

Измерение сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$ в области энергии 1.1–1.9 ГэВ

М. Н. Ачиров⁺, А. Ю. Барняков⁺, К. И. Белобородов^{++}, А. В. Бердюгин^{++*}, Д. Е. Беркаев⁺, А. Г. Богданчиков⁺, А. А. Ботов⁺, Д. А. Букин⁺, А. В. Васильев⁺, В. Б. Голубев^{++*}, Т. В. Димова^{++*}, В. П. Дружинин^{++*}, И. М. Землянский⁺, Л. В. Кардапольцев⁺⁺¹⁾, Д. П. Коврижин⁺, И. А. Кооп^{++*}, А. А. Король^{++*}, С. В. Кошуба⁺, К. А. Мартин⁺, А. Е. Образовский⁺, Е. В. Пахтусова⁺, Ю. А. Роговский^{++*}, А. Л. Романов⁺, С. И. Середняков⁺, З. К. Силагадзе^{++*}, К. Ю. Сковпень⁺, А. Н. Скрипинский⁺, И. К. Сурин⁺, Ю. А. Тихонов⁺, Ю. В. Усов⁺, А. Г. Харламов^{++*}, П. Ю. Шатунов⁺, Ю. М. Шатунов⁺, Д. Б. Шварц⁺, Д. А. Штолль⁺*

⁺Институт ядерной физики им. Будкера СО РАН, 630090 Новосибирск, Россия

^{*}Новосибирский государственный университет, 630090 Новосибирск, Россия

Поступила в редакцию 19 октября 2011

В работе измерено сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$ в интервале энергии от 1.1 до 1.9 ГэВ. Измерение проведено в эксперименте со Сферическим нейтральным детектором на e^+e^- -коллайдере ВЭПП-2000. В интервале энергии 1.1–1.4 ГэВ полученные данные хорошо согласуются с предыдущими измерениями СНД и КМД-2. Измерено сечение выше 1.4 ГэВ.

1. Введение. Процесс $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0$ – один из доминирующих процессов e^+e^- -аннигиляции в адроны в области энергии в системе центра масс $2E_b = 1$ –2 ГэВ. Он является ключевым для определения параметров $\rho(1450)$ -мезона [1]. Точное измерение сечения этого процесса требуется для вычисления адронного вклада в аномальный магнитный момент мюона. Кроме того, это измерение позволит проверить соотношение между сечением процесса $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0$ и спектральной функцией распада $\tau \rightarrow \omega\pi\nu_\tau$, которое следует из гипотезы сохранения векторного тока и изотопической симметрии.

В данной работе сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0$ изучается в канале распада ω -мезона на $\pi^0\gamma$. Несмотря на то, что основной модой распада ω -мезона является $\pi^0\pi^+\pi^-$, такой выбор оправдан. В отличие от конечного состояния 4π для состояния $\pi^0\pi^0\gamma$ в изучаемой области энергий промежуточный механизм $\omega\pi^0$ является доминирующим. Это позволяет избежать систематической неопределенности за счет сложной процедуры вычитания фона и учета интерференции между разными механизмами.

Процесс

$$e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma \quad (1)$$

изучался в работах [2, 3] при $2E_b < 1.4$ ГэВ. В данной работе сечение этого процесса измерено до 1.9 ГэВ.

2. Эксперимент. Сферический нейтральный детектор (СНД) является универсальным немагнит-

ным детектором [4], предназначанным для экспериментов на e^+e^- -коллайдере ВЭПП-2000 [5]. Главная его часть – трехслойный электромагнитный калориметр, состоящий из 1630 кристаллов NaI(Tl). Полный телесный угол калориметра составляет 90% от 4π . Энергетическое разрешение калориметра для фотонов $\sigma_E/E = 4.2\%/\sqrt{E(\text{ГэВ})}$, угловое разрешение – около 1.5°. Направление вылета заряженных частиц измеряется трековой системой, состоящей из девятислойной дрейфовой камеры и пропорциональной камеры, расположенных в едином газовом объеме. Полный телесный угол трековой системы 94% от 4π . Анализ, представленный в этой работе, основан на данных, набранных в 2010 г. в области энергии 1.1–1.9 ГэВ. Исследуемая область сканировалась с шагом 100 МэВ.

3. Измерение светимости. Для измерения светимости использовался процесс

$$e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma. \quad (2)$$

Для выделения событий процесса (2) были использованы следующие условия отбора:

- найдено 2 или более фотонов и не найдено ни одной заряженной частицы;
- число сработавших проволочек в дрейфовой камере меньше либо равно 5;
- энергии двух наиболее энергичных фотонов лежат в интервале от $0.6E_b$ до $1.5E_b$;
- азимутальные углы для этих фотонов удовлетворяют условию $|\phi_1 - \phi_2| - 180^\circ | < 11.5^\circ$;
- полярные углы для них удовлетворяют условиям $|\theta_1 + \theta_2 - 180^\circ| < 17.2^\circ$ и $36^\circ < \theta_{1,2} < 144^\circ$.

¹⁾l.Kardapoltsev@gmail.com

5. Результаты. Наблюдаемое сечение $\sigma_{\text{vis}} = N_{\text{sig}}/\text{IL}$ в каждой энергетической точке связано с борновским сечением процесса (1) как

$$\sigma_{\text{vis}}(E_b) = \epsilon(E_b)\sigma_0(E_b)[1 + \delta(E_b)], \quad (4)$$

где IL – интегральная светимость, δ – радиационная поправка, вычисленная согласно [8], ϵ – эффективность регистрации. Для вычисления радиационных поправок данные СНД, полученные в этой работе и в работе [2], аппроксимировались следующей формулой [2]:

$$\sigma_0(\sqrt{s}) = \frac{4\pi\alpha^2}{s^{3/2}} \left(\frac{g_{\rho\omega\pi}}{f_\rho} \right)^2 \times \\ \times \left| \frac{m_\rho^2}{D_\rho} + A_1 \frac{m_{\rho'}^2}{D_{\rho'}} + A_2 \frac{m_{\rho''}^2}{D_{\rho''}} \right|^2 P_f(\sqrt{s}). \quad (5)$$

Здесь $s = 4E_b^2$, α – постоянная тонкой структуры, $g_{\rho\omega\pi}$ – константа связи $\rho \rightarrow \omega\pi$, f_ρ – константа связи $\gamma^* \rightarrow \rho$, вычисленная из ширины распада $\rho \rightarrow e^+e^-$, члены $m_{\rho_i}^2/D_{\rho_i}$ соответствуют вкладам в амплитуду ρ -мезона и его возбуждений, $D_{\rho_i} = m_{\rho_i}^2 - s - i\sqrt{s}\Gamma_{\rho_i}(\sqrt{s})$, где m_{ρ_i} и $\Gamma_{\rho_i}(\sqrt{s})$ – масса и полная ширина резонанса. Следя [1], мы рассматривали только действительные значения параметров A_i , которые равны отношению констант связи для разных состояний ρ -мезона: $A_i = g_{\rho_i\omega\pi}/g_{\rho\omega\pi} \times f_\rho/f_{\rho_i}$. Фактор $P_f(\sqrt{s})$ описывает фазовый объем конечного состояния.

При аппроксимации свободными параметрами были $g_{\rho\omega\pi}$, A_1 , A_2 , $\Gamma_{\rho'}$, $M_{\rho''}$ и $\Gamma_{\rho''}$, а значение массы ρ' -мезона фиксировалось. Для оценки модельной зависимости величины радиационных поправок значение массы ρ' варьировалось. Для масс $M_{\rho'}$ вне интервала 1400–1600 МэВ качество аппроксимации быстро ухудшалось. Внутри этого интервала значение функции χ^2 менялось очень слабо и составляло 31–32 при 26 степенях свободы. В результате аппроксимации значения свободных параметров варьировались внутри следующих интервалов: $g_{\rho\omega\pi} = 15.3$ –16.2, $A_1 = -(0.2$ –0.38), $A_2 = 0.06$ –0.2, $\Gamma_{\rho'} = 430$ –690 МэВ, $M_{\rho''} = 1620$ –1810 МэВ, $\Gamma_{\rho''} = 300$ –500 МэВ. Радиационные поправки для различных энергий и полученные значения борновского сечения приведены в таблице.

Систематическая погрешность измерения сечения включает в себя погрешность определения светимости (2–2.5 %), ошибку эффективности регистрации (3 %), неточность моделирования конверсии фотонов в веществе (1 %), а также неточность вычисления радиационных поправок. Систематическая по-

грешность за счет радиационной поправки составила 1 % для области энергии 1100–1400 МэВ, 1.5 % для 1500–1600 МэВ и 12–30 % для 1700–1900 МэВ. Вероятность конверсии фотонов была изучена по событиям распада $\phi \rightarrow \eta\gamma$.

На рис. 2 приведены сечение изучаемого процесса, полученное в данной работе, и результаты пре-

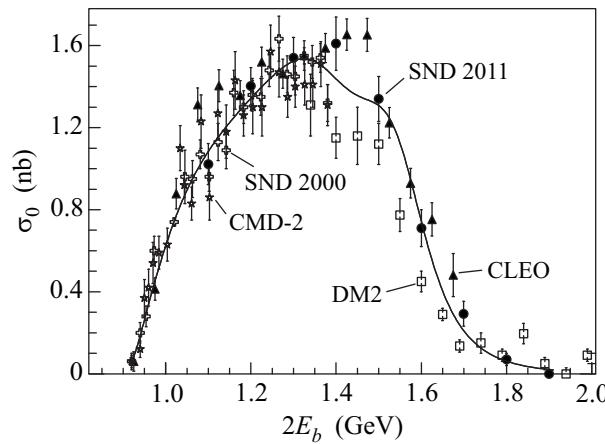


Рис. 2. Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$: результаты СНД 2011 (эта работа), СНД 2000 [2], КМД-2 [3], CLEO [9], DM2 [10]. Кривая – результат совместной аппроксимации данных СНД 2011 и СНД 2000

дыущих измерений на детекторах СНД [2], КМД-2 [3], CLEO [9] и DM2 [10]. Сечение из работы [10], измеренное в канале $\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$, было пересчитано с использованием табличных значений относительных вероятностей распада ω -мезона [11]. Сечение, обозначенное как CLEO, было вычислено по измеренной в эксперименте CLEO [9] спектральной функции распада $\tau \rightarrow \omega\tau\nu_\tau$ в предположении сохранения векторного тока. Предыдущие измерения СНД и КМД-2, а также сечение, вычисленное по данным CLEO, неплохо согласуются с результатами, полученными в данной работе. Наблюдается, однако, значительное различие между нашим результатом и сечением, измеренным на DM2.

На рис. 2 приведен результат аппроксимации сечения для значения $M_{\rho'} = 1450$ МэВ. Видно, что эта модель хорошо описывает экспериментальные данные. При имеющейся статистической точности данных параметры возбужденных состояний определяются из аппроксимации неоднозначно. Для точного определения параметров ρ' и ρ'' требуется большая статистика при энергии выше 1.4 ГэВ.

6. Заключение. В эксперименте с детектором СНД на e^+e^- -коллайдере ВЭПП-2000 было измерено сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$ в области

энергии 1.1–1.9 ГэВ. Результаты данной работы согласуются с результатами предыдущих измерений на СНД и КМД-2. Однако в данной работе сечение измерено в более широком интервале энергии. Экспериментальные данные хорошо описываются в рамках модели векторной доминантности с учетом вкладов ρ -, ρ' - и ρ'' -мезонов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федеральной целевой программы “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009–2013 гг. (ГК # 14.740.11.1167), РФФИ (грант # 11-02-00276-а) и гранта Президента РФ # НШ-6943.2010.2.

1. A. B. Clegg and A. Donnachie, Z. Phys. C **62**, 455 (1994).
2. M. N. Achasov, K. I. Beloborodov, A. V. Berdyugin et al., Phys. Lett. B **486**, 29 (2000).
3. R. R. Akhmetshin, V. M. Aulchenko, V. Sh. Banzarov et al., Phys. Lett. B **562**, 173 (2003).

4. M. N. Achasov, D. E. Berkary, A. G. Bogdanchikov et al., Nucl. Instrum. Meth. A **598**, 31 (2009); V. M. Aulchenko et al., Nucl. Instrum. Meth. A **598**, 102 (2009); A. Yu. Barnyakov et al., Nucl. Instrum. Meth. A **598**, 163 (2009); V. M. Aulchenko et al., Nucl. Instrum. Meth. A **598**, 304 (2009).
5. Yu. M. Shatunov, A. V. Evstigneev, D. I. Ganyushin et al., in *Proceedings of the 7th European Particle Accelerator Conference*, Vienna, 2000, p. 439.
6. F. A. Berends and R. Kleiss, Nucl. Phys. B **186**, 22 (1981).
7. K. S. Cranmer, Comput. Phys. Commun. **136**, 198 (2001).
8. Э. А. Кураев, В. С. Фадин, Ядерная физика **41**, 733 (1985).
9. K. W. Edwards, R. Janicek, P. M. Patel et al., Phys. Rev. D **61**, 072003 (2000); arXiv:hep-ex/9908024.
10. D. Bisello, G. Busetto, A. Castro et al., Nucl. Phys. Proc. Suppl. **21**, 111 (1991).
11. K. Nakamura, K. Hagiwara, K. Hikasa et al., J. Phys. G **37**, 075021 (2010).