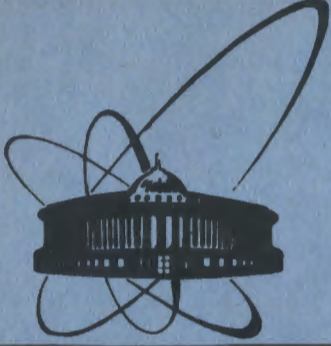


12/xii-8



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

6502/83

P1-83-565

АЗИМУТАЛЬНЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ
И ДИБАРИОННЫЕ СОСТОЯНИЯ
В РЕАКЦИИ ${}^4\text{He}p \rightarrow dppn$

Сотрудничество Варшава - Дубна - Кошице -
Москва - Страсбург - Тбилиси

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1983

П. Зелински, Т.Собчак, И.Стэпаняк
Институт ядерных проблем, Варшава, ПНР.

В.В.Глаголев, Р.М.Лебедев, Г.Д.Пестова, Й.Урбан
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, СССР.

М.Бано, М.Семан, Л.Шандор
Институт экспериментальной физики САН, Кошице, ЧССР.

Й.Главачова, Г.Мартинска, Й.Паточка
Университет им. П.Й.Шафарика, Кошице, ЧССР.

В.В.Гладун, К.У.Хайретдинов
Физический институт АН им. П.Н.Лебедева, Москва, СССР.

Г.Браун, Ж.-П.Жербер, П.Жюйо, А.Мишалон
Центр ядерных исследований, Страсбург, Франция.

А.К.Качарова, Э.Р.Ментешавили, Д.Г.Мирианшвили, М.С.Ниорадзе,
Э.Р.Салуквадзе
Институт физики высоких энергий ТГУ, Тбилиси, СССР.

1. ВВЕДЕНИЕ

В последнее время значительно возрос интерес к исследованиям, связанным с наблюдением нестранных двухбарионных состояний. Отличительной особенностью этих состояний является сравнительно малая ширина распада на два нуклона^{/1-8/}. Некоторые из таких состояний распадаются на $d\pi^+$, что обсуждалось ранее в литературе как d^* -эффект^{/7,8/}.

В настоящей работе мы анализируем реакцию ${}^4\text{He} \rightarrow dppn$, используя относительные азимутальные углы вторичных нуклонов в качестве индикатора протекания процесса. Указанная реакция безмезонного развала ядра ${}^4\text{He}$ отличается от реакций ${}^4\text{He} \rightarrow {}^3\text{He}p$ и ${}^4\text{He} \rightarrow {}^3\text{He}n$, идущих преимущественно через выбивание одного нуклона, двухнуклонным характером взаимодействия. Кроме того, реакция ${}^4\text{He} \rightarrow dppn$ естественным образом делится на два канала: канал прямого развала и канал с перезарядкой, имеющих различное поведение. Именно в канале с перезарядкой в работе^{/3/} в распределении по эффективной массе двух протонов были найдены особенности при значениях масс $/2035 \pm 15/$ и $/2137 \pm 15/$ МэВ/с². Последняя из них наблюдалась и ранее^{/2/} и соответствует сумме масс нуклона и изобары^{/3,3/}.

Азимутальные углы между поперечными компонентами импульсов нуклонов инвариантны к лоренцевой трансформации вдоль направления столкновения частиц. Как показывает анализ, они обнаруживают характерные эффекты, которые можно использовать для отыскания генетических связей между частицами - участниками взаимодействия.

Приводимые ниже результаты свидетельствуют об обнаружении нами специфического поведения азимутальных корреляций и дают дополнительный аргумент в пользу важности учета взаимодействия промежуточных возбужденных состояний в адрон-ядерных столкновениях.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ

Работа выполнена с помощью 100-сантиметровой водородной пузырьковой камеры, экспонированной в пучке ядер ${}^4\text{He}$ с импульсом 8,6 ГэВ/с на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ.

В лабораториях сотрудничества по обработке пленочной информации со 100-сантиметровой водородной камеры применялась стандартная процедура пленочной обработки. Геометрические и кинематические расчеты производились с использованием адаптированной библиотеки программ CERN HYDRA. Представляемые результаты основаны на статистике 2783 событий реакции ${}^4\text{He} \rightarrow dppn$, прошедших процедуру фитирования с вероятностью $P(\chi^2)$ не ниже 5%. Из всех

событий 2465 идентифицированы однозначно. Примесь реакции ${}^4\text{He} \rightarrow dppn\pi^0$ незначительна.

Применяемая методика исследований в пучке ускоренных ядер ${}^4\text{He}$, когда все заряженные фрагменты являются быстрыми, позволила практически без потерь получить данные о реакции с одной нейтральной частицей, в том числе о реакции ${}^4\text{He} \rightarrow dppn$.

При описании экспериментальных данных все величины приводятся в более привычной системе покоя ядра ${}^4\text{He}$.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Поперечное сечение реакции ${}^4\text{He} \rightarrow dppn$ составляет $9,32 \pm 0,33 \text{ мб} / 10^9$, или около 6% от полного сечения ${}^4\text{He}$ -взаимодействий при $8,6 \text{ ГэВ/с} / 10^9$.

Для дальнейшего анализа взяты только те события, в которых дейтрон имел импульс не выше $0,7 \text{ ГэВ/с}$. Это было важно, чтобы исключить реакции с дейтронами, образовавшимися за счет подхвата нуклона. Число оставшихся событий составило 2416.

На рис. 1 приведены импульсные распределения дейтронов и нуклонов, а на рис. 2 - их угловые распределения. Импульсное и угловое распределения дейтронов являются типичными для ядра-остатка, не принимавшего участия во взаимодействии. То есть импульсное распределение имеет максимум в районе 120 МэВ/с и быстро спадает с ростом импульса, а угловое распределение близко к изотропному. В импульсном распределении нуклонов можно выделить две четко выраженные области: малых и больших импульсов /лидирующие нуклоны/. Угловое распределение сильно вытянуто вперед.

Для удобства рассуждений мы упорядочиваем три нуклона реакции

по продольной скорости: $y = \frac{1}{2} \ln \frac{E + p_{\parallel}}{E - p_{\parallel}}$, и вводим индексы f, m, s

для нуклонов, имеющих соответственно наибольшее, среднее и наименьшее значения величины y в каждом событии.

Кроме того, события, в которых нейтрон имеет наибольшую скорость $/p_f/$, называем событиями с перезарядкой. Остальные случаи относим к каналу прямого взаимодействия $/p_f/$.

Приведем некоторые аргументы в пользу того, что рассматриваемая реакция идет главным образом через двукратное взаимодействие. На рис. 3 приведено импульсное распределение самого медленного нуклона в системе d' , т.е. в системе, остающейся от ядра ${}^4\text{He}$ после исключения наблюдаемого в реакции дейтрона. Видно, что полученный спектр достаточно широк и резко отличается от приведенного на том же рисунке спектра нуклонов-спектаторов из реакции развала дейтрона. Тем самым подтверждается, что вклад квази-дейтронного механизма /кластеризация ядра ${}^4\text{He}$ на два дейтрона/ мал и оба медленных нуклона $/m, s/$ являются участниками взаимодействия.

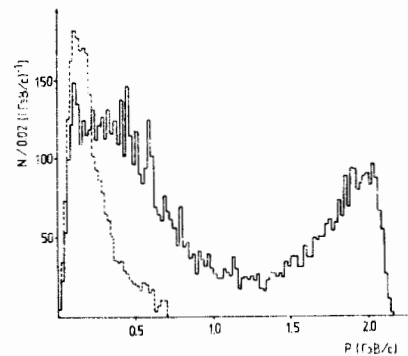


Рис. 1. Импульсные распределения нуклонов (—) и дейтронов (---) в системе покоя ${}^4\text{He}$.

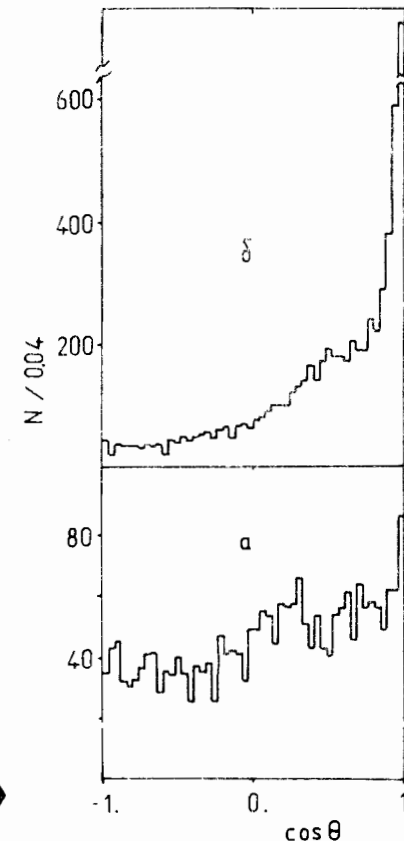


Рис. 2. Угловое распределение дейтронов /а/ и угловое распределение нуклонов /б/ в системе покоя ${}^4\text{He}$.

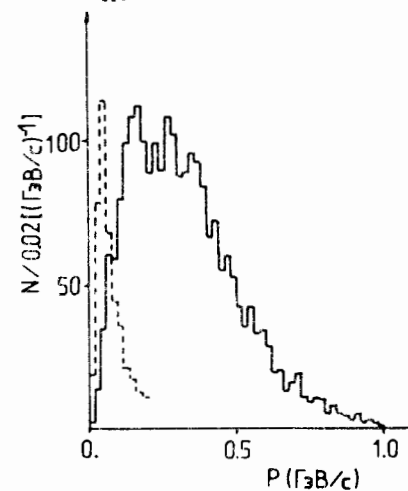


Рис. 3. Импульсное распределение самого медленного нуклона в системе d' . Пунктиром показан спектр нуклонов-спектаторов из реакции $dp \rightarrow ppn$ при $3,3 \text{ ГэВ/с}$.

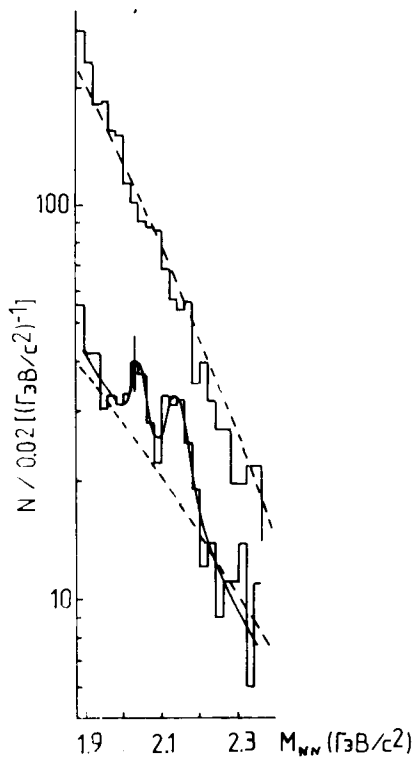


Рис.4. Распределение по эффективным массам двух медленных нуклонов в системе ^4He для прямого канала /верхняя гистограмма/ и канала с перезарядкой /нижняя гистограмма/.

На рис.4 приведены распределения по эффективной массе двух медленных m, s / нуклонов для прямого канала и канала с перезарядкой. Кривые рассчитаны по модели двукратного рассеяния на дейтроне 11,12 . Для прямого канала результаты хорошо описываются расчетом. Данные реакции с перезарядкой показывают две особенности: при $M_1 = 2035 \pm 15 \text{ МэВ}/c^2$ / $\Gamma_1 = 30 \pm 23 \text{ МэВ}/c^2$, превышение над фоном $3,0 \pm 1,3$ стандартных отклонения/ и при $M_2 = 2137 \pm 15 \text{ МэВ}/c^2$ / $\Gamma = 59 \pm 20 \text{ МэВ}/c^2$, превышение над фоном $3,2 \pm 1,3$ стандартных отклонения/; пунктиром показан фон двукратного рассеяния. В связи с этим укажем также, что наклон дифференциального сечения

$d\sigma/dt \sim e^{bt}$, где t - квадрат 4-импульса, переданного от падающего протона к лидирующему нуклону/ в прямом канале равен: $b = 2,14 \pm 0,05 \text{ (ГэВ}/c)^{-2}$, тогда как в элементарном акте нуклон-нуклонного рассеяния $b = 5,8 \text{ (ГэВ}/c)^{-2} / 13$. Соответственно для реакции с перезарядкой $b = 2,8 \pm 0,2 \text{ (ГэВ}/c)^{-2}$, а в $pn \rightarrow pr$ - обменном рассеянии $b = 3,5 \text{ (ГэВ}/c)^{-2} / 14$.

Сказанное позволяет нам изобразить протекающие процессы в виде диаграмм а/ и б/, представленных на рис.5. Здесь а/ - двукратное рассеяние падающего нуклона, б/ - перерассеяние нуклона отдачи.

Были построены распределения по относительному азимутальному углу двух нуклонов для fm - , fs - и ms -пар. Величина этого угла может меняться от 0 /когда поперечные импульсы обоих нуклонов совпадают по направлению/ до π радиан /когда поперечные импульсы направлены в противоположные стороны/.

Если взять в рассмотрение только диаграммы а/ и б/ /рис.5/, то можно было бы ожидать корреляции fm - и fs -пар нуклонов для диаграммы а/ и ms -пары для диаграммы б/, по-видимому, более слабой, т.к. процесс б/ менее вероятен для легких ядер. Кроме того, корреляции должны быть одинаковы для прямого канала и перезарядки.

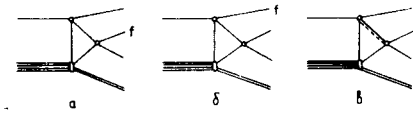
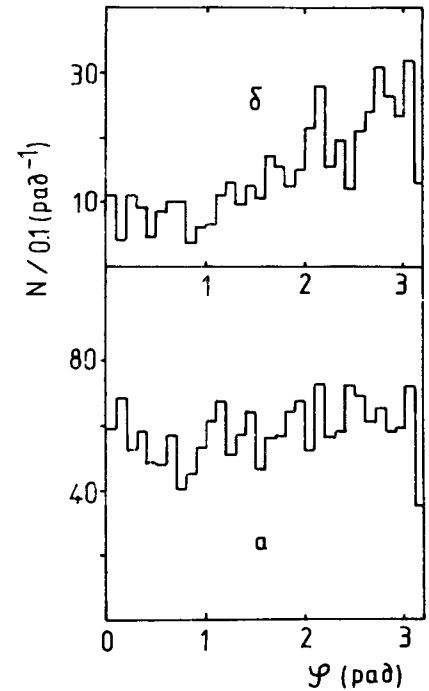


Рис.5. Диаграммы, соответствующие двукратному рассеянию быстрого нуклона /а/, рассеянию нуклона отдачи /б/ и наличию изобары в промежуточном состоянии /в/.

Рис.6. Распределения по относительному азимутальному углу двух медленных нуклонов в прямом канале /а/ и в канале с перезарядкой /б/.



На рис.6 представлены распределения по относительному азимутальному углу m - и s -нуклонов отдельно для прямого канала и канала с перезарядкой. Видно большое различие этих распределений. Вылет медленных нуклонов в реакции с перезарядкой оказался сильно скоррелирован: в большинстве случаев нуклоны вылетают в противоположные /по азимуту/ стороны.

В качестве меры корреляции примем величину асимметрии распределений по азимутальному углу:

$$A = \frac{\sigma(\phi > \pi/2) - \sigma(\phi < \pi/2)}{\sigma(\phi > \pi/2) + \sigma(\phi < \pi/2)}.$$

При таком определении положительные значения A соответствуют вылету нуклонов в противоположные стороны.

В табл.1 приведены величины асимметрии для всех комбинаций нуклонов из реакции $^4\text{He}p \rightarrow dppn$ с разбиением на прямой канал и канал с перезарядкой, а также для двух областей квадрата переданного от протона к лидирующему / f / нуклону 4-импульса t . Граница разбиения по t выбрана из условия примерного равенства числа

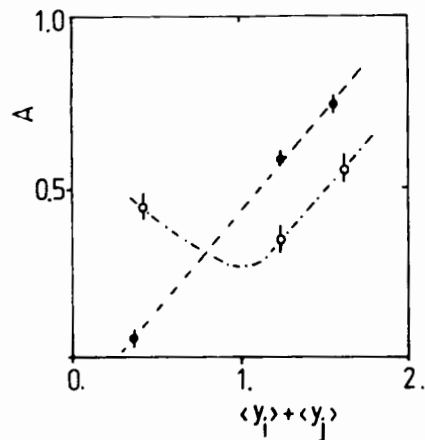


Рис.7. Зависимость асимметрии распределений по азимутальному углу от суммы средних быстрот соответствующих нуклонов: ● - прямой канал, ○ - канал с перезарядкой.

событий в обеих областях канала с перезарядкой.

Очевидно, что в случае механизма упругого перерасеяния наиболее скоррелированными будут лидирующий нуклон /f/ и нуклон, получивший наибольший переданный импульс /m/. Такая же кинематическая корреляция, но более

слабая будет для f- и s-нуклонов. Данные табл.1 не противоречат этим утверждениям.

Для наглядности представления полученных результатов мы применили график зависимости величины A от суммы средних быстрот $\langle y_1 \rangle + \langle y_2 \rangle$ /рис.7/. По существу эта диаграмма является инвариантным представлением процесса. Действительно, величина A - инвариантна к лоренцевой трансформации вдоль направления столкновения частиц в силу инвариантности поперечных импульсов, а величина $\langle y_1 \rangle$ в системе покоя ядра эквивалентна величине $\langle y_1 - y_0 \rangle$, где y_0 - быстрота ядра в произвольной системе координат. Виден регулярный ход асимметрии для прямого канала и аномальное ее поведение в канале с перезарядкой.

Таблица 1

	Прямой канал			Канал с перезарядкой		
	Все t	t < 0,2	t > 0,2	Все t	t < 0,2	t > 0,2
f, m	+0,74 -0,02	+0,59 -0,03	+0,82 -0,02	+0,56 -0,04	+0,36 -0,06	+0,73 -0,04
f, s	+0,44 -0,02	+0,34 -0,04	+0,50 -0,02	+0,35 -0,04	+0,25 -0,07	+0,43 -0,06
m, s	+0,052 -0,028	+0,20 -0,04	+0,03 -0,03	+0,44 -0,04	+0,63 -0,05	+0,29 -0,06

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из табл.1 видно, что при малых переданных 4-импульсах $|t| < 0,2$ (ГэВ/с)²/ корреляции ms-пар усиливаются в обоих каналах, что дает основание предполагать заметный вклад диаграммы б/, рис.5. Однако отношение величин A в канале с перезарядкой и прямом канале остается большим и составляет около 3.

Это различие не представляется возможным объяснить без предположения о существенной роли диаграммы в/, рис.5. Прямой канал и канал с перезарядкой отличаются в этом случае различными изотопическими состояниями промежуточной $\Delta_{3,3}$ -изобары.

Можно предположить, что в случае перезарядки появляются состояния Δ^{++} и Δ^+ , т.к. $pp \rightarrow \left\{ \begin{matrix} \Delta^{++} \\ \Delta^+ \end{matrix} \begin{matrix} n \\ p \end{matrix} \right\} \rightarrow pp$, а в прямом канале - Δ^+ и Δ^0 , т.к. $pn \rightarrow \left\{ \begin{matrix} \Delta^+ \\ \Delta^0 \end{matrix} \begin{matrix} n \\ p \end{matrix} \right\} \rightarrow pn$. На основе изотопических соотношений получим:

$$\frac{\sigma(pp \rightarrow \{\Delta N\} \rightarrow pp)}{\sigma(pn \rightarrow \{\Delta N\} \rightarrow pn)} \approx 5.$$

Если предположить для прямого канала равный вклад процессов $pn \rightarrow \left\{ \begin{matrix} \Delta^+ \\ \Delta^0 \end{matrix} \begin{matrix} n \\ p \end{matrix} \right\} \rightarrow pn$ и $pn \rightarrow pn$, то в силу аддитивности вкладов различных источников в величину асимметрии получим

$$\frac{A_{\text{перезарядки}}}{A_{\text{прямого}}} = \frac{1 + 5}{1 + 1} = 3,$$

т.е. соотношение, полученное в эксперименте.

Заметим, что важная роль промежуточных ΔN -взаимодействий отмечалась и в экспериментах по исследованиям реакций развала дейтрона с перезарядкой /15-17/.

Недавно появились указания на проявление аналогичного механизма и в реакциях на более тяжелых ядрах, например в реакции $p^{13}\text{C} \rightarrow ^{12}\text{C}^*d$ /18/.

Обсудим теперь связь азимутальных корреляций ms-частиц в канале перезарядки с появлением особенностей в эффективных массах pp-комбинаций.

Если предположить, что наблюдаемые особенности связаны с взаимодействиями типа $\Delta N \rightarrow pp$, то следует ожидать усиления корреляций для событий, где один из протонов вылетает в заднюю полусферу с импульсом больше 0,3 ГэВ/с. Значения асимметрии fm-, fs- и ms-пар приводятся в табл.2 для случаев, когда один из протонов вылетает назад и по величине импульса этого протона мы выделяем области $P < 0,3$ ГэВ/с и $P > 0,3$ ГэВ/с.

Видно, что корреляция для ms-пар, действительно, связана с событиями, у которых импульс протона больше 0,3 ГэВ/с.

Таблица 2

Асимметрия	$\cos \theta < 0$		
	Все P_s	$P_s < 0,3$ ГэВ/с	$P_s > 0,3$ ГэВ/с
fm	0,51 \pm 0,06	0,77 \pm 0,07	0,31 \pm 0,09
fs	0,28 \pm 0,07	0,17 \pm 0,10	0,38 \pm 0,09
ms	0,40 \pm 0,07	0,07 \pm 0,10	0,66 \pm 0,07

Рассмотрим теперь азимутальные корреляции в той области эффективных масс двух протонов, где появляются пики, т.е. для значений $Q = M_{pp} - 2m_p$ в области /0,09 - 0,29/ ГэВ/с². Величины асимметрий для указанной области Q и для соседних областей, отдельно для прямого канала и канала с перезарядкой, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Азимутальные асимметрии в области pp-особенностей

	$Q < 0,09$	$Q \in /0,09, 0,29/$	$Q > 0,29$
Прямой канал	- 0,44 \pm 0,03	0,32 \pm 0,03	0,82 \pm 0,03
Перезарядка	- 0,24 \pm 0,09	0,62 \pm 0,05	0,85 \pm 0,05

Из таблицы видно, что в области пиков в канале с перезарядкой есть некоторое усиление азимутальной асимметрии по сравнению с прямым каналом. Такое поведение асимметрии подкрепляет аргументацию в пользу того, что происхождение особенностей не является случайным выбросом фона двукратного рассеяния.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучены некоторые особенности реакции ${}^4\text{He}p \rightarrow dppp$ при импульсе 8,6 ГэВ/с.

Показано, что реакция идет главным образом через двукратное взаимодействие. Анализ распределений по относительным азимутальным углам пар вторичных нуклонов позволил проследить кинематическую связь между продуктами реакции и установить качественную

картину процесса. На основании различного поведения асимметрии азимутальных распределений в прямом канале и в канале с перезарядкой сделан вывод о необходимости учета доли неупругих взаимодействий, идущих через $\Delta_{3,3}$ -изобару в промежуточном состоянии. Этот вывод подкрепляется усилением корреляции двух медленных протонов в канале с перезарядкой, когда один из них вылетает в заднюю полусферу с большим импульсом ($P > 0,3$ ГэВ/с).

Относительное увеличение асимметрии в распределении по азимутальному углу в области пиков распределения по эффективной массе pp-системы свидетельствует в пользу наблюдения дибарионных состояний.

В заключение авторы благодарят персонал группы обслуживания 100-сантиметровой водородной камеры ЛВЭ и отдела обработки फिल्मовой информации ЛВТА ОИЯИ и других лабораторий сотрудничества. Авторы благодарны Г.И.Лыкасову и В.Г.Иванову за помощь в работе и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yokosawa A. Proceedings of the Meeting on Two-Nucleon Systems and Dibaryon Resonances. Hiroshima, Japan, 1979; ANL-HEP-CP-80-01; Phys. Rep., 1980, 64, p. 47.
2. Макаров М.М. УФН, 1982, т. 136, вып. 2, с. 185.
3. Glagolev V.V. et al. Dubna-Kosice-Moscow-Strasbourg-Tbilisi-Warsaw Collaboration. JINR, E1-83-59, Dubna, 1983.
4. Байрамов А.А. и др. ОИЯИ, P1-83-207, Дубна, 1983.
5. Веребрюсов В.С. и др. Препринт ИТЭФ, № 273, М., 1964.
6. Ableev V.G. et al. JINR, E1-82-777, Dubna, 1982.
7. Friedman A. Fort. der Phys., 1975, 23, p.243.
8. Aladashvili B.S. et al. JINR, E1-8870, Dubna, 1975.
9. Aladashvili B.S. et al. Acta Phys. Slov., 1981, 31, No. 1, p. 29.
10. Glagolev V.V. et al. Dubna-Kosice-Moscow-Strasbourg-Tbilisi-Warsaw Collaboration. Phys. Rev., 1978, C18, p. 1382.
11. Bertocchi L. Nuovo Cimento, 1967, 50F, p. 1015.
12. Bradamante F. et al. Nucl. Phys., 1971, B28, p. 349.
13. Banary O. et al. NN and ND Interactions - a Compilation. UCRL - 20000 NN, 1970.
14. Bystricky J., Lehar F. Physics Data, 1978, No. 11-1, ed. Fachinformationszentrum, Karlsruhe.
15. Aladashvili B.S. et al. Nucl. Phys., 1975, B86, p. 461.
16. Aladashvili B.S. et al. J. Phys. G.: Nucl. Phys., 1977, 3, p. 1225.
17. Глаголев В.В. и др. ОИЯИ, P1-12907, Дубна, 1979.
18. Toki H. Phys. Lett., 1983, 125B, p. 442.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 августа 1983 года.

Зелински П. и др.

P1-83-565

Азимутальные корреляции и дибарионные состояния
в реакции ${}^4\text{He} p \rightarrow dppn$.

Проведен анализ поведения корреляций пар нуклонов по относительным азимутальным углам в реакции ${}^4\text{He} p \rightarrow dppn$. Эксперимент выполнен на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ с помощью 100-сантиметровой водородной пузырьковой камеры. Показано, что изучаемая реакция идет главным образом через двукратное взаимодействие. Полученное различие между поведением корреляций в прямом канале этой реакции и в реакции с перезарядкой хорошо согласуется с предположением о существенной роли $\Delta_{33}N$ -взаимодействия. Усиление корреляции в области пиков в эффективной массе системы двух протонов при $M = 2035$ и $M = 2137$ МэВ/ c^2 свидетельствует в пользу дибарионных состояний.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Zelinski P. et al.

P1-83-565

Azimuthal Correlations and Dibaryonic States
in the ${}^4\text{He} p \rightarrow dppn$ Reaction

The correlation of the nucleon pairs in the ${}^4\text{He} p \rightarrow dppn$ reaction is analysed over their relative azimuthal angles. The experiment has been realized on the JINR LHE synchrophasotron by means of the 1 m hydrogen bubble chamber. It has been found that the studied reaction mainly goes through double scattering. The different behaviour of the azimuthal asymmetry in the direct channel and charge exchange is in good agreement with the supposed important role of the $\Delta_{33}N$ interaction. The reinforcement of the azimuthal correlation in the peak area of the two-proton effective mass distribution at $M = 2035$ and $M = 215$ MeV/ c^2 witnesses in favour of the dibaryonic states.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой