

УДК 539.172.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ СВЕРХУЗКИХ ДИБАРИОНОВ В pd -ВЗАИМОДЕЙСТВИИ

В. Л. Кашеваров, Е. С. Конобеевский, М. В. Мордовской,
С. И. Поташев, В. М. Скоркин, Л. В. Фильков

Проводилось изучение реакций $p + d \rightarrow p + p(n\gamma)$ и $p + d \rightarrow p + d(\gamma)$ при энергии 350 МэВ с целью поиска сверхузких дибарионов. Эксперименты выполнены с помощью спектрометра TAMS на Московской мезонной фабрике, который регистрировал две заряженные частицы под различными углами вылета. В спектрах недостающей массы найдены узкие структуры при 1905 и 1924 МэВ. Полученные экспериментальные данные сравниваются с теоретическими предсказаниями. Обсуждаются возможные квантовые числа найденных состояний.

В последнее время появился ряд работ по поиску узких дибарионных резонансов при взаимодействии нуклонов с малонуклонными системами при промежуточных энергиях [1]. Положительная идентификация таких многокварковых объектов позволит открыть новую уникальную форму адронной материи, а исследование их свойств поможет получить важные ограничения на модели КХД. Исследование неупругого pd -взаимодействия дает еще одну возможность поиска таких состояний. Рассматривая эту реакцию как двухступенчатый процесс, его первую стадию можно представить как двухчастичную реакцию $p + d \rightarrow p + D$. Спектр энергий протона-спектатора отражает спектр масс промежуточной D -системы (например, два нуклона, дибарион, дейтрон и т.п.), которая затем распадается по каналам pn , $pn\gamma$ или $d\gamma$. Как было показано в [2], если энергия развала такой системы меньше ее кинетической, то конус вылета продуктов ее распада в лабораторной системе будет ограничен. Размеры этого конуса зависят от отношения этих энергий и могут быть достаточно малы при некоторых условиях. Поэтому более эффективно искать квазисвязанные состояния D -системы (дибарионы), регистрируя продукты их распада в совпадении с протоном-спектатором при заданных углах.

Далее будет показано, что квантовые числа таких состояний также могут существенно влиять на размеры конуса вылета. Таким образом, применение методики совпадений позволило бы определить квантовые числа и каналы распада дибарионов, если они существуют.

В работе [3] нами были выполнены измерения спектров недостающей массы в реакциях $pd \rightarrow pX \rightarrow pd(\gamma)$ и $pd \rightarrow pX \rightarrow pp(n\gamma)$ с помощью двухплечевого спектрометра при энергии протонов 305 МэВ. В этих измерениях обнаружена узкая структура с массой 1905 ± 3 МэВ и шириной, равной аппаратному разрешению (7 МэВ).

В настоящей работе приводятся новые результаты исследования вышеупомянутых реакций на усовершенствованной установке. Эксперименты проводились на пучке протонов Московской мезонной фабрики с энергией 305 МэВ. Пучок попеременно бомбардировал мишени CD_2 и ^{12}C толщинами соответственно 0.14 и 0.18 г/см². Вклады pd -взаимодействия извлекались методом вычитания данных, полученных на углероде, из данных на CD_2 . Вторичный протон-спектатор регистрировался под углами $\theta_n = 72.5^\circ$ и 70° в совпадении со второй заряженной частицей (p или d) с помощью двухплечевого спектрометра TAMS.

Левое подвижное плечо спектрометра (телескоп ΔE - ΔE - E) использовалось для измерения энергии и времени пролета протона-спектатора. Правое неподвижное плечо регистрировало протон или дейтрон от распада ожидаемого дибариона. Оно состояло из трех телескопов, расположенных под углами $\theta_n = 33, 35$ и 37° , соответствующими выбранным диапазонам масс вылетающих дибарионов. Каждый телескоп включал в себя детектор полного поглощения и два тонких пластмассовых сцинтиллятора для измерений времени пролета. Триггер вырабатывался при совпадении сигналов от ΔE -детекторов левого плеча и таких же сигналов от любого телескопа правого плеча. Отобранные в совпадении E -сигналы протона спектатора формируют его энергетический спектр и, соответственно, спектр недостающей массы. Спектрометр калибровался по пику упругого pd -рассеяния [4].

Полученные нами спектры недостающей массы для дейтерированного полиэтилена и углерода приведены на рис. 1. Отдельные спектры соответствуют различным комбинациям углов протона спектатора и второй заряженной частицы. Как видно из рисунка, резонансное поведение спектров, наблюдаемое для мишени CD_2 в двух областях масс, не проявляется в соответствующих спектрах для углеродной мишени.

Пик в области массы 1905 МэВ, показанный на рис. 16 содержит 58 ± 8 событий. Его статистическая значимость составляет 4.5 стандартной ошибки. Следы этой резонанс-

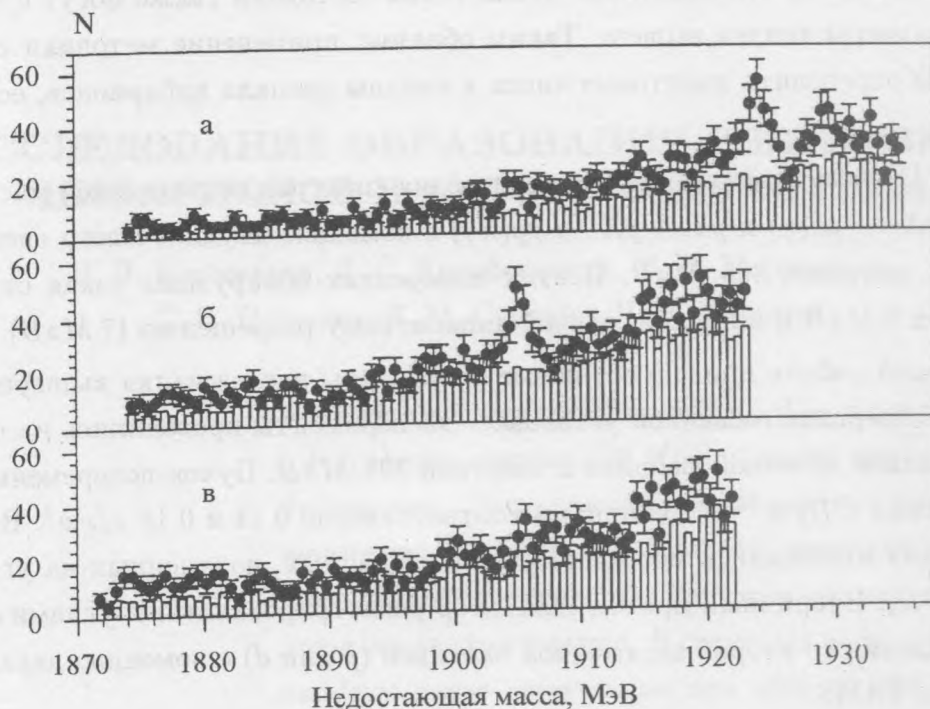


Рис. 1. Спектры недостающей массы а) из измерений для угла левого плеча $\theta_L = 70^\circ$ и угла правого плеча $\theta_R = 33^\circ$, б) из измерений для угла левого плеча 70° и угла правого плеча 35° , объединенные с измерениями для 72.5° (левое) и 33° (правое плечо), с) из измерений для 70° (левое) и 37° (правое плечо), объединенные с измерениями для 72.5° (левое) и 35° (правое плечо). Точками со статистическими ошибками изображены экспериментальные данные, полученные на мишени из дейтерированного полиэтилена, гистограммы – данные, полученные на углеводе.

ной структуры имеются также и на рисунках 1а и 1в, хотя и с меньшей статистикой (соответственно 19 ± 19 и 15 ± 15 событий). В распределении на рис. 1а обнаружен другой пик с массой 1924 ± 2 МэВ, содержащий 79 ± 9 событий. Статистическая значимость этой структуры составляет 4.7 стандартной ошибки. Ширины обоих пиков соответствуют экспериментальному разрешению (≈ 3 МэВ), а сечения образования этих состояний зависят от углового распределения продуктов распада дибариона и, по-видимому, составляют более 0.3 мкб/ср.

Как видно из приведенных данных, резонансное поведение сечений в зависимости от недостающей массы проявляется в ограниченной области коррелированных углов. Как будет показано, это может быть связано с конусом вылета частиц от распада, величина

которого зависит от квантовых чисел резонансного состояния (дибариона).

В ряде работ указывается на возможность рождения узких дибарионов, распадающихся на два нуклона (см., напр., [1]). В диапазоне масс дибарионов $1870 < M < 1960$ МэВ и для условий нашего эксперимента размер углового конуса вылета нуклонов составляет от 50° до 60° . При этом угловое распределение этих нуклонов изменяется слабо. Таким образом, даже если предположить, что сечение образования такого дибариона равно сечению упругого pd -рассеяния (≈ 40 мкб/ср), вклады во все спектры на рис. 1а – 1в будут примерно одинаковы и не превысят 1 события. Следовательно, найденные пики трудно объяснить образованием и распадом таких состояний.

Авторы работ [6 – 9] рассматривали сверхузкие дибарионы, распад которых на два нуклона подавлен принципом Паули. Эти состояния удовлетворяют условию $(-1)^{T+S}P = +1$, где T – изоспин, S – внутренний спин и P – четность дибариона. Такие состояния с массами $M < 2m_N + m_\pi$ (m_N и m_π – массы нуклона и пиона) могут распадаться, главным образом, с испусканием фотона.

В работе [7] было показано, что распад этих дибарионов в γNN -канал должен характеризоваться узким пиком в распределении вероятности от энергии испускаемого γ -кванта вблизи ее максимума. Это приводит к ограничению углов вылета нуклонов. С другой стороны, при распаде такого дибариона в γd -канал углы дейтрона также ограничены следующим условием: $\sin\theta_d \leq Mp_d^*/(m_d p_D)$, где M и p_D – масса и импульс резонанса (в лабораторной системе), m_d и p_d^* – масса и импульс дейтрона (в системе центра масс).

Применяя расчеты по методу Монте-Карло, мы оценили вклады сверхузких дибарионов в спектры масс. Сечения образования этих состояний и вероятности их распада по различным каналам взяты из [3]. Вклады в спектры (в числе импульсов в пике) для различных углов левого и правого плеч нашей установки приведены в табл. 1.

Данные расчета показали, что для некоторых дибарионных состояний угловой конус испускаемых частиц может быть достаточно узким. Ось этого конуса совпадает с направлением вылета дибариона. Поэтому, поместив правое плечо при углах вылета ожидаемых дибарионов, мы существенно увеличиваем отношение сигнал/фон.

На рис. 2 изображены центральные области экспериментальных спектров после вычитания вкладов углерода. Эти спектры сравниваются с предсказанными вкладами в сечение рассматриваемых реакций. Как можно видеть из рис. 2а – 2в, отношение расчетных вкладов составляет 0.3:1:0.7, если состояние при 1905 МэВ рассматривать как изовекторный дибарион. Это находится в согласии с экспериментальными данными в

пределах ошибок. Напротив, сигналы от изоскалярного дибариона должны наблюдаться на рис. 2б, 2в с одинаковой вероятностью. Пик при 1924 МэВ был получен нами только в одном спектре вблизи верхнего предела исследуемого диапазона масс. В других случаях эта величина массы находится вне диапазонов измерения. Поэтому мы не анализируем угловую зависимость данного резонанса.

Т а б л и ц а 1

Расчетные вклады в спектры от сверхузких дибарионов

θ_n	70°					72,5°				
θ_n	31	33	35	37	39	31	33	35	37	39
T, J^P Распад	Масса дибариона 1905 ± 2 МэВ									
$0, 0^+ \gamma pn$	3	2	3	2	2	3	3	3	2	1
$0, 0^+ \gamma d$	0	11	5	10	0	1	7	10	0	0
$0, 0^- \gamma pn$	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
$0, 0^- \gamma d$	0	6	3	5	0	1	4	5	0	0
$1, 1^+ \gamma pn$	5	16	24	15	4	14	29	24	7	2
$1, 1^- \gamma pn$	9	36	53	33	8	31	64	52	15	4
T, J^P Распад	Масса дибариона 1924 ± 2 МэВ									
$0, 0^+ \gamma pn$	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1
$0, 0^+ \gamma d$	2	2	2	0	0	3	2	3	0	0
$0, 0^- \gamma pn$	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
$0, 0^- \gamma d$	1	1	1	0	0	1	1	2	0	0
$1, 1^+ \gamma pn$	10	10	10	5	1	13	12	8	3	1
$1, 1^- \gamma pn$	22	23	21	10	3	28	27	17	5	1

Следует упомянуть, что вклады от дибарионов с одинаковыми квантовыми числами должны падать с ростом массы. Однако измеренный вклад от дибариона с массой 1924 МэВ больше, чем вклад от резонанса с массой 1905 МэВ. Это возможно лишь в том случае, если квантовые числа наблюдаемых состояний различны. Например, в соответствии с табл. 1 наблюдаемые состояния могли бы быть дибарионами $D(T = 1, J^P = 1^+, S = 1)$ и $D(1, 1^-, 0)$ с массами соответственно 1905 и 1924 МэВ.

В заключение можно сделать следующие выводы: 1) в результате исследования реакций $pd \rightarrow pd(\gamma)$ и $pd \rightarrow pp(\gamma n)$ в спектрах недостающих масс обнаружены две узкие структуры при 1905 и 1924 МэВ с ширинами менее 3 МэВ; 2) анализ угловой зависимости экспериментальных и теоретических выходов реакций показал, что найденные пики

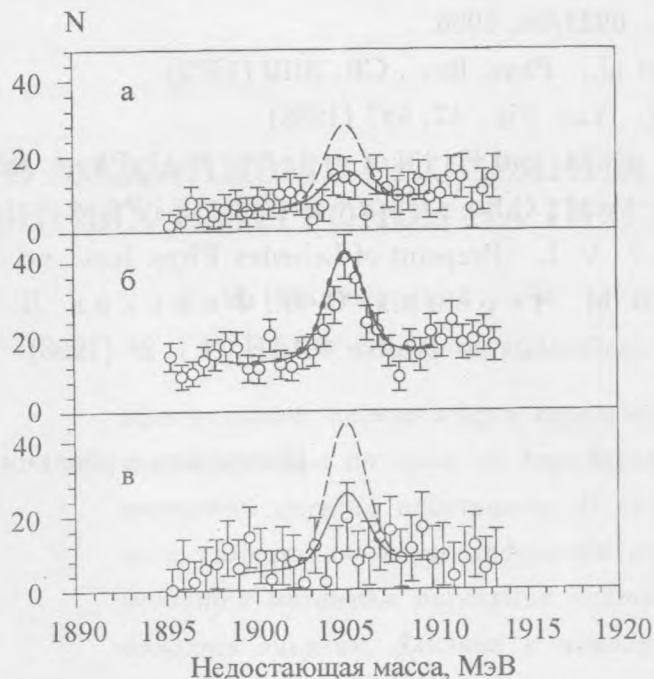


Рис. 2. Центральные области разностных спектров недостающей массы. Рисунки, помеченные буквами а, б, в, соответствуют тем же экспериментальным условиям, как и на рис. 1. Кружки со статистическими ошибками соответствуют экспериментальным данным; кривые, нормированные на максимальное экспериментальное значение для рисунка 2б – результаты расчетов. Сплошные кривые соответствуют расчетам для дибарионов с изоспином 1, пунктирные – с изоспином 0 (для рис. 2б кривые совпадают).

могут интерпретироваться как сверхузкие дибарионы, распад которых на два нуклона подавлен из принципа Паули; 3) наиболее вероятно, что найденные состояния имеют изоспин 1.

Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, проект N 96-02-16530-а.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Комаров Е. Н. Proc. of XI Intern. Seminar on High Energy Physics Problems, Dubna, p. 321, 1994.
 [2] Робсон Д. Nucl. Phys., **A204**, 523 (1974).

- [3] Fil'kov L. V., Konobeevskii E. S., Mordovskoy M. V., et al., Preprint INR, no. 0923/96, 1996.
- [4] Alder J. C. et al., Phys. Rev., **C6**, 2010 (1972).
- [5] Fil'kov L. V. Yad. Fiz., **47**, 687 (1988).
- [6] Akhmedov D. M. and Fil'kov L. V. Nucl. Phys., **A544**, 692 (1992).
- [7] Alekseyev V. M., Cherepnya S. N., Fil'kov L. V., and Kashaevarov V. L. Preprint of Lebedev Phys. Inst., no. 55 (1996).
- [8] Алексеев В. М., Черепня С. Н., Фильков Л. В., Кашеваров В. Л. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 1, 28 (1998).

Поступила в редакцию 8 сентября 1998 г.