

P1-2009-155

Х. У. Абраамян^{1,2,*}, М. И. Базнат³, К. К. Гудима³,
М. А. Кожин¹, М. А. Назаренко⁴, С. Г. Резников¹,
А. Н. Сисакян¹, А. С. Сорин¹, В. Д. Тонеев¹, А. В. Фризен¹

РЕЗОНАНСНАЯ СТРУКТУРА В СПЕКТРЕ
ИНВАРИАНТНЫХ МАСС ПАР γ -КВАНТОВ
В d C- И d Cu-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

Направлено в журнал «Доклады Академии наук»

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

² Ереванский государственный университет, Ереван

³ Институт прикладной физики, Кишинев

⁴ Московский институт радиотехники, электроники и автоматики,
Москва

* E-mail: abraam@sunhe.jinr.ru

Абраамян Х. У. и др.

P1-2009-155

Резонансная структура в спектре инвариантных масс пар γ -квантов в dC - и dCu -взаимодействиях

Вместе с известными π^0 - и η -мезонами в спектре инвариантных масс пар γ -квантов, образуемых во взаимодействиях дейтронов с ядрами углерода и меди при импульсах соответственно 2,75 и 3,83 ГэВ/с на нуклон, обнаружена резонансная структура при $M_{\gamma\gamma} = (360 \pm 7 \pm 9)$ МэВ. Оценки ширины и поперечного сечения рождения нового резонанса составляют: $\Gamma = (63,7 \pm 17,8)$ МэВ и $\sigma(dC \rightarrow R \rightarrow \gamma\gamma) = (98 \pm 24_{-67}^{+93})$ мкб. Данные, полученные в реакции $d + C$, подтверждаются результатами повторного эксперимента, проведенного на пучке дейтронов с импульсом 3,83 ГэВ/с на нуклон, на медной мишени: $M_{\gamma\gamma} = (382 \pm 13)$ МэВ, $\Gamma = (62,0 \pm 37,2)$ МэВ и $\sigma(dCu \rightarrow R \rightarrow \gamma\gamma) = (273 \pm 75_{-96}^{+320})$ мкб.

Работа выполнена в Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2009

Abraamyan Kh. U. et al.

P1-2009-155

Resonance Structure in the $\gamma\gamma$ Invariant Mass Spectrum in dC and dCu Interactions

Along with π^0 and η mesons, a resonance structure in the invariant mass spectrum of two photons at $M_{\gamma\gamma} = (360 \pm 7 \pm 9)$ MeV is observed in dC and dCu interactions at momenta 2.75 and 3.83 GeV/c per nucleon, respectively. Estimates of its width and production cross section are $\Gamma = (63.7 \pm 17.8)$ MeV and $\sigma(dC \rightarrow R \rightarrow \gamma\gamma) = (98 \pm 24_{-67}^{+93})$ μ b. The result obtained in the reaction $d + C$ is confirmed by the second experiment carried out on the deuteron beam at momentum 3.83 GeV/c per nucleon with a copper target: $M_{\gamma\gamma} = (382 \pm 13)$ MeV, $\Gamma = (62.0 \pm 37.2)$ MeV and $\sigma(dCu \rightarrow R \rightarrow \gamma\gamma) = (273 \pm 75_{-96}^{+320})$ μ b.

The investigation has been performed at the Veksler and Baldin Laboratory of High Energy Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2009

Распад легких мезонов на фотоны — важный источник информации, в частности, о природе этих мезонов. В данной работе исследуется резонансная структура с массой $M_{\gamma\gamma} = (360 \pm 7 \pm 9)$ МэВ, обнаруженная в спектре инвариантных масс двух фотонов в реакциях $dC \rightarrow \gamma\gamma X$ и $dCu \rightarrow \gamma\gamma X$ при импульсах соответственно 2,75 и 3,83 ГэВ/с на нуклон. Первое указание было получено в реакции $d + C$ [1]. Исследования показали, что указанная структура отсутствует в реакции $p + C$ при 5,5 ГэВ/с [2]. Моделирование указанных экспериментов, а также независимый wavelet-анализ [2] подтвердили предположение о резонансном характере наблюдаемой структуры. В данной работе также обсуждаются возможные механизмы рождения наблюдаемого резонанса.

Эксперименты проводились на внутренних пучках нуклотрона ОИЯИ [2–4]. Для регистрации фотонов использовался электромагнитный калориметр из свинцового стекла «Фотон-2» [5] (рис. 1). Детекторы в каждом плече были разделены на две группы по 8 модулей в каждой. Сигналы в группе линейно суммировались и поступали на входы дискриминаторов. Пороги дискриминаторов устанавливались на уровне 0,4 ГэВ в реакции $d + C$ и 0,35 ГэВ в реакции $d + Cu$. Запуск установки производился при совпадении сигналов от двух и более групп детекторов в различных плечах.

Для оценки комбинаторного фона использовалось распределение по эффективной массе пар γ -квантов, отобранных случайно из разных событий (так называемый метод перемешивания событий). Для увеличения отношения сигнал/фон в области инвариантных масс более 300 МэВ применялись следующие критерии отбора: 1) число зарегистрированных фотонов, $N_\gamma = 2$ и $N_\gamma \leq 3$; 2) энергия каждого фотона, $E_\gamma \geq 100$ МэВ; 3) суммарная энергия в реальном событии и при перемешивании, $E_{\text{сум}} \leq 1,5$ ГэВ (в реакции $d + C$) и $E_{\text{сум}} \leq 1,7$ ГэВ (в реакции $d + Cu$).

Распределения по инвариантной массе пар γ -квантов, удовлетворяющих критериям 1)–3), до и после вычитания фона показаны на рис. 2. Видно, что данные по реакции $d + Cu$, полученные при большем значении импульса снаряда (3,83 ГэВ/с на нуклон) и при более низких порогах дискриминаторов, хорошо согласуются с данными по реакции $d + C$ при импульсе 2,75 ГэВ/с на нуклон.

Для выяснения природы обнаруженного пика были исследованы:

а) зависимость его положения и ширины от угла разлета фотонов и их энергий: ширина пика и его положение остаются практически неизменными,

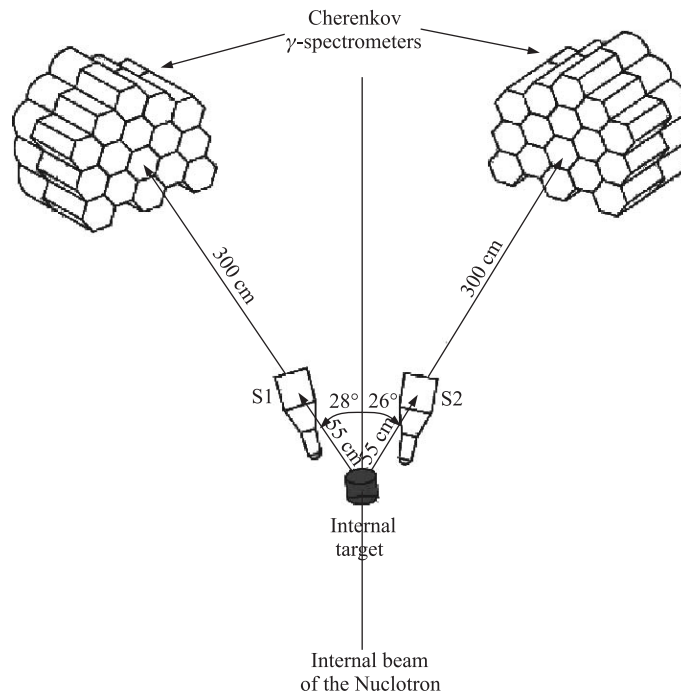


Рис. 1. Экспериментальная установка. S1, S2 — сцинтилляционные счетчики

б) распределение пар $\gamma\gamma$ по углу разлета $\Theta_{\gamma\gamma}$ в различных интервалах суммы энергий фотонов,

в) влияние систематических ошибок при оценке фона перемешиванием.

Также был сделан анализ данных wavelet-методом [2] и проведено сравнение с данными моделирования.

Для моделирования реакций $d + C$ и $d + Cu$ мы использовали транспортный код на основе развитой ранее дубненской каскадной модели (ДКМ) [6] с улучшенным описанием элементарных столкновений [7], с учетом условий эксперимента. Были смоделированы различные каналы рождения γ -квантов: прямые распады на два γ -кванта π^0 -, η -, η' -адронов; $\omega \rightarrow \pi^0\gamma$; $\Delta \rightarrow N\gamma$; распады Далица $\eta \rightarrow \pi\pi\gamma$, $\eta \rightarrow \gamma\gamma e$ и $\pi \rightarrow \gamma e e$; распады $\eta' \rightarrow \rho\gamma$, $\Sigma \rightarrow \Lambda\gamma$; πN - и NN -тормозное излучение. Кроме того, был рассмотрен распад $\eta \rightarrow 3\pi^0$ с учетом образования σ -мезона ($\eta \rightarrow \sigma + \pi^0 \rightarrow 3\pi^0 \rightarrow 6\gamma$ [8]) и без него ($\eta \rightarrow 3\pi^0 \rightarrow 6\gamma$), а также дибарионный механизм эмиссии фотонов в двухшаговой реакции $NN \rightarrow d^*\gamma \rightarrow NN\gamma\gamma$ [9]. Но ни один из этих механизмов не описывает наблюдаемую структуру. Поэтому был включен дополнительный канал образования двух γ -квантов посредством взаимодействия пионов с

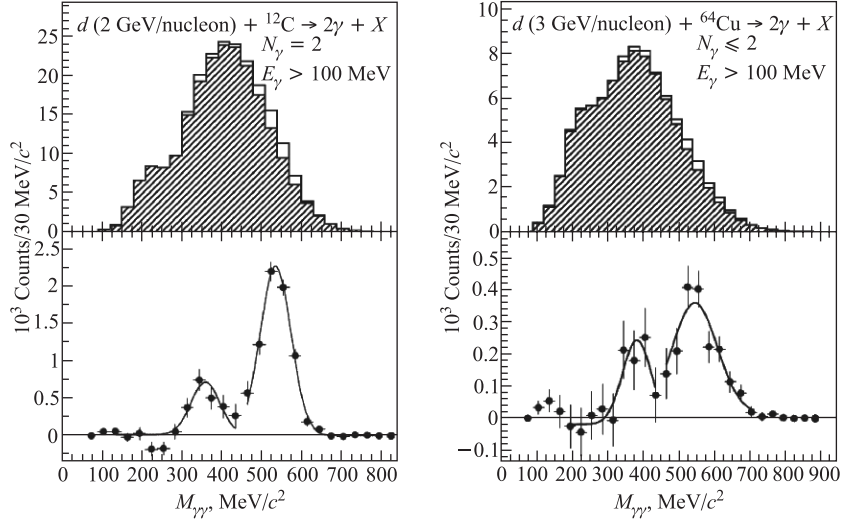


Рис. 2. Распределения по инвариантной массе пар γ -квантов в реакциях $dC \rightarrow \gamma\gamma X$ и $dCu \rightarrow \gamma\gamma X$ до (верхние рисунки) и после (нижние рисунки) вычитания фона. Кривые на рисунках — результаты аппроксимации функцией Гаусса, включающей свободные параметры y_0 , N_0 , σ и M_0 : $dN/dM = y_0 + (N_0/(\sqrt{2\pi}\sigma)) \exp(-(M - M_0)^2/(2\sigma^2))$

образованием наблюдаемой структуры (мы назвали ее R -резонансом). Предполагалось, что R -резонанс может рождаться в $\pi\pi$ -взаимодействии, если инвариантная масса двух пионов удовлетворяет распределению Брейта-Вигнера с наблюдаемыми параметрами, а образующийся резонанс с вероятностью 1 распадается на два γ -кванта. Значительная часть $\gamma\gamma$ -пар в этом случае проходит отбор, но объясняется только около 30 % выхода резонанса.

Одним из возможных механизмов образования наблюдаемого резонанса может быть модель одетого сигма-полем промежуточного дибариона [10]. Появление резонанса при $M_{\gamma\gamma} \sim 360$ МэВ в dC -соударениях может быть объяснено примесью шестикварковой компоненты в дейтроне: высокая плотность кварков в симметричном $6q$ -состоянии увеличивает флуктуации мезонного поля вокруг многокваркового мешка и, таким образом, частично восстанавливает киральную симметрию. Вследствие этого масса σ -мезона уменьшается и может достичь величины ~ 350 – 380 МэВ, но оценки вероятности этого процесса отсутствуют.

Таким образом, при статистике 2339 ± 340 событий от полного числа dC -взаимодействий около 10^{12} при импульсе 2,75 ГэВ/с на нуклон в спектре инвариантных масс двух фотонов обнаружен резонансоподобный пик с массой $M_{\gamma\gamma} = (360 \pm 7 \pm 9)$ МэВ. Эти данные подтверждаются результатами повтор-

ного эксперимента, проведенного на пучке дейтронов с импульсом 3,83 ГэВ/с на нуклон при более низких порогах дискриминаторов. Предварительные оценки сечения рождения: $\sigma(dC \rightarrow R \rightarrow \gamma\gamma) = (98 \pm 24_{-67}^{+93})$ мкб при импульсе дейтронов 2,75 ГэВ/с на нуклон и $\sigma(dCu \rightarrow R \rightarrow \gamma\gamma) = (273 \pm 75_{-96}^{+320})$ мкб при импульсе 3,83 ГэВ/с на нуклон. Экспериментальные значения ширины резонанса составляют: $\Gamma = (63,7 \pm 17,8)$ МэВ в реакции $d + C$ и $\Gamma = (62,0 \pm 37,2)$ МэВ в реакции $d + Cu$. Для выяснения природы наблюдаемого резонанса и более точного определения его параметров нужны новые эксперименты, которые планируются нами на ускорительном комплексе Лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ, а также теоретические исследования, в том числе вычисления в рамках указанных выше дибарионных механизмов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 08-02-01003-а.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Abraamyan Kh. U., Sissakian A. N., Sorin A. S.* arXiv: nucl-ex/0607027.
2. *Abraamyan Kh. U. et al.* arXiv: 0806.2790; Phys. Rev. C. 2009. V. 80. P. 034001.
3. *Abraamyan Kh. U. et al.* // Phys. Lett. B. 1994. V. 323. P. 1.
4. *Абраамян Х.У. и др.* // Ядерная физика. 1996. Т. 59. С. 271; 1997. Т. 60. С. 2014; 2005. Т. 68. С. 1020.
5. *Абраамян Х.У.* // Приборы и техника эксперимента. 1989. Т. 1. С. 57; 1996. Т. 6. С. 5.
6. *Gudima K. K., Toneev V. D.* // Nucl. Phys. A. 1983. V. 400. P. 173.
7. *Gudima K. K., Mashnik S. G., Sierk A. J.* LANLReport LA-UR-01-6804, Los Alamos, 2001.
8. *Brown L. M., Singer P.* // Phys. Rev. Lett. 1962. V. 8. P. 460.
9. *Khrykin A. S., Boreiko V. F., Budyashov Yu. G. et al.* // Phys. Rev. C. 2001. V. 64. P. 034002; Nucl. Phys. A. 2003. V. 721. P. 625.
10. *Kukulin V. I., Obukhovskiy I. T., Pomerantsev V. N., Faessler A.* // Int. J. Mod. Phys. E. 2002. V. 11. P. 1;
Kukulin V. I., Shikhalev M. A. // Phys. At. Nucl. 2004. V. 67. P. 1536;
Faessler A., Kukulin V. I., Shikhalev M. A. // Ann. Phys. 2005. V. 320. P. 71.

Получено 22 октября 2009 г.

Редактор *А. И. Петровская*

Подписано в печать 20.11.2009.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,43. Уч.-изд. л. 0,5. Тираж 390 экз. Заказ № 56781.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/