

**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

1-521

P1-88-592

**ПОЛНАЯ ДЕЗИНТЕГРАЦИЯ ЯДЕР ГЕЛИЯ
В ^3He -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 13,5 ГэВ/с**

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

1988

В.В.Глаголев, Р.М.Лебедев, Г.Д.Пестова, С.С.Шиманский *
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

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

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

Й.Хлавачова, Г.Мартинска, Й.Паточка, Й.Урбан
Университет им. П.Й.Шафарика, Кошице

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

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

А.К.Качарава, М.С.Ниорадзе, Э.Р.Салуквадзе
Институт физики высоких энергий ТГУ, Тбилиси

1. ВВЕДЕНИЕ

В процессах взаимодействия легких ядер ${}^3\text{He}$, ${}^3\text{H}$, ${}^4\text{He}$ с протонами при промежуточных энергиях (P_{lab} не выше 4,5 ГэВ/с на нуклон) с большой вероятностью происходит безмезонный развал этих ядер с разной степенью их фрагментации ^{/1-8/}. К такому сорту процессов относится и полное разрушение ядер ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$, изучению механизма которого был посвящен ряд работ ^{/1-5, 7, 8/}. Часть из них содержит данные, полученные в экспериментах с электронной методикой ^{/2-5/}, которые, как известно, ограничены определенной областью фазового пространства и не позволяют поэтому достаточно полно провести анализ механизма этого явления. Эксперименты же, где изучался этот процесс в условиях 4π -геометрии, имели импульсы пучков легких ядер только до 1,6 ГэВ/с на нуклон ^{/1/}.

Настоящая работа является продолжением исследований механизма безмезонного развала легких ядер при взаимодействии их с протонами в ВПК-100.

В предыдущих работах ^{/6-8/} нами было показано, что развал ${}^4\text{He}$ в реакциях ${}^4\text{He}p \rightarrow ppp$ (1) и ${}^4\text{He}p \rightarrow ppp(p\pi)$ (2) происходит большей частью через двукратное взаимодействие протона с нуклонами налетающего ядра и практически не зависит от энергии в этом диапазоне импульса пучка ^{/7, 8/}. В данной работе мы анализируем реакцию ${}^3\text{He}p \rightarrow ppp$ (3) при импульсе 13,5 ГэВ/с, для изучения механизма которой, как и в предыдущих работах, нами исследуются импульсные и угловые распределения, а также корреляции вторичных частиц по относительным азимутальным углам.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ

Работа выполнена с помощью 100 см жидководородной пузырьковой камеры, экспонированной пучком ядер ${}^3\text{He}$ с импульсом 13,5 ГэВ/с. Использование пучка ускоренных ядер позволяет получить быстрые продукты их фрагментации, что приводит к существенно более высокой, чем в рА-экспериментах, эффективности регистрации этих фрагментов. Преимущество же пузырьковой камеры для детектирования частиц в условиях 4π -геометрии особенно хорошо проявляется при

изучении эксклюзивных реакций, в частности, таких, как полное разрушение ядер ${}^3\text{He}$.

Обработка снимков велась в лабораториях сотрудничества по стандартной процедуре. Пространственная реконструкция и кинематический анализ событий проводились с использованием адаптированной библиотеки программ CERN-HYDRA. Представленные результаты основаны на статистике 2034 событий реакции (3). Однозначно идентифицированные события составили 88% от общего числа событий в этом канале. В 3% случаев конкурирующими были каналы с образованием дейтронов в конечном состоянии ${}^3\text{He} \rightarrow \text{dpp} \pi^0$ (4) и ${}^3\text{He} \rightarrow \text{dpp} \pi^+ \text{p}$ (5) и в 9% — реакция ${}^3\text{He} \rightarrow \text{pp} \pi^+ \text{d}$ (6).

Проведенная методическая работа по исследованию импульсных и угловых характеристик протонов, дейтронов и π^+ -мезонов в однозначно идентифицированных событиях и в случае неопределенной идентификации позволила нам отнести все неразделенные события канала (3) в случае его конкуренции с каналом (4) и (5) к реакциям ${}^3\text{He} \rightarrow \text{dpp} \pi^0$ и ${}^3\text{He} \rightarrow \text{dpp} \pi^+ \text{p}$. В случаях же, когда конкурирующими были каналы (3) и (6), все события мы отнесли к реакции полного развала.

При описании результатов все величины приводятся в системе покоя ядра ${}^3\text{He}$, ошибки в определении поперечных сечений — статистические.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

а. Оценка поперечных сечений

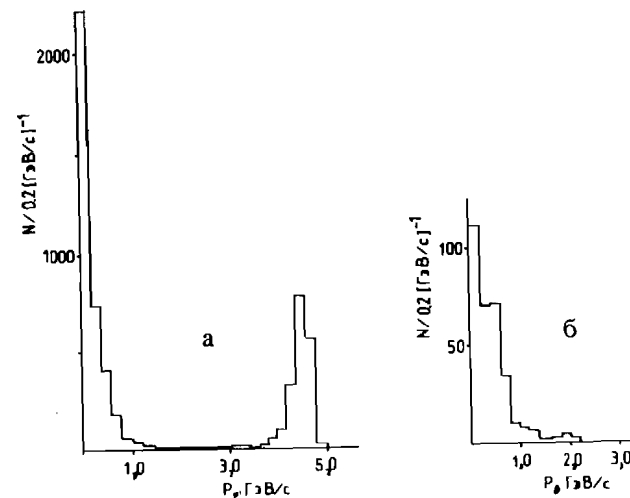
Поперечное сечение реакции (3) определилось из сечения трехлучевых ${}^3\text{He}$ -взаимодействий при 13,5 ГэВ/с: $\sigma_{\text{He}}^{3\text{h}} = (60,5 \pm 0,6) \text{ мб}^{13/}$.

При этом миллибар-эквивалент 3-лучевого события на магнитных лентах суммарных результатов составил $\mu = 0,00331 \text{ мб/событие}$. Полное поперечное сечение реакции (3) оказалось равным $\sigma({}^3\text{He} \rightarrow \text{pppp}) =$

$(6,73 \pm 0,15) \text{ мб}$, или 6% от полного сечения ${}^3\text{He}$ -взаимодействий при 13,5 ГэВ/с. Сравнивая полученный результат с данными работы¹¹, мы отмечаем, что доли поперечного сечения полного безметонного развала ${}^3\text{He}$ и полного поперечного сечения ${}^3\text{He}$ -взаимодействий при увеличении импульса ${}^3\text{He}$ с 2,5 до 13,5 ГэВ/с уменьшаются с 52% до 6%.

Часть событий реакции ${}^3\text{He} \rightarrow \text{pppp}$, имеющих импульсы нейтронов по величине бо́льший, чем импульсы любого из трех протонов, мы отнесли к каналу с перезарядкой. $\sigma_{\text{с.р.}} = (0,35 \pm 0,03) \text{ мб}$. Остальные события реакции (3) составили прямой канал $\sigma_{\text{дт}} = (6,38 \pm 0,14) \text{ мб}$. На рис. 1 приведены импульсные распределения про-

Рис. 1. Импульсные распределения протонов из прямого канала (а) и канала с перезарядкой (б).



тонов в прямом канале и канале с перезарядкой. Видно отсутствие лидирующих протонов в случае перезарядки.

б. Общие характеристики реакции ${}^3\text{He} \rightarrow \text{pppp}$

Рассмотрение общих характеристик реакции (3) удобнее провести, если упорядочить вторичные нуклоны по величине импульса. В каждом событии нуклонам присваиваются индексы 1, 2, 3, 4 в порядке убывания их импульсов. На рис. 2 приведены импульсные и угловые распределения отдельно для нуклонов каждого индекса упорядочения из прямого канала. Импульсные распределения нуклонов с индексами 3 и 4 имеют максимум при 100 : 200 МэВ/с — спектаторные нуклоны. В угловом распределении им соответствует изотропная часть*. Наряду с этим наблюдаем лидирующие нуклоны (индекс 1) и нуклоны отдачи (индекс 2). Конечно, при этом существуют и области перекрытия. Все это позволяет нам изобразить основную часть протекающих процессов в виде следующих диаграмм (рис. 3а), т.е. как квазиупругое рассеяние протона на одном из нуклонов ядра ${}^3\text{He}$.

На преобладание такого механизма указывает также близость значений величин наклона дифференциальных сечений $d\sigma/dt \sim \sigma^{bt}$ в реакции ${}^3\text{He} \rightarrow \text{pppp}$ и элементарном акте упругого pp -рассеяния (где t — квадрат 4-импульса, переданного от протона к лидирующему нуклону).

* Небольшие выбросы (> 5% от общего количества событий в гистограмме) при 0° и 180° связаны с методическими трудностями разделения каналов.

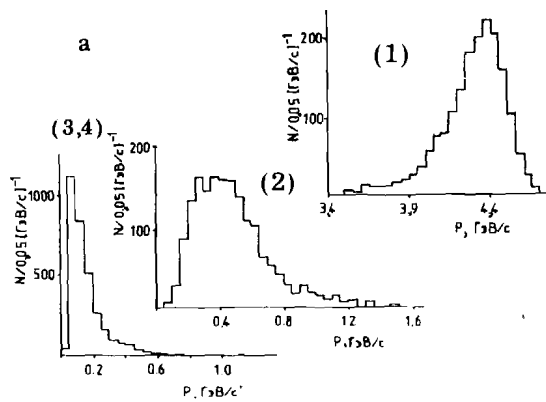
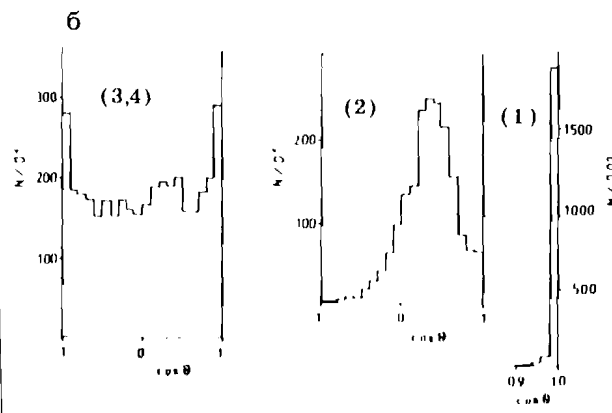


Рис.2. Импульсные (а) и угловые (б) распределения быстрых (1), средних (2) и медленных (3,4) нуклонов из прямого канала.



Величины наклона в исследуемой реакции: $b = 5,3 \pm 0,2$ (ГэВ/с) $^{-2}$ — для прямого канала, $b = 5,2 \pm 0,8$ (ГэВ/с) $^{-2}$ — для канала с перезарядкой. В элементарном же акте упругого pp-рассеяния при импульсе 4 ГэВ/с [9] это значение $b = 6,7 \pm 0,5$ (ГэВ/с) $^{-2}$.

Следствием предполагаемого механизма реакции могут явиться азимутальные корреляции нуклонов, принадлежащих одному акту взаимодействия. Для

проверки этого предположения были построены распределения по относительному азимутальному углу пар нуклонов (12, 13, 14, 23, 24, 34). 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. Величина асимметрий этих распределений, вычисленные как

$$A = \frac{N(\phi \cdot \pi/2) - N(\phi \cdot \pi/2)}{N(\phi \cdot \pi/2) + N(\phi \cdot \pi/2)}$$

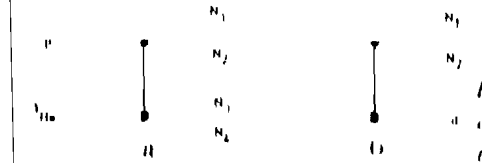


Рис.3. Диаграммы квазиупругого pp-рассеяния а) с полным развалом ядра ${}^3\text{He}$, б) с дейтроном в конечном состоянии.

приведены в таблице. При таком определении положительное значение A соответствует вылету нуклонов в противоположные стороны.

Видно, что самая сильная корреляция наблюдается для пары (1,2), что подтверждает наше предположение о квазиупругом рассеянии как основном механизме реакции полного безмезонного разрушения ядра ${}^3\text{He}$. Однако при этом хотелось бы отметить некоторые особенности в значениях асимметрий для скоррелированных пар нуклонов в канале с перезарядкой по сравнению с каналом прямого развала. А именно, в случае с перезарядкой азимутальные углы вылета пар нуклонов (23, 24, 34) оказались сильнее скоррелированы по сравнению с прямым каналом. Наиболее естественным объяснением такого различия может быть уменьшение числа скоррелированных пар прямого канала в результате перехода их в виде дейтрона в конкурирующий канал ${}^3\text{He} \rightarrow dpp$ (7). Такой механизм образования дейтронов ранее нами исследован в работах [11,12], где показано, что в реакциях ${}^4\text{He} \rightarrow dpp$ и $d \rightarrow pp$ за счет взаимодействия нейтрона и протона с малыми относительными импульсами в конечном состоянии прямого канала этих реакций идет образование дейтронов и переход их в конкурирующие каналы ${}^4\text{He} \rightarrow ddp$ и $d \rightarrow dp$ соответственно.

Таблица

Пары нуклонов	$A \pm \Delta A$	
	dir	С E
1,2	$0,96 \pm 0,03$	$0,80 \pm 0,11$
1,3	$0,26 \pm 0,02$	$0,12 \pm 0,09$
1,4	$0,09 \pm 0,02$	$-0,02 \pm 0,09$
2,3	$0,06 \pm 0,02$	$0,30 \pm 0,09$
2,4	$0,00 \pm 0,02$	$0,21 \pm 0,09$
3,4	$0,10 \pm 0,02$	$0,23 \pm 0,09$
сумма		
2,3		
2,4	$0,01 \pm 0,01$	$0,22 \pm 0,06$ ($0,20 \pm 0,01$)
3,4		

Простой проверкой высказанного предположения может служить прямой подсчет числа возможных взаимодействий на нейтроне и протоне в ядре ${}^3\text{He}$ при взаимодействии его с протоном-мишенью. А именно, в ядре ${}^3\text{He}$ два протона и один нейтрон. Значит число возможных pp -взаимодействий в этом ядре должно быть в два раза больше, чем pn -взаимодействий. Мы считаем, что в прямом канале произошло pp -взаимодействие, когда нуклоном с индексом 2 является протон, и pn -взаимодействие — когда нейтрон. Если в рамках такого определения к pn -взаимодействиям мы отнесем все события канала с перезарядкой ($N_{C-E} = 105$) и pp -события прямого канала ($N_{pp\ dir} = 1071$), то их должно быть примерно в два раза меньше, чем в pp -взаимодействии. На самом же деле имеем следующий дисбаланс: $N_{pp}(912) \neq 2N_{pn}(105 + 1071)$, который может быть связан с тем, что в случае pp -взаимодействий в прямом канале в качестве зрителей остаются нейтрон и протон. Взаимодействие их в конечном состоянии образует дейтрон, и часть событий прямого канала полного развала (см. рис.3б) переходит в канал ${}^3\text{He}p \rightarrow dpp$ (7). Действительно, добавление 2009 событий канала (7) к числу pp -взаимодействий прямого канала улучшает баланс между числом pn - и pp -взаимодействий: $N_{pp} = 912 + 2009 = 2921$, $N_{pn} = 2(105 + 1071) = 2244$.

Конечно, реакция ${}^3\text{He}p \rightarrow dpp$ идет и через квазиупругое pp -рассеяние, при котором дейтрон остается просто зрителем, поэтому некоторое превышение числа событий pp -взаимодействий в приведенных выше равенствах является вполне естественным.

Мы попытались сравнить полученные результаты с расчетами по простой модели однократного рассеяния без учета взаимодействий нуклонов в конечном состоянии, проведенными методом Монте-Карло. В таблице в скобках дано значение асимметрии и распределения по азимутальному углу для суммы пар (2,3), (2,4), (3,4) в ратьграничных событиях.

Видно, что оно хорошо согласуется с экспериментальным значением в канале с перезарядкой. В прямом же канале значение величина асимметрии меньше. Как мы показали выше, это может быть связано с уходом коррелированных pp пар прямого канала и конкурирующий канал ${}^3\text{He}p \rightarrow dpp$.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получено поперечное сечение реакции полного безмезонного развала ядра ${}^3\text{He}$ при импульсе 13,5 ГэВ/с, $\sigma_{tot} = (6,73 \pm 0,15)$ мб. Определены сечения прямого канала и канала с перезарядкой: $\sigma_{dir} = (0,38 \pm 0,14)$ мб и $\sigma_{C-E} = (0,35 \pm 0,03)$ мб соответственно.

Исследованы общие характеристики реакции ${}^3\text{He}p \rightarrow ppp$ и показано, что полный безмезонный развал ядра ${}^3\text{He}$ происходит в основном в результате квазиупругого рассеяния протона на одном из нуклонов ядра.

Однако анализ механизма исследуемой реакции в процессе изучения результатов азимутальных корреляций нуклонов в прямом канале и в канале с перезарядкой показал, что наряду с механизмом однократного рассеяния существенно взаимодействие нуклонов-зрителей в конечном состоянии (протон и нейтрон), за счет которого происходит коалесценция их в дейтрон и переход в канал ${}^3\text{He}p \rightarrow dpp$.

В заключение авторы благодарят В.Г.Иванова, В.В.Первушова, Я.Балгансурэна за помощь в освоении новой высокоавтоматизированной системы программ обработки данных по ${}^3\text{He}p$ -взаимодействиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блинов А.В. и др. — В сб.: Труды симпозиума "Нуклон-нуклонные и адрон-ядерные взаимодействия при промежуточных энергиях". М.: Изд-во ЛИЯФ, 1984, с.192.
2. Myers L.T. et al. Phys.Rev., 1983, C 28, p.29.
3. Pugh H.G. Phys.Lett., 1973, B 46, p.192.
4. Cowley A.A. et al. Nucl.Phys., 1974, A 220, p.439.
5. Bracco A. Phys.Rev.Lett., 1983, 50, p.1741.
6. Зелински П. и др. Сообщение ОИЯИ 1-83-566, Дубна, 1983.
7. Зелински П. и др. Препринт ОИЯИ P1-83-565, Дубна, 1983; ЯФ, 1984, т.40, в.2(8), с.482.
8. Глаголев В.В. и др. Препринт ОИЯИ P1 87-61, Дубна, 1987.
9. Banary O. et al. NN- and ND-Interactions. UCRL 20000 NN, 1970.
10. Shapiro L.S. et al. Nucl.Phys., 1965, 61, p.353.
11. Glagolev V.V. et al. JINR Preprint E1 86 78, Dubna, 1986. Глаголев В.В. и др. Препринт ОИЯИ P1 87 61, Дубна, 1987.
12. Аладашвили Б.С. и др. ОИЯИ, 1-8146, Дубна, 1974. Аладашвили и др. ОИЯИ, P1 9018, Дубна, 1975.
13. Бурдашвили П.А. и др. ОИЯИ 1 81 530, Дубна, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 августа 1988 года