{1}{2}\right)$$

радиационные поправки δ_{pn} более точно посчитаны в работе Э. А. Кураева и В. С. Фадина (Ядерная физика, **41**, вып. 3, 733, 1985 г.) Теоретическое сечение $e^+e^-
ightarrow e^+e^-$

$$\begin{split} \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)^{ee \to ee} &\approx \frac{1}{M^2} \left\{\frac{9}{4} \frac{\Gamma_{ee}^2}{\Gamma M} (1 + \cos^2 \theta) \ (1 + \delta_{\rm pn}) \ {\rm Im} \ \mathcal{F} - \right. \\ &\left. \frac{3\alpha}{2} \frac{\Gamma_{ee}}{M} \left[(1 + \cos^2 \theta) - \frac{(1 + \cos \theta)^2}{(1 - \cos \theta)} \right] {\rm Re} \ \mathcal{F} \right\} + \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\rm \kappa pq}^{ee}, \end{split}$$

А. Сухарев (КЕДР, ИЯФ СО РАН)

 $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma \psi(2S)$ -мезона

7.11.2013 7 / 20

◆□▶ ◆□▶ ◆ □▶ ◆ □▶ - □ - のへで

Энергетический разброс коллайдера

 σ , нб 900 f ▲ ск. 2004-1 Теоретическое сечение e^+e^- 800 ск. 2004-2 $\ell^+\ell^-$ должно быть свёрнуто с энер-700 • ск 2006 гетическим разбросом ускорителя. 600 500 Энергетический разброс σ_W изме-400 300 ряется в сканированиях резонанса 200 по имеющему большую статистику 100 процессу $e^+e^- \rightarrow$ адроны. 3685 3690 3695 3675 3680 W. M₂B

 $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma \psi(2S)$ -мезона

7.11.2013 8 / 20

набор	дата начала	L _{int} , нб ⁻¹	σ_W , МэВ
пик/подложка 1	начало 2005	662	1.08
пик/подложка 2	осень 2005	222	0.99
сканирование 1	весна 2006	255	0.99
пик/подложка 3	весна 2006	631	0.99
пик/подложка 4	осень 2006	701	0.99
пик/подложка 5	осень 2007	1081	1.01
сканирование 2	конец 2007	967	1.01
сканирование 3	лето 2010	379	1.00
сканирование 4	конец 2010	2005	0.98

А. Сухарев (КЕДР, ИЯФ СО РАН)

 $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma \psi(2S)$ -мезона

 ▶
 ≥

 >

 >

 >

 >

 >

 <th

イロト イヨト イヨト イヨト

Условия отбора

e^+e^	$\mu^+\mu^-$	
в событии ровно два трека, оба выходят из места встречи пучков		
треки имеют противоположные заряды		
расколлинеарность по $ heta$ и $arphi$ не превышает 28 $^\circ$		
энерговыделение в калориметре для каждого трека:		
<i>≥</i> 800 МэВ	≼ 700 M∍B	
полярный угол вылета частицы:		
$40^\circ < heta < 140^\circ$	$50^\circ < heta < 130^\circ$	
не более двух кластеров, не привязанных к трекам, с суммарным		
энерговыделением менее 180 Ма	βB	
	срабатывание в мюонной систе-	
	ме для каждого трека	
	времена, измеренные время-	
	пролётной системой, соответ-	
	ствуют частицам, вылетевшим	
	из центра детектора	

А. Сухарев (КЕДР, ИЯФ СО РАН)

Эффективность отборов определялась по смоделированным событиям. Моделировались процессы $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$, $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ (резонанс, подложка, интерференция) и резонансные фоновые процессы.

- Эффективность мюонной системы измерялась по экспериментальным заходам и учитывалась при обработке моделирования.
- Для учёта шумов на события моделирования накладывались экспериментальные события, записанные во время набора статистики со случайным триггером.
- Учёт излучения в конечном состоянии пакет PHOTOS.

ヘロト 不得 とくき とくき とうき

Эффективность время-пролётной системы

Из-за проблем в оцифровывающей электронике время-пролётной системы условие отбора против космики вносит существенную неэффективность. Эта неэффективность не учитывается в моделировании детектора и измеряется отдельно.



Эффективность определялась двумя независимыми методами:

- I C использованием мюонов каскадного распада $\psi(2S)
 ightarrow J/\psi \pi \pi, J/\psi
 ightarrow \mu^+ \mu^-.$
- Для одного трека с наложением условия на время второго трека и статистическим вычитанием оставшегося фона от космики.

Эффективность менялась в пределах от 78% до 88% в различных наборах данных.

Измерение эффективности ВПС по распадам $J/\psi ightarrow \mu^+\mu^-$

Специально отбираются события каскадных распадов $\psi(2S) \to J/\psi \pi^+ \pi^-$ и $\psi(2S) \to J/\psi \pi^0 \pi^0$, в которых $J/\psi \to \mu^+ \mu^-$.



Эффективность определяется из совместной подгонки гистограмм инвариантной массы $\mu^+\mu^-$ с наложенным условием на времена пролёта (серая) и без него (зелёная).

Второй метод измерения эффективности ВПС



Синим цветом выделен интервал, соответствующий условию отбора на время первого трека T_1 . Он содержит N_1 событий. Уровень фона определяется подгонкой гистограммы времён трека в областях, где присутствует только космика.

Условия отбора на времена обоих треков T_1 и T_2 проходит $N_{1,2}$ событий. Тогда эффективность для второго трека $\varepsilon_2 = \frac{N_{1,2}}{N_1 - N_{\phioH}}$. Аналогично для первого трека $\varepsilon_1 = \frac{N_{1,2}}{N_2 - N_{\phioH}}$. Полная эффективность $\varepsilon = \varepsilon_1 \times \varepsilon_2$.

7.11.2013 14 / 20

Резонансные фоны

Фоны от различных распадов $\psi(2S)$ вычитались с использованием моделирования. Удельные вероятности распадов брались из таблиц PDG. Пример (п/п 5):

Канал распада	Вероятность, %	Эффективность, %
$J/\psi\pi^+\pi^-$	33.60	0.0558
$J/\psi\pi^0\pi^0$	17.75	0.0166
$\gamma\chi_{c0}$	9.68	0.0012
$\gamma \chi_{c1}$	9.20	0.0544
$\gamma\chi_{c2}$	8.72	0.0268
$J/\psi\eta$	3.28	0.0404
$\tau^+\tau^-$	0.30	0.0170
$J/\psi\pi^0$	0.13	0.1368
р <u></u> р	0.03	0.0248

Суммарная поправка на резонансные фоны составила от 4.3% до 7.4% в зависимости от набора данных.

А. Сухарев (КЕДР, ИЯФ СО РАН)

 $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma \psi(2S)$ -мезона

7.11.2013 15 / 20

Получение результата

Каналы $\mu^+\mu^-$ and e^+e^- анализируются совместно. Угловое распределение e^+e^- по θ ипользуется для измерения светимости. В *i*-ой точке по энергии E_i и *j*-ом угловом интервале θ_j ожидаемое число событий

$$\begin{split} N_{e^+e^-}(E_i,\theta_j) &= \mathcal{L}(E_i) \times \left(\sigma_{\text{pes}}^{\text{reop}}(E_i,\theta_j) \cdot \varepsilon_{\text{pes}}^{\text{mod}}(E_i,\theta_j) + \\ \sigma_{\text{MHT}}^{\text{reop}}(E_i,\theta_j) \cdot \varepsilon_{\text{MHT}}^{\text{mod}}(E_i,\theta_j) + \sigma_{\text{nodn}}^{\text{mod}}(E_i,\theta_j) \cdot \varepsilon_{\text{nodn}}^{\text{mod}}(E_i,\theta_j) \right), \\ N_{\mu^+\mu^-}(E_i) &= \mathcal{L}(E_i) \times \varepsilon_{\text{BRC}} \times \left(\sigma_{\text{pes}}^{\text{reop}}(E_i) \cdot \varepsilon_{\text{pes}}^{\text{mod}}(E_i) + \\ \sigma_{\text{MHT}}^{\text{reop}}(E_i) \cdot \varepsilon_{\text{MHT}}^{\text{mod}}(E_i) + \sigma_{\text{nodn}}^{\text{BMd}}(E_i) \right), \end{split}$$

где $\mathcal{L}(E_i)$ — интегральная светимость, $\sigma^{\text{теор}}$ — теоретические сечения вкладов резонанса, интерференции и рассеяния, $\varepsilon^{\text{мод}}$ — соответствующие эффективности, полученные из моделирования. Эффективность ВПС $\varepsilon_{\text{впс}}$ для канала $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ учитывается отдельно.

А. Сухарев (КЕДР, ИЯФ СО РАН)

Подгонка резонанса

Логарифмическая функция правдоподобия:

$$L = 2\sum_{k} N_{k}^{om} - N_{k}^{Bud} + N_{k}^{Bud} \ln \frac{N_{k}^{Bud}}{N_{k}^{om}},$$

 $N_{k}^{om} = \sigma_{k}^{om} \mathcal{L}(E_{i}),$

 $N^{\text{ож}}$ — ожидаемое число событий, $N^{\text{вид}}$ — наблюдаемое число событий, суммирование идёт по энергетическим точкам, θ -бинам и каналам распада ($e^+e^$ или $\mu^+\mu^-$), светимости $\mathcal{L}(E_i)$ получаются из условия экстремума.



Свободные параметры подгонки: $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu}/\Gamma$, $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee}/\Gamma$ и видимое нерезонансное сечение $e^+e^- \to \mu^+\mu^-$.

7.11.2013 17 / 20

Основные систематические погрешности измерения $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu}/\,\Gamma$

Источник погрешности	Ошибка, %
Измерение эффективности ВПС	3÷7
Условия отбора	2÷5
Измерение энергетического разброса	2
Интерполяция энергетического разброса (для п/п)	2
Измерение полярного угла $ heta$	1.5
Эффективность мюонной системы	1
Моделирование излучения в конечном состоянии	0.5
(PHOTOS)	

Некоторые систематические погрешности отличаются для разных наборов данных.

◆□▶ ◆帰▶ ◆臣▶ ◆臣▶ ─臣 ─ のへで

Результат



Измерения $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu}/\Gamma$. Синим показаны измерения КЕДРа, красным — «среднемировое значение», полученное перемножением $\Gamma_{e^+e^-}$ и $\mathcal{B}_{\mu\mu}$. Суммарный результат КЕДРа показан горизонтальной линией, его ошибки — серыми полосами. Для данных КЕДРа приведены статистическая и полная ошибки.

КЕДР:

 $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma = 19.4 \pm 0.4 \pm 1.1$ эВ (предварительно) «среднемировое значение»: $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma = 18.2 \pm 2.2$ эВ

А. Сухарев (КЕДР, ИЯФ СО РАН)

 $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma \psi(2S)$ -мезона

7.11.2013 19 / 20

- Детектором КЕДР проведено прямое измерение величины $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu}/\Gamma = 19.4 \pm 0.4 \pm 1.1$ эВ для $\psi(2S)$ -мезона (результат предварительный). Точность результата примерно в два раза лучше «среднемировой».
- Ожидается, что в окончательном результате систематическая погрешность будет уменьшена.
- Планируется публикация окончательного результата до конца 2013 года.

・得下 ・ヨト ・ヨト ・ヨ