

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P1-85-149

Глаголев В.В. и др.

ИМПУЛЬСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЕКТРАТОРОВ
В ПРОЦЕССАХ ФРАГМЕНТАЦИИ ЯДРА ${}^4\text{He}$

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

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1985

В.В. Глаголев, Р.М. Лебедев, В.Н. Стрельцов, Й. Урбан
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

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

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

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

К. У. Хайретдинов
Физический институт АН СССР, Москва

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

З. Р. Ментешавили, Д. Г. Мирианшвили, М. С. Ниорадзе
Тбилисский государственный университет

ВВЕДЕНИЕ

В работе описываются свойства дейтронов-, ^3H -, ^3He -спектров, возникающих во взаимодействиях ядер ^4He с протонами при импульсе $p_0 = 8,6$ ГэВ/с.

Экспериментальные данные получены при обработке фотопленок со 100-сантиметровой водородной пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ, экспонированной в пучке ядер ^4He , ускоренных на синхрофазотроне.

В более ранних работах [1,2] было показано, что для исследования фрагментации целесообразно использовать постановку эксперимента, в которой ядра налетают на покоящийся протон. При этом все фрагменты ядра могут быть хорошо измерены и идентифицированы, так как группируются в разделяющихся по импульсам частях

спектра со значениями $p_f = p_0 \frac{m_f}{m_{^4\text{He}}}$ соответственно для $i = ^2\text{H}, ^3\text{H}, ^3\text{He}$.

Анализируются спектры импульсов частиц-спектаторов и предлагается метод описания формы этих спектров. Спектатором считается фрагмент, имеющий наименьший импульс в системе покоя ^4He .

МЕТОД ВЫЧИСЛЕНИЯ ВОЛНОВЫХ ФУНКЦИЙ

Исходя из формулы для импульсного распределения спектаторов 3 в однополюсном приближении [рис.1] и учитывая, что сечение реакции $i \cdot x \cdot y \cdot z$ в изучаемом энергетическом интервале линейно зависит от s , получаем следующее выражение для импульсного спектра:

$$\frac{d\sigma}{dp'} = p'^2 |\Phi(p')|^2 \quad /1/$$

где p' - импульс спектатора в системе покоя ядра; $\Phi(p')$ - волновая функция относительного движения частиц i и B в ядре A в импульсном представлении. Отметим, что выражение /1/ получено также в работах [5,6] разными методами. Из этого выражения следует, что форму импульсного распределения спектаторов определяет волновая функция ядра. В литературе известно несколько аналитических одночастичных волновых функций ядра ^4He в координатном представлении, как, например, функции Басселя-Вилкина [8], Лесняка [9]. Для расчета спектров фрагментов дейтрона, трития или гелия-3 необходимо составить их волновую функцию из одно-

ОБЩЕИЗДАТЕЛЬСТВО
ФИЗИКА

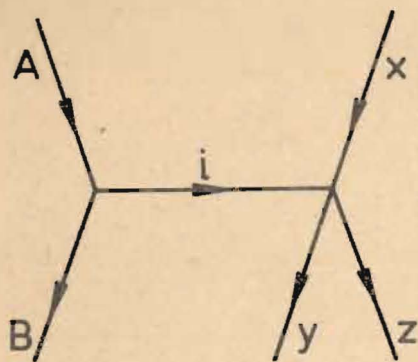


Рис.1. Диаграмма однополюсного обмена.

частичных волновых функций, используя относительные координаты нуклонов или групп нуклонов ядра. Переход от системы центра масс к относительным координатам /к координатам Якоби/ аналитически можно осуществить лишь в некотором приближении. В качестве примера можно сослаться на работу^{7/}, где переход к коор-

динатам Якоби нуклона и трехнуклонной системы сделан для случая волновой функции Басселя-Вилкина.

Поэтому в настоящей работе для перехода от одночастичной волновой функции к волновой функции относительного движения нуклонов или групп нуклонов в ядре применяется метод Монте-Карло. Основная идея предлагаемого подхода заключается в следующем. Вероятность найти систему нуклонов в элементе объема dV конфигурационного пространства равна $|\Psi(\vec{r}_i)|^2 dV$. Если разделить нуклоны на две группы: на систему спектатора B и систему i , то вероятность найти расстояние ξ между их центрами в интервале $(\xi, \xi + d\xi)$ равна $4\pi \xi^2 |\Phi(\xi')|^2 d\xi$, где $\Phi(\xi')$ - волновая функция относительного движения. При розыгрыше нуклонной конфигурации с вероятностью распределения, определенной $|\Psi(\vec{r}_i)|^2$, вычисляется ξ , и этой конфигурации нуклонов присваивается вес $w = \xi^{-2}$. Полученное таким образом распределение ξ после нормировки равно $|\Phi(\xi)|$. Отсюда и видно преимущество численного метода замены координат. Он применим как в случае, если известна одночастичная волновая функция ядра аналитически /например, Басселя и Вилкина^{8/}, Лесняка^{9/}/, так и в случае, когда распределение точечных нуклонов в ядре известно из эксперимента либо представлено в виде чисел /например, из данных Сика^{11/}.*

Проверка использованного подхода сделана сравнением сгенерированных волновых функций ^4He в импульсном представлении для систем протон+третий или нейтрон+ ^3He с результатами, полученными при аналитическом переходе^{7/}. В качестве распределения точечных нуклонов в ядре ^4He использовались волновые функции Басселя и Вилкина^{8/}, Лесняка^{9/} и экспериментальные данные Сика^{11/}. Применялись координаты Якоби:

$$\vec{\xi} = \frac{4}{3} (\vec{r}_1 - \vec{r}_\alpha), \quad (12/)$$

* Распределение точечных нуклонов в ядре ^4He получено из измерений его формфактора.

где $|\vec{r}_1 - \vec{r}_\alpha|$ - расстояние нуклона от центра тяжести ядра ^4He . Переход к волновым функциям в относительных импульсах выполнен численно. Результаты приведены на рис.2. Видно, что в области импульсов до 300 МэВ/с сгенерированные численным путем волновые функции совпадают с аналитической^{7/}. В последующем анализе экспериментальных данных использована только волновая функция Сика^{11/}.

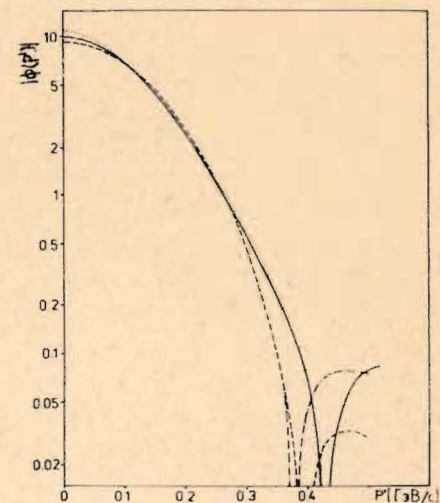


Рис.2. Сравнение волновых функций ядра ^4He в относительных импульсах нуклона и трехнуклонной системы: а/ расчет методом Монте-Карло для волновых функций: --- - Басселя-Вилкина^{8/}, - Лесняка^{9/}, - - - - Сика^{11/}; б/ - - - - аналитический расчет для волновой функции Басселя-Вилкина, согласно работе^{7/}.

Волновая функция относительного движения дейтрона и двух оставшихся нуклонов была рассчитана по методу Монте-Карло в нестандартных координатах Якоби^{12/}:

$$\vec{r} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2 - 2\vec{r}_\alpha \quad (13/)$$

Для описания импульсного спектра дейтронов из канала $^4\text{He} p \rightarrow \text{dpp}$ диаграмма, приведенная на рис.1, неприменима, так как имеются экспериментальные указания на то, что не происходит обмена виртуальным дейтроном, а протон взаимодействует с остатком как с двумя нуклонами^{13,14/}. Однако, предполагая, что механизм взаимодействия не искажает волновую функцию спектатора, применим численный метод получения волновой функции дейтрона.

СРАВНЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ

На рис.3а,б вместе с измеренными спектрами импульсов приведены распределения, рассчитанные по формуле /1/: сплошная кривая - без учета ошибок измерения, штрихпунктирная кривая - с учетом ошибок при розыгрыше по методу Монте-Карло. Видно, что

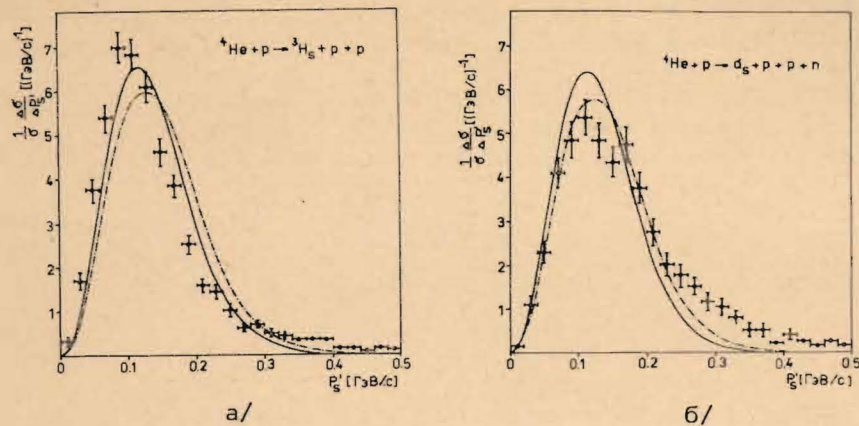


Рис.3. Распределение импульсов спектров в системе покоя ядра ${}^4\text{He}$: а/ ядер трития в канале ${}^3\text{He}_{pp}$; б/ дейтронов в канале ${}^2\text{He}_{ppn}$.

учет экспериментальных ошибок изменяет форму расчетных спектров импульсов. В случае трития согласие расчетных и экспериментальных импульсных распределений несколько ухудшается, так как измерительные ошибки в импульсах трития больше, чем в импульсах ${}^3\text{He}$.

Сгенерированная волновая функция не дает также удовлетворительного описания наблюдаемой на опыте асимметрии в распределении по углам Треймана-Янга¹¹⁻¹³. Дальнейшая модификация классической спекторной модели проведена с учетом влияния энергии связи ядра ${}^4\text{He}$ /см. также¹⁵/ . При этом в методе Монте-Карло ядро рассматривалось как система двух квазисвободных частиц: трехнуклонного спектатора В и нуклона i . Их импульс определялся из волновой функции относительного движения. Предполагалось, что, как спектатор В, так и нуклон i находятся вне массовой поверхности. Их эффективная масса в момент соударения определялась из закона сохранения полной энергии ${}^4\text{He}$, считая эффективную массу трехнуклонного спектатора равной утроенной массе нуклона i , который упруго взаимодействует с протоном. При этих условиях переход к процессам на массовой поверхности осуществляется при неизменных полной энергии и направлениях импульсов обоих фрагментов в системе покоя ядра ${}^4\text{He}$.

В случае дейтрона-спектатора влияние энергии связи не учитывалось, поскольку соответствующие расчеты для трех частиц в конечном состоянии существенно усложняются. Кроме того, из рис.3б видно, что в случае дейтрона-спектатора наблюдается удовлетворительное согласие с экспериментальными данными, если учесть ошибки измерений.

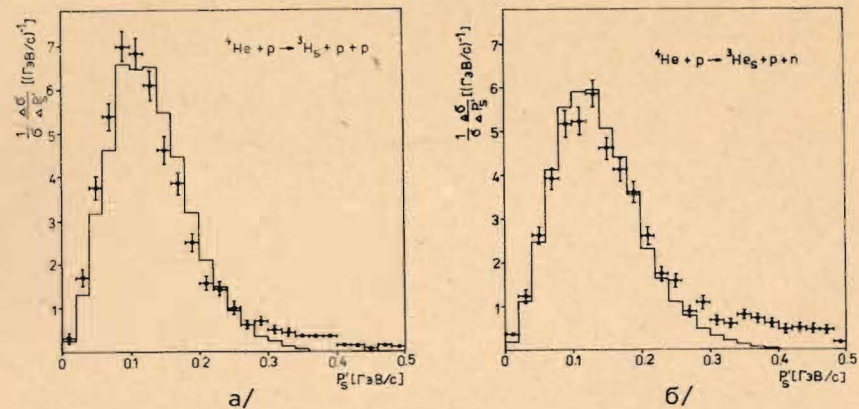


Рис.4. Распределение импульсов-спектров в системе покоя ядра ${}^4\text{He}$ а/ ядер трития в канале ${}^3\text{He}_{pp}$, б/ ядер ${}^3\text{He}$ в канале ${}^3\text{He}_{pn}$.

На рис.4а,б показаны импульсные распределения трехнуклонных спектров из каналов ${}^3\text{He}_{pp}$ и ${}^3\text{He}_{pn}$. Видно, что учет энергии связи улучшает согласие между экспериментальными и расчетными данными в области $p_i^2 \leq \sqrt{2}m_{iB}\epsilon$, где m_{iB} - приведенная масса i и В, ϵ - энергия связи ядра ${}^4\text{He}$.

В области больших значений импульсов-спектров расчетные значения лежат ниже экспериментальных. Это не удивительно, поскольку в области больших импульсов-спектров могут иметь место более сложные процессы, не учитываемые в спекторной модели.

В рамках обсуждаемого подхода для трехнуклонных спектров была рассчитана зависимость асимметрии распределения по углу Треймана-Янга¹³ от импульса нуклона отдачи. Результаты эксперимента и расчета приведены на рис.5, из которого видно, что модель качественно описывает эту зависимость.

Была проверена справедливость критерия выделения спектатора, как самой медленной частицы в системе покоя ядра ${}^4\text{He}$. Этот критерий в случае трехнуклонных спектров не искажает наблюдаемые характеристики выделенных каналов. Однако следует иметь в виду, что, когда самой медленной частицей является нуклон, вероятность идентификации его как спектатора составляет только $\approx 50\%$.

ВЫВОДЫ

Был разработан метод численного перехода от распределения координат точечных нуклонов к волновой функции относительного движения нуклонов или групп нуклонов в ядре по методу Монте-Карло. Результаты сравнены с аналитическим переходом¹⁷.

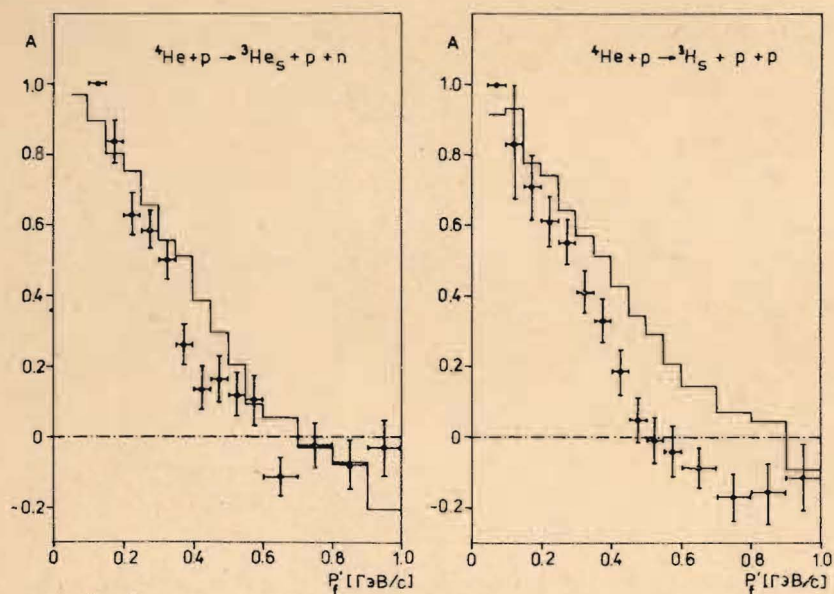


Рис. 5. Асимметрия распределений по углам Треймана-Янга в зависимости от импульса нуклона отдачи в каналах ${}^3\text{He}_S pn$, ${}^3\text{He}_S pp$.

Из сравнения рассчитанных импульсных распределений двух- и трехнуклонных спектров с экспериментальными данными по взаимодействиям ядер ${}^4\text{He}$ с протонами при 8,6 ГэВ/с следует:

1. Простая модель однополюсного обмена с волновой функцией Сика позволяет удовлетворительно описать импульсные распределения спектров вплоть до ≈ 300 МэВ/с.

2. Учет влияния энергии связи ядра ${}^4\text{He}$ улучшает согласие расчетных данных с экспериментом и позволяет качественно описать поведение асимметрии распределений по углу Треймана-Янга.

Авторы признательны И.Ловашу и Е.З.Копелиовичу за плодотворные дискуссии и критические замечания. Один из авторов благодарен И.Сику.

ЛИТЕРАТУРА

1. Glagolev V.V. et al. Phys.Rev., 1978, C18, p.1382.
2. Aladashvili B.S. et al. JINR, E1-12943, Dubna, 1979.
3. Колыбасов В.М., Лексин Г.А., Шапиро И.С. УФН, 1974, 113, с.238.

4. Шапиро И.С. Теория прямых ядерных реакций. Госатомиздат, М., 1963.
5. Chew G.F. Phys.Rev., 1950, 80, p.196; Chew G.F., Law F.E. Phys.Rev., 1959, 113, p.1640.
6. Fleury B. Methods in Subnuclear Physics. (Ed. by M.Nikolic). Gordon and Breach, 1968, vol.2; Dean N.W. Phys.Rev.Lett., 1971, 27, p.276.
7. Копелиович Е.З., Поташникова И.К. ЯФ, 1971, 13, с.1032.
8. Bassel R.H., Wilkin C. Phys.Rev., 1968, 174, p.1179.
9. Lesniak H., Lesniak L., Tekou A. Nucl.Phys., 1976, A267, p.503.
10. Sick I. et al. Phys.Lett., 1976, 44B, p.33.
11. McCarthy J.S., Sick I., Whitney R.R. Phys.Rev., 1977, C15, p.1396.
12. Sick I. Lepton Scattering, presented at "Conference on Few Body Syst. and Nuclear Forces", Gratz, 1978.
12. Неудачин В.Г., Смирнов Ю.Ф. Нуклонные ассоциации в легких ядрах. "Наука", М., 1969.
13. Aladashvili B.S. et al. Acta Phys.Slov., 1981, 31, p.29.
14. Зелински П. и др. ЯФ, 1984, 40, с.482.
15. Аладашвили Б.С. и др. ЯФ, 1976, 24, с.129.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 февраля 1985 года.