

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ
ЧАСТИЦЫ И ПОЛЯ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В КОНЕЧНОМ СОСТОЯНИИ
В ^3He -СТОЛКНОВЕНИЯХ

© 1995 г. В. В. Глаголев¹⁾, Ю. Главачова²⁾, А. Дирнер³⁾, А. К. Качарава⁴⁾, М. Кравчикова²⁾, Р. М. Лебедев¹⁾, Г. Мартинска³⁾, М. С. Ниорадзе⁴⁾, Г. Д. Пестова¹⁾, Т. Собчак⁵⁾, И. Стэпаняк⁵⁾, Й. Урбан³⁾, К. У. Хайретдинов⁶⁾

Сотрудничество

Варшава-Дубна-Кошице-Москва-Тбилиси

Поступила в редакцию 02.09.94 г.; после доработки 03.02.95 г.

Получены новые экспериментальные результаты по импульсным распределениям дейтронов, углам Вилкина и квадрату переданного 4-импульса в реакциях $^3\text{He} \rightarrow dpp$ и $^3\text{He} \rightarrow pppp$ в условиях полной кинематики. Показана существенная роль взаимодействия в конечном состоянии с образованием дейтрона.

ВВЕДЕНИЕ

Систематические исследования реакций с легкими ядрами в 4π-геометрии выявили существенную роль корреляционных эффектов, связанных с взаимодействием в конечном состоянии [1 - 3]. Эксперимент особенно удобно проводить в так называемой обратной геометрии, когда ядро падает на протон-мишень. При этом все заряженные продукты реакции хорошо измеряются и идентифицируются.

Наиболее детально изучен самый простой случай dp -взаимодействий [1], в которых, если ограничиваться только безмезонными процессами, имеются всего две реакции $dp \rightarrow dp$ и $dp \rightarrow ppp$. Анализ затруднителен в случае, когда возможны взаимные влияния большого числа конкурирующих каналов. Для рассматриваемого случая ^3He -взаимодействий существуют уже три канала: $^3\text{He} \rightarrow ^3\text{He}$, $^3\text{He} \rightarrow dpp$ и $^3\text{He} \rightarrow pppp$. Тем не менее в настоящей работе проводится анализ пространственных корреляций вторичных частиц в реакциях безмезонного развала ядра ^3He , которые кинематически полностью определены.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Работа выполнена с помощью 100-см водородной пузырьковой камеры, облученной в пучке ядер ^3He с импульсом 4.5 ГэВ/с на нуклон. После стандартной процедуры обработки на магнитных

лентах суммарных результатов записано 37286 событий. Предметом анализа являются две безмезонные реакции:

$$^3\text{He} \rightarrow dpp, 2711 \text{ событий}, \sigma = 7.29 \pm 0.14 \text{ мбн. (1)}$$

и

$$^3\text{He} \rightarrow pppp, 2612 \text{ событий}, \sigma = 6.90 \pm 0.14 \text{ мбн. (2)}$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Реакция $p^3\text{He} \rightarrow dpp$

Для последующего анализа события реакции разбиваются на две группы:

а) дейтрон является самой медленной частицей:

$$^3\text{He} \rightarrow d_s pp, 2154 \text{ событий}, \quad (1a)$$

б) самым медленным является один из протонов:

$$^3\text{He} \rightarrow p_s dp, 557 \text{ событий}. \quad (1б)$$

На рис. 1 представлены импульсные спектры дейтронов отдельно для групп событий а) и б) реакции (1), нормированные на одну площадь.

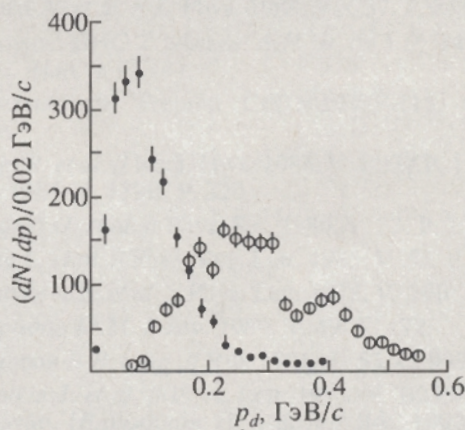


Рис. 1. Импульсные спектры дейтронов из реакции $^3\text{He} \rightarrow dpp$: ● — самая медленная частица — дейтрон, ○ — самая медленная частица — протон.

¹⁾ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия.

²⁾ Технический университет, Кошице, Словакия.

³⁾ Университет им. П.И. Шафарика, Кошице, Словакия.

⁴⁾ Институт физики высоких энергий Тбилисского государственного университета, Грузия.

⁵⁾ Институт ядерных проблем, Варшава, Польша.

⁶⁾ Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия.

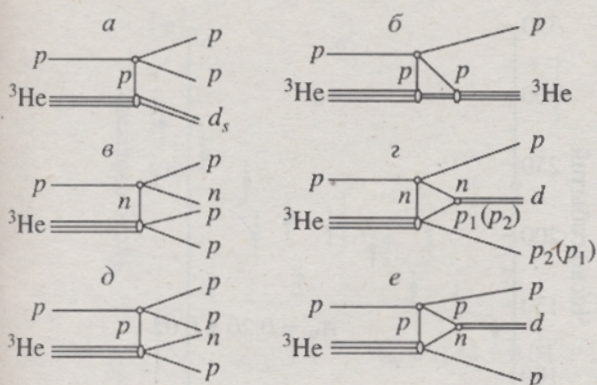


Рис. 2. Возможные диаграммы для описания реакций ${}^3\text{He}p \rightarrow {}^3\text{He}p$, ${}^3\text{He}p \rightarrow dpp$, ${}^3\text{He}p \rightarrow pppn$.

Отчетливо видно различие спектров: характерный вид для дейтронов-спектаторов с максимумом вблизи 100 МэВ/с из группы а) и более жесткий спектр для дейтронов из группы б). Здесь и далее все рассуждения проводятся для системы покоя ядра ${}^3\text{He}$, а под спектатором будем понимать частицу с минимальным импульсом в системе покоящегося ядра ${}^3\text{He}$. По аналогии с анализом, проведенным в работе [3], можно предположить, что дейтроны могли образоваться через взаимодействие в конечном состоянии (ВКС). Это относится не только к дейтронам-спектаторам, но и к дейтронам большего импульса (реакция (16)), поскольку вероятность существования дейтронного кластера в ядре ${}^3\text{He}$ мала [4].

На рис. 2 представлен ряд диаграмм для возможного описания рассматриваемых процессов. Здесь диаграммы а, в, д изображают квазиупругое pp -рассеяние с дейтроном-спектатором, квазиупругое pn -рассеяние с образованием двух протонов, не дающих связанного состояния, и квазиупругое pp -рассеяние без дейтрона в конечном состоянии. В правой части рисунка – простые треугольные диаграммы: б – образование ${}^3\text{He}$, ведущее к упругому каналу, г – образование дейтрона из нейтрона отдачи и одного из спектаторных протонов (две возможные комбинации) и е – образование дейтрона из протона отдачи и нейтрона-спектатора. Образование дейтрона из n - и p -спектаторов учитывается диаграммой а. Естественно ожидать, что наклоны дифференциальных сечений в случае реакции (1а) (диаграмма а, рис. 2) и в случае реакции (1б) (диаграммы г и е рис. 2) будут различны.

Результаты описания дифференциальных сечений одной экспонентой $e^{B|t|}$, где $|t|$ – величина

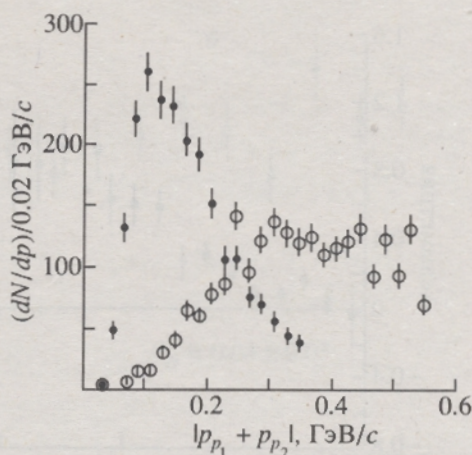


Рис. 3. Распределения по величине суммарного импульса двух медленных протонов из реакции ${}^3\text{He}p \rightarrow pppn$: ● – квазиупругое pp -рассеяние (оба протона – спектаторы), ○ – квазиупругое pp -рассеяние (один из протонов – протон отдачи).

4-импульса, переданного от падающего протона к лидирующему нуклону, представлены в таблице.

Величины наклонов не противоречат предположению, что в реакции (1б) должны преобладать относительно малые переданные импульсы, при которых более вероятно образование дейтрона. С этим связан большой наклон дифференциального сечения $d\sigma/dt$. Верхняя вершина диаграммы а рис. 2, соответствующая реакции (1а), – квазиупругое pp -рассеяние, и наклон дифференциального сечения близок к наклону в рассеянии свободных нуклонов в исследуемой области энергий.

На рис. 3 приведены результаты экспериментального моделирования спектров дейтронов суммированием импульсов двух протонов из реакции ${}^3\text{He}p \rightarrow pppn$ в комбинациях:

- 1) два медленных протона-спектатора,
- 2) один из протонов-спектаторов с протоном отдачи

(комбинации pn не берутся, чтобы избежать влияния образования связанного состояния – дейтрона).

Видно, что даже без введения ограничений на большие относительные импульсы, при которых ВКС из-за резонансного характера уменьшается, имеется качественное подобие со спектрами дейтронов на рис. 1. Отсутствие ВКС для двух протонов и неучет немассовых эффектов приводят к расширению (сдвигу) модельных спектров в область больших импульсов.

Таблица

Реакция	Диапазон по t , (ГэВ/с) ²	Наклон B , (ГэВ/с) ⁻²	$\chi^2/\text{ст. св.}$
${}^3\text{He}p \rightarrow d_s pp$	0.08 - 0.05	-5.8 ± 0.2	24.5/23
${}^3\text{He}p \rightarrow p_s dp$	0.06 - 0.34	-14.5 ± 0.9	8.0/13

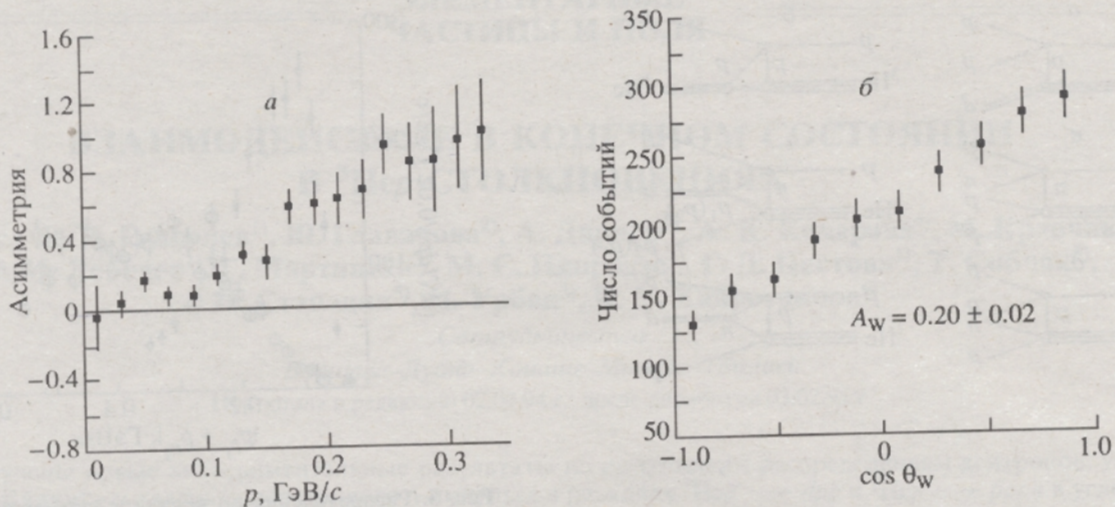


Рис. 4. *a* – зависимость асимметрии распределений по углу Вилкина θ_W от импульса дейтрона в реакции ${}^3\text{He}p \rightarrow d_s pp$, *б* – распределение по $\cos \theta_W$ для дейтронов с $p_d < 0.2$ ГэВ/с.

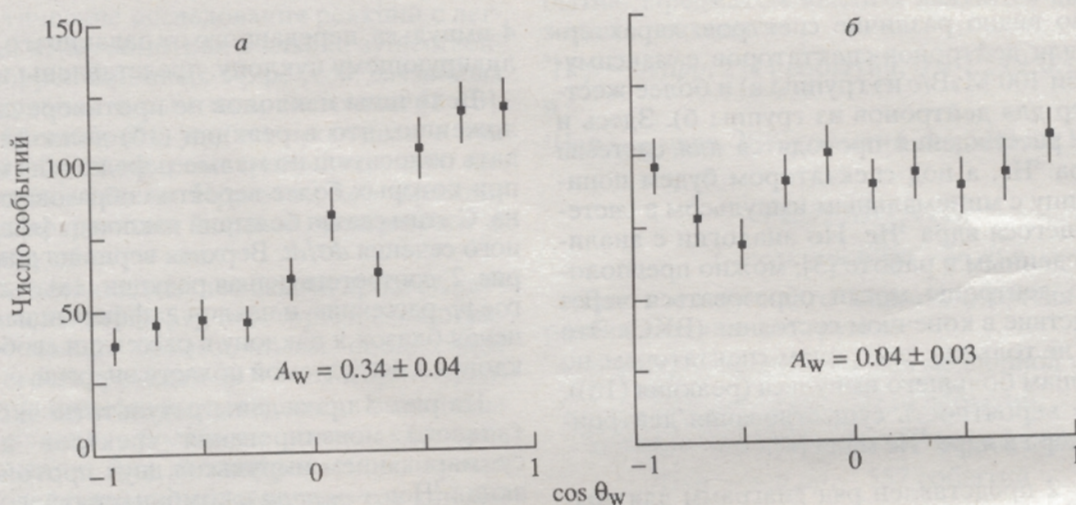


Рис. 5. Распределения по $\cos \theta_W$ для реакции ${}^3\text{He}p \rightarrow pppn$, квазиупругое pp -рассеяние: *a* – спектатор – нейтрон, $|p_{ns}| < 0.2$ ГэВ/с; *б* – спектатор – протон, $|p_{ps}| < 0.2$ ГэВ/с.

Отличительной особенностью реакций с ВКС являются сильные пространственные корреляции, которые могут быть наблюдаемы только в экспериментах, выполняемых в условиях 4 π -геометрии [1]. В частности, это проявляется в асимметрии распределений по углу θ_W между передачей 4-импульса в верхней вершине диаграммы (от падающего протона к лидирующему нуклону) и импульсом спектаторной частицы. Угол θ_W был введен в работе [1] при теоретических расчетах Жермоном и Вилкиным следующим образом:

$$\cos \theta_W = (\mathbf{p}_0 - \mathbf{p}_f) \mathbf{p}_s / |\mathbf{p}_0 - \mathbf{p}_f| |\mathbf{p}_s|,$$

где \mathbf{p}_0 – импульс падающего протона, \mathbf{p}_f – импульс лидирующего нуклона, \mathbf{p}_s – импульс спектатора.

По аналогии с [1] (реакция $dp \rightarrow ppn$), имея в виду, что ожидается существование конкуренции с упругим ${}^3\text{He}p$ -рассеянием, построим корреляции вторичных частиц в реакции ${}^3\text{He}p \rightarrow dpp$. В качестве меры корреляции используем величину асимметрии в распределении по $\cos \theta_W$:

$$A_W = \frac{N(\theta_W < 90^\circ) - N(\theta_W > 90^\circ)}{N_{tot}},$$

где N – число событий в указанных интервалах по углу Вилкина θ_W .

На рис. 4*a* показан ход асимметрии A_W в зависимости от импульса дейтрона-спектатора. Там же (рис. 4*б*) представлено распределение по $\cos \theta_W$ для дейтронов с импульсом, меньшим 0.2 ГэВ/с.

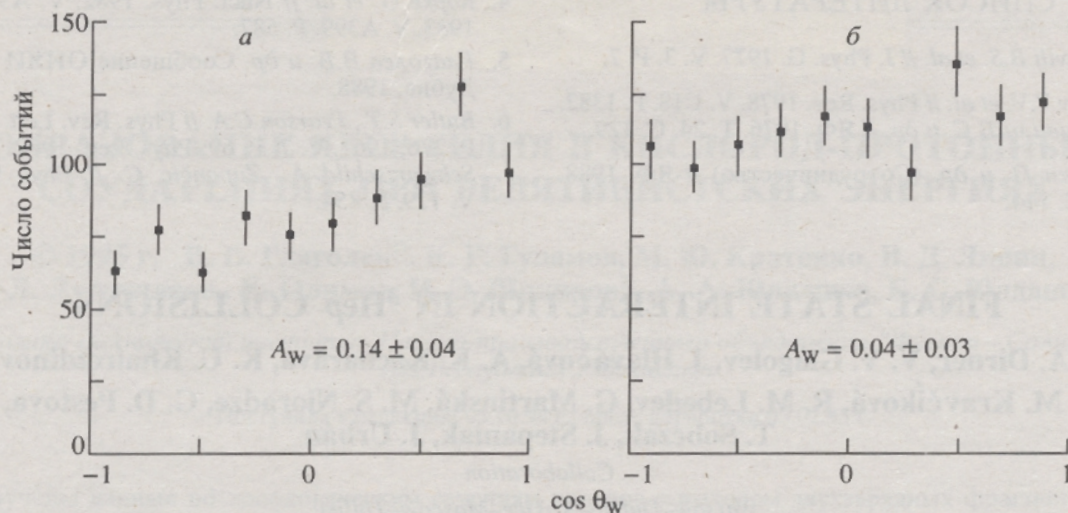


Рис. 6. Распределения по $\cos \theta_W$ для реакции ${}^3\text{He} \rightarrow pppn$, квазиупругое pn -рассеяние: *a* – спектатор – более быстрый протон, $|p_{s1}| < 0.2$ ГэВ/с; *б* – спектатор – более медленный протон, $|p_{s2}| < 0.2$ ГэВ/с.

Полученный ход зависимости коэффициента асимметрии аналогичен тому, который был наблюден в pd - [1] и $p^4\text{He}$ -взаимодействиях [2] и свидетельствует в пользу предположения о возможном переходе событий из канала dpp в упругий канал вследствие ВКС (переход между диаграммами *a* и *б* на рис. 2). В связи с относительно небольшим числом событий, мы не могли здесь, как в случае pd -взаимодействий, продвинуться в область больших значений импульсов спектаторов p_s и ограничиться малыми переданными импульсами, чтобы наблюдать изменение знака асимметрии.

2. Реакция ${}^3\text{He} \rightarrow pppn$

Рассмотрение корреляций по углу Вилкина в рамках обсуждаемых подходов можно провести и для реакции ${}^3\text{He} \rightarrow pppn$, учитывая возможный переход pn -комбинации в дейтрон (реакция ${}^3\text{He} \rightarrow dpp$). Характерной особенностью рассматриваемой реакции является наличие двух нуклонов-спектаторов [5].

События этой реакции делятся на две группы:

квазиупругое pp -рассеяние, 1220 событий, (2а)

когда протон имеет характеристики нуклона отдачи, и

квазиупругое pn -рассеяние, 1392 событий, (2б)

когда частицей отдачи является нейтрон.

В случае квазиупругого pp -рассеяния имеются две возможности образования дейтрона: слияние нейтрона-спектатора с протоном-спектатором (переход диаграммы *д* в диаграмму *а*), либо слияние нейтрона-спектатора с протоном отдачи (переход диаграммы *д* в диаграмму *е*). В обоих случаях нейтрон связывается в дейтрон, и поэтому можно ожи-

дать асимметрию в угле Вилкина между $\mathbf{q} = \mathbf{p}_0 - \mathbf{p}_f$ и импульсом нейтрона спектатора. Действительно, как видно из рис. 5а, наблюдается значимая асимметрия для этого случая. На рис. 5б, где показано аналогичное распределение для протона-спектатора, асимметрии нет (два протона не дают связанного состояния).

Для квазиупругого pn -рассеяния (подканал (2б)) имеется только одна возможность для нейтрона отдачи образовать дейтрон с одним из протонов-спектаторов (переход диаграммы *в* в диаграмму *г*), скорее, с более быстрым, так как в этом случае ожидается меньшая разница их импульсов. Распределения по углу Вилкина показаны на рис. 6а и 6б, где за спектатор взят соответственно более быстрый и более медленный из протонов. Видно, что в первом случае имеется небольшая асимметрия того же знака, что и для подканала (2а) (квазиупругое pp -рассеяние), тогда как для угла с более медленным протоном-спектатором значимой асимметрии нет. Это наблюдение не противоречит предположению о более сильном ВКС при малых относительных импульсах [6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено изучение реакций ${}^3\text{He} \rightarrow dpp$ и ${}^3\text{He} \rightarrow pppn$ в условиях полной кинематики. Полученные результаты свидетельствуют о наличии пространственных корреляций в ${}^3\text{He}$ -взаимодействиях, связанных с образованием в результате ВКС ядер ${}^3\text{He}$ и дейтронов, имеющих как спектаторные, так и несектаторные характеристики. Характер полученных корреляций такой же, как и в dp -столкновениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aladashvili B.S. et al. // J. Phys. G. 1977. V. 3. P. 7.
2. Glagolev V.V. et al. // Phys. Rev. 1978. V. C18. P. 1382.
Аладашвили Б.С. и др. // ЯФ. 1976. Т. 24. С. 129.
3. Зелински П. и др. (Сотрудничество) // ЯФ. 1988.
Т. 47. С. 744.
4. Röpke G. et al. // Nucl. Phys. 1982. V. A379. P. 536,
1983. V. A399. P. 587.
5. Глаголев В.В. и др. Сообщение ОИЯИ Р1-88-592.
Дубна, 1988.
6. Butler S.T., Pearson C.A. // Phys. Rev. Lett. 1960. V. 5.
P. 276, 1961. V. 7. P. 69; Phys. Lett. 1962. V. 1. P. 77.
Schwarzschild A., Zupančič C. // Phys. Rev. 1963.
V. 129. P. 854.

FINAL STATE INTERACTION IN ${}^3\text{He}$ COLLISIONS

A. Dirner, V. V. Glagolev, J. Hlaváčová, A. K. Kacharava, K. U. Khairuddinov,
M. Kravčíková, R. M. Lebedev, G. Martinská, M. S. Nioradze, G. D. Pestova,
T. Sobczak, J. Stepaniak, J. Urbán

Collaboration

Warsaw–Dubna–Košice–Moscow–Tbilisi

Experimental results on momentum distributions, Wilkin angles and 4-momentum transfer in ${}^3\text{He} \rightarrow dpp$ and ${}^3\text{He} \rightarrow pppn$ reactions in full kinematic region have been obtained. The presence of the final state interaction has been observed.