

УДК 539.126.4

О ВОЗМОЖНОЙ ПОСТАНОВКЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ПОИСКУ ДИБАРИОННЫХ СОСТОЯНИЙ

*В.В.Глаголев, Ю.Главачова¹, Н.Б.Ладыгина, Г.Мартинска²,
М.С.Ниорадзе³, А.К.Качарава³, Б.Пастирчак⁴, Т.Семярчук⁵,
М.С.Хвастунов, Й.Урбан²*

На основе анализа дейтрон-протонных взаимодействий в 100 см водородной пузырьковой камере ЛВЭ ОИЯИ выработан вариант постановки эксперимента по наблюдению дибарионных особенностей в эффективных массах двух протонов. Специальный выбор геометрии позволяет избавиться от большого фона квазиупругих столкновений. Сделаны оценки фона и скорости набора полезных событий.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

About a Possible Experiment on the Research of Dibaryon States

V. V. Glagolev et al.

The version of the experimental arrangement is proposed for the search of the dibaryon states in effective mass distribution of two protons. It was done on the ground of analysis of deuteron-proton interactions on the 100 cm hydrogen bubble chamber of the Laboratory of High Energies, JINR. The special geometry of experiment permits one to exclude a big background of the quasi-elastic scattering. The background and necessary yield for experiment have been estimated.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

1. Введение

Несмотря на большое число экспериментов, в которых проявлялись особенности в поведении двухбарионных систем, факт наблюдения дибарионных резонансов пока не является общепризнанным. Мы не преследуем цели дать полный перечень про-

¹Технический университет, Кошице, Словакия.

²Университет им. П.Й.Шафарика, Кошице, Словакия.

³Институт физики высоких энергий Тбилисского государственного университета, Грузия.

⁴Институт экспериментальной физики Словацкой академии наук, Кошице, Словакия.

⁵Институт ядерных исследований, Варшава.

водившихся исследований, т.к. существуют достаточно полные обзоры Б.Татишева [1], Ю.А.Трояна [2], других авторов. Большая часть экспериментов с наблюдением узких (экспериментальная ширина от 1 до 20 МэВ/с²) особенностей была проведена в области промежуточных энергий. В частности, наблюдались особенности:

— в спектрах эффективных масс двух нуклонов в реакциях $dp \rightarrow (pp)n$ [3,4], $dp \rightarrow (pn)p$ [5], $np \rightarrow ppp^-$ [6], ${}^4\text{He}p \rightarrow dppn$ [7], $\gamma d \rightarrow ppp^-$ [8] и других;

— в спектрах недостающих масс в реакциях $dp \rightarrow p\pi^+(nn)$ [5], ${}^3\text{He}p \rightarrow dX$ [9];

— в поведении тензорной анализирующей способности в реакции ${}^1\text{H}(d, pp)X$ [10].

В упомянутых исследованиях преобладала методика пузырьковых камер, чаще — водородных (ОИЯИ, ЛИЯФ, КЕК), характеризуемая хорошими точностными характеристиками и позволяющая выделить отдельные реакции. Серьезный недостаток этой методики — большая трудоемкость обработки и ограниченные возможности по набору экспериментального материала. Отдельные эксперименты, выполненные электронной методикой, ставились не всегда адекватно задаче поиска дибарионов.

Сама же задача интересна и актуальна. Это видно хотя бы по серьезному отношению теоретиков, применявших и развивавших различные модели для объяснения феномена дибарионов. Обзор значительной части этих моделей сделан, например, в работе [11]. Наиболее близкими к наблюдаемому спектру масс дибарионов оказываются модели, рассматривающие возбуждения шестикварковых систем и квазядерные системы ($\Delta N, \Delta \Delta$). Появляются и нетрадиционные подходы [12,13].

Из сказанного следует вывод о том, что необходим систематический и целенаправленный поиск дибарионов (особенно узких) в экспериментах с большой статистикой и хорошим разрешением по массе.

2. Физические основания постановки эксперимента

Мы продемонстрируем одну из возможностей постановки эксперимента по исследованию спектра масс двух протонов в dp -взаимодействиях на ускорительном комплексе ОИЯИ. В своих оценках будем основываться на массиве около 200 тысяч обработанных дейтрон-протонных взаимодействий, полученных в условиях 4π -геометрии на 100 см водородной пузырьковой камере.

В первую очередь рассмотрим реакцию $dp \rightarrow ppp$. Другие реакции будут привлечены при оценках фона. В большинстве известных экспериментов исследовалась область эффективных масс двух нуклонов в диапазоне от 1,88 ГэВ/с² (сумма масс двух нуклонов) до 2,20 ГэВ/с². Мы будем придерживаться этого же диапазона. Эта область характерна тем, что включает в себя пороги рождения π -мезона и образования Δ -изобары ($2m_p + m_\pi \cong 2,02$ ГэВ/с² и $m_p + m_\Delta \cong 2,12$ ГэВ/с²). Если предположить, что процессы с образованием шестикварковых систем идут на фоне виртуальных возбуждений дубарионных систем ($\Delta n, \Delta \Delta$), то рационально работать при энергиях, соответствующих максимальному выходу изобар, т.е. в области импульсов дейтрона 3 + 4 ГэВ/с. В нашем случае, при $p_d = 3,34$ ГэВ/с, для квазинуклон-нуклонного столкновения $\sqrt{s} = 2,31$ ГэВ, что несколько выше порога рождения Δ -изобары, но поперечное сечение ее образования в этой области достигает максимума [14].

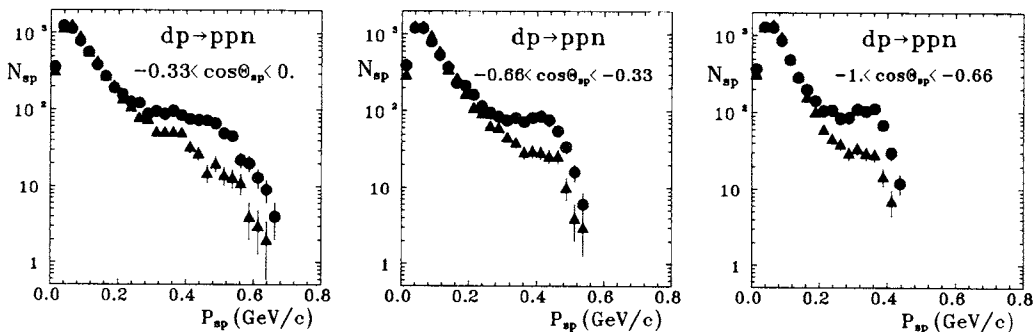


Рис.1. Импульсные спектры протонов (o)- и нейтронов (Δ)-спектаторов

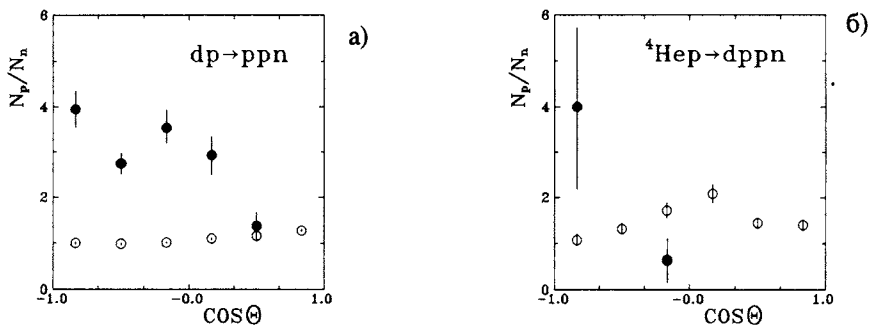


Рис.2. Зависимость отношения выходов протонов и нейтронов от угла вылета для реакций $dp \rightarrow ppn$ и ${}^4\text{He} \rightarrow dppn$ для $x > 0,5$ (●) и $x < 0,5$ (○)

В реакции $dp \rightarrow ppn$ при $p_d = 3,34$ ГэВ/с эффекты, связанные с возбуждением виртуальной изобары, достаточно сильны [15]. Это можно видеть из сравнения спектров протонов и нейтронов, вылетающих в заднюю полусферу в системе покоя дейтрона (рис.1). Количественные оценки, сделанные на основе изотопических соотношений [16], показали, что в случае, если все события рассматриваемой реакции идут через возбуждение виртуальной Δ -изобары, отношение выхода протонов и нейтронов должно быть равно пяти. Тенденция такого поведения видна из рис.2а [17] для больших значений $x = T_{msx}/T$, где T — кинетическая энергия. На рис.2б приведены данные для отношения числа протонов и нейтронов в реакции ${}^4\text{He} \rightarrow d_s p p n$ с дейтроном-спектатором [18]. Намечается аналогичное поведение этого отношения. Заметим, что в указанной реакции также наблюдались особенности в распределении по эффективным массам двух протонов. Реакция ${}^4\text{He} \rightarrow d_s p p n$ сама выполняет роль фильтра, отбирающего «трехнуклонные» взаимодействия.

В реакции же $dp \rightarrow ppn$ подавляющим механизмом являются квазиупругое рассеяние и взаимодействие в конечном состоянии без изобарного возбуждения (треугольная

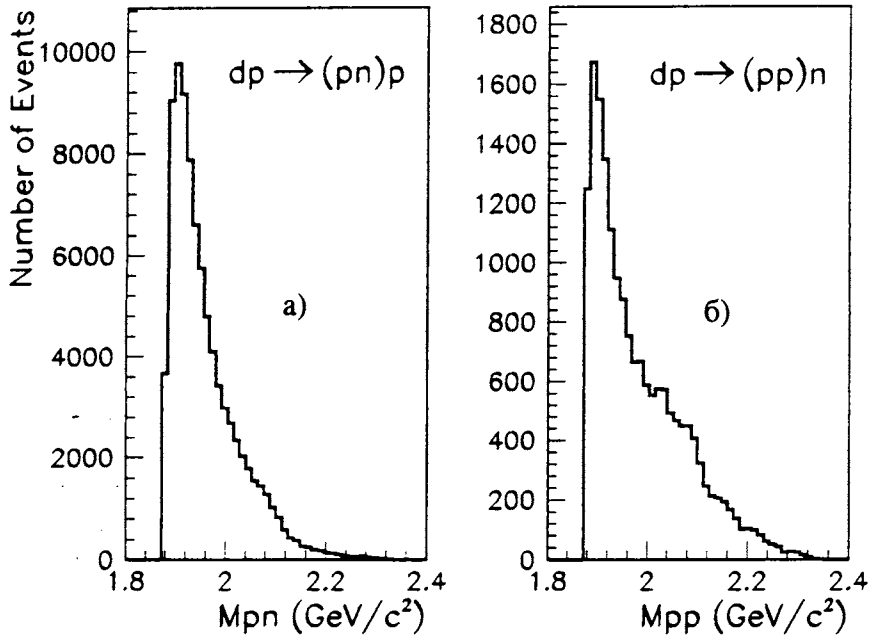


Рис.3. Распределения по эффективной массе протона и нейтрона (M_{pn}) в канале прямого развала дейтрона (а) и двух протонов (M_{pp}) в канале с перезарядкой (б)

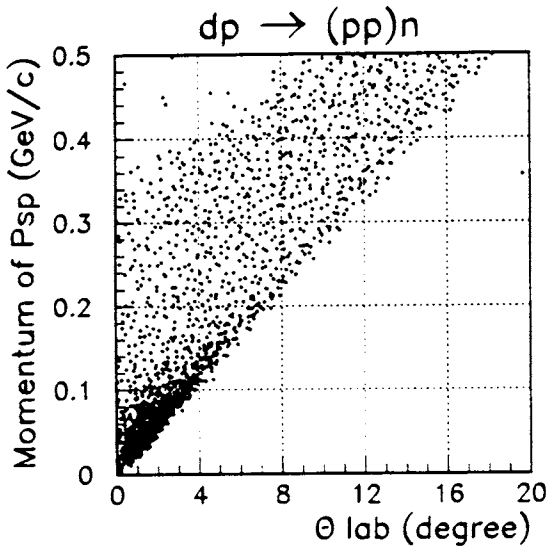


Рис.4. Зависимость импульсов протонов-спектаторов в системе покоя дейтрона от угла их вылета в лабораторной системе координат

диаграмма) [19]. Эти процессы сопровождаются обычно вылетом spectatorных нуклонов со спектром импульсов, хорошо описываемым большинством волновых функций дейтрона, без заметной высокоимпульсной части. Экспериментальные распределения (кроме нуклона отдачи в лабораторной системе координат) из таких событий имеют гладкий характер, без заметных особенностей. Эти распределения показаны на рис.3 отдельно для pn -комбинаций из канала прямого развала дейтрона $dp \rightarrow (pn)p$ (3а) и для pp -комбинаций развала с перезарядкой $dp \rightarrow (pp)n$ (3б). Под перезарядкой подразумеваются события, в которых нейтрон является лидирующей частицей в системе покоя дейтрона. Видно, что

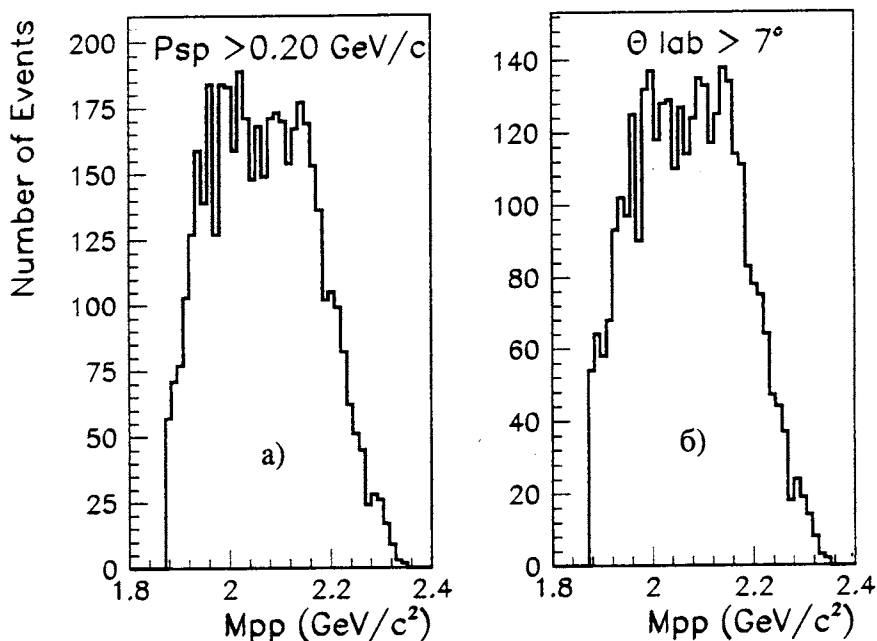


Рис.5. Спектры эффективных масс двух протонов из реакции $dp \rightarrow (pp)n$ при условиях: а) события с импульсом спектатора выше $0,20$ ГэВ/с; б) события с углом вылета каждого из протонов $\Theta > 7^\circ$

область больших M_{pp} (рис.3б) существенно обогащена событиями. Чтобы подавить фон от квазиупругих событий во многих экспериментах, например в [7], использовалось обрезание по импульсу спектатора. Для построения спектров M_{pp} брались только те события, в которых импульс протона-спектатора, т.е. самого медленного из нуклонов в системе покоя дейтрона, был больше некоторой величины, которая варьировалась в различных экспериментах в диапазоне $0,20 + 0,35$ ГэВ/с. Это возможно сделать при эксклюзивной постановке опыта, когда выделяется реакция. На рис.4 представлено двумерное распределение зависимости импульса протона-спектатора в системе покоя дейтрона от угла его вылета в лабораторной системе координат для событий реакции $dp \rightarrow (pp)n$. Сгущение событий при малых p_s вблизи кинематической границы соответствует квазиупругому рассеянию. Выбирая события с $p_s > 0,20$ ГэВ/с, мы отбираем события более сложного типа. Это события с виртуальным возбуждением изобары, с потерей индивидуальности отдельных нуклонов ($6q$ -мешки) и т.д. Результаты такого отбора показаны на рис.5а, где проявляется структура спектров M_{pp} , соответствующая наблюдаемым дибарионным особенностям. Вопрос заключается в том, как сделать аналогичный отбор в лабораторной системе координат, не выделяя конкретной реакции.

3. Постановка эксперимента

Из рис.4 видно, что благодаря сильной корреляции между p_s и $\Theta_{\text{ЛАВ}}$ и наличию четкой конематической границы (кстати, она остается той же не только для спектров, но и для всех частиц) можно попытаться сделать обрезание по углу в лабораторной системе координат. В нашем случае импульсу $p_s = 0,20$ ГэВ/с соответствует угол $\Theta = 7^\circ$. Теперь, если отберем только те события, в которых нет протонов, вылетающих под меньшим углом, получим M_{pp} -распределение, приведенное на рис.5б. Видно, что

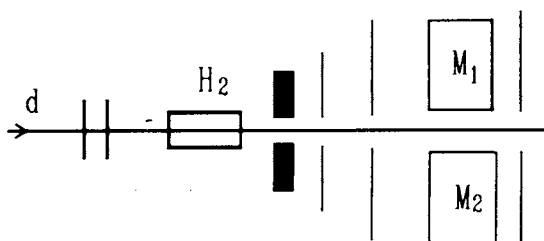


Рис.6. Схема эксперимента

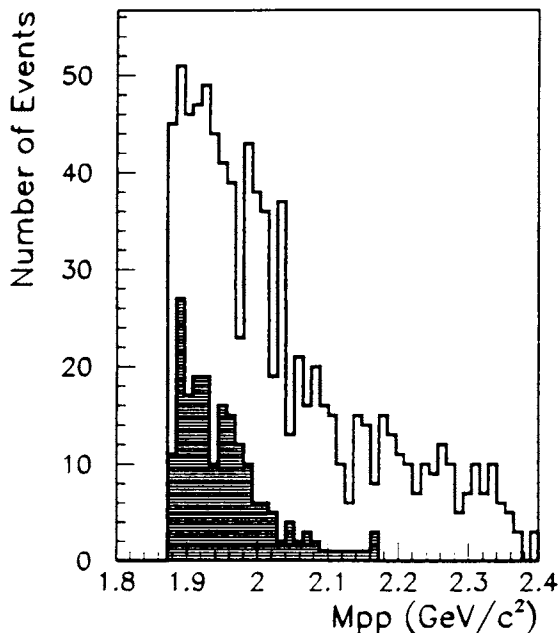


Рис.7. Спектр эффективных масс двух протонов из реакции $dp \rightarrow ppp$, у которых угол Θ лежит в интервале $7+30$, а импульс — в интервале $1+2$ ГэВ/с. Заштрихованная гистограмма — фон других реакций

общий вид и детальная структура этого распределения практически совпадают с изображенными на рис.5а. Сделанное наблюдение является ключевым в нашем предложении. На его основе вырисовывается следующая схема опыта.

Идеальной была бы конфигурация спектрометра, регистрирующего одновременный выход двух протонов, вылетающих в переднюю полусферу, за исключением конуса с раствором по полярному углу в $\Theta = 7^\circ$ в случае импульса падающих дейтронов 3,34 ГэВ/с. При этом требуется измерение импульса протонов с максимально возможной точностью с целью улучшения разрешения по эффективной массе.

Более реальной выглядит схема, представленная на рис.6. Это — симметричный двухплечевой спектрометр с регистрацией двух протонов как в разных, так и в одном плече.

Можно обойтись и одним плечом. В этом случае несколько снижается эффективность регистрации событий в области больших масс M_{pp} ($2,1 + 2,3$ ГэВ/с²).

Возникает вопрос о фоне от других реакций. Если ограничиться диапазоном импульсов вторичных протонов от 1,0 до 2,0 ГэВ/с, то убирается фон π -мезонов, импульс-

ный спектр которых не простирается выше 1,0 ГэВ/с. Например, не вносит вклада реакция $dp \rightarrow p\pi^+nn$, имеющая большое поперечное сечение. В асимметричном одноплечевом варианте полностью исключается влияние упругого dp -рассеяния.

В конкретном случае отбора пар положительно заряженных частиц с импульсом в диапазоне 1,0 + 2,0 ГэВ/с и полярными углами Θ от 7 до 30° для одноплечевого варианта фоновые события представлены заштрихованной гистограммой на рис.7.

Используя полученные экспериментальные распределения, можно привести некоторые оценки по возможной скорости набора статистики. Так, для жидководородной мишени длиной 20 см и при потоке дейтронов на рабочую область мишени 10^6 в цикле ускорителя можно ожидать набора более 100000 полезных событий за 1—2 дня работы. Это означало бы увеличение статистики, набранной в экспериментах на водородных пузырьковых камерах для данной задачи, примерно в 1000 раз.

4. Заключение

Существование дибарионных резонансов продолжает оставаться в поле внимания экспериментаторов и теоретиков, надежное их обнаружение может способствовать дальнейшему продвижению в понимании свойств материи, таких, например, как кварковая структура ядерных объектов, конфайнмент.

Предложен один из возможных вариантов постановки эксперимента по наблюдению дибарионных резонансов. Оценки, проведенные на основе экспериментальных данных по дейтрон-протонным взаимодействиям, свидетельствуют о том, что эти исследования целесообразно проводить на дейтронных пучках ускорительного комплекса ЛВЭ ОИЯИ в области импульсов 3 + 4 ГэВ/с.

Литература

1. Tatischeff B. — In: Proc. of the Xth Int. Sem. on High Energy Phys. Prob. (Ed. A.M.Baldin, V.V.Burov and L.P.Kaptari). Singapore, 1990, p.177.
2. Троян Ю.А. — ЭЧАЯ, 1993, т.24, в.3, с.683.
3. Dolidze M.G. et al. — Z. Phys., 1986, v.A325, p.391.
4. Andreev V.P. et. al. — Z. Phys., 1987, v.A327, p.434.
5. Балгансурен Я. и др. — ОИЯИ, P1-88-503, Дубна, 1988.
6. Троян Ю.А. и др. — ОИЯИ, D1-88-329, Дубна, 1988.
7. Glagolev V.V. et al. — Z. Phys., 1984, v.A317, p.335.
8. Böck B. et al. — Nucl. Phys., 1986, v.A459, p.573.
9. Tatischeff B. et al. — Nucl. Phys., 1985, v.A446, p.355.
10. Tatischeff B. et al. — Phys. Rev., 1992, v.C45, p.2005.
11. Лукьянов В.К., Титов А.И. — Изв. АН СССР, серия физ., 1990, т.54, №11, с.2082.
12. Ершов С.Н., Герасимов С.Б., Хрыкин А.С. — ЯФ, 1995, т.58, с.911.
13. Гареев Ф.А. — ОИЯИ, P4-97-25, Дубна, 1997.
14. Ver West B.J., Arndt R.A. — Phys. Rev., 1982, v.C25, p.1979.

15. Aladashvili B.S. et al. — J. Phys. G: Nucl. Phys., 1997, v.3, p.1225.
16. Kopeliovich V.P. — Phys. Rep., 1986, v.139, p.2.
17. Глаголев В.В. и др. — ОИЯИ, P1-12907, Дубна, 1979;
Glagolev V.V. — Nucl. Phys. (Proc. suppl.), 1994, v.B36, p.509.
18. Браун Г. и др. — ЯФ, 1996, т.59, с.2207.
19. Глаголев В.В. и др. — ЯФ, 1996, т.59, с.2001.