

ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ РАССЕЯНИЯ ДЕЙТРОНОВ НА ЯДРАХ ${}^4\text{He}$ В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИИ $E_d = 0,87\text{—}4,81$ МэВ

И.Я. Барит, Л.Н. Бровкина, Л.С. Дулькова, Е.В. Кузнецова

Выполнен фазовый анализ рассеяния $d\text{-}{}^4\text{He}$ с использованием всех имеющихся экспериментальных данных в интервале энергии $E_d = 0,87\text{—}4,81$ МэВ и метода Паде-параметризации амплитуд. Учитывались парциальные волны с $l \leq 2$. Наблюдается довольно сложная энергетическая зависимость р-фаз. Подтвержден заметный вклад р-волны в области резонанса 3^+ .

Изучение упругого рассеяния дейтронов на ядрах ${}^4\text{He}$ представляет интерес как источник детальной информации о шестинуклонной системе, так как в этом случае может быть проведено сравнение экспериментальных данных с микроскопическими расчетами. Особый интерес представляет поведение р-фаз при малых энергиях.

В /1—3/ были проведены два зависящих от энергии фазовых анализа всех имеющихся данных по упругому $d\text{-}{}^4\text{He}$ -рассеянию в интервале энергии $E_d = 870\text{—}1430$ кэВ.

В первом анализе /1, 2/ энергетическая зависимость для нерезонансных фаз задавалась в виде прямых, что было оправдано использованием малого интервала энергии. При этом впервые получен заметный вклад р-волны в рассеяние в области резонанса 3^+ и определены р-фазы.

Во втором анализе /3/ энергетическая зависимость фазовых сдвигов параметризовалась с помощью Паде-аппроксимаций /4/. В этом случае было получено два решения для р-фаз: с очень малыми, близкими к нулю, значениями фаз и с ненулевыми значениями, практически совпадающими с результатом предыдущей работы /1, 2/. Для однозначности выводов относительно поведения р-фаз и согласования их с другими группами данных требовалось расширить энергетический интервал фазового анализа.

В данной работе представлен фазовый анализ, выполненный в интервале энергий $E_d = 0,87\text{—}4,81$ МэВ с использованием Паде-аппроксимантов. Верхняя граница интервала выбрана исходя из того, чтобы избежать учета мнимых величин фаз, возникающих за порогом реакции ${}^4\text{He} (d, p){}^5\text{He}$. В анализ были включены данные по дифференциальным сечениям, поляризациям и анализирующим способностям из двенадцати работ /2, 8—19/.

Использовался метод наименьших квадратов с введением нормировочных коэффициентов N_i для разных наборов экспериментальных данных /3/. Учитывался вклад s-, р- и d-волн. Параметр смешивания состояний с одинаковой четностью принимался равным нулю, что следует из работ /1, 5/.

$d\sigma/d\Omega, \delta n/cp$

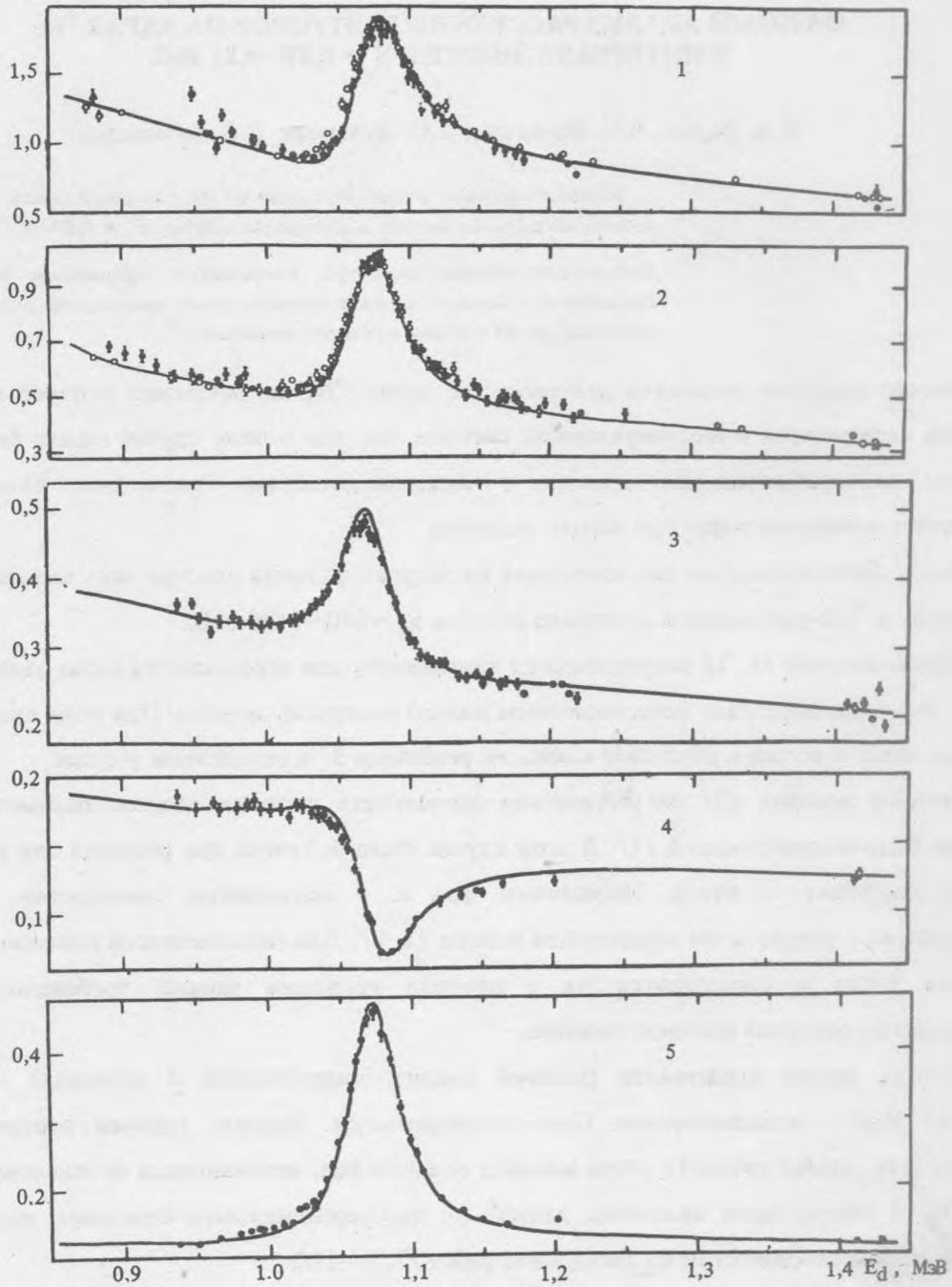


Рис. 1. Дифференциальные сечения рассеяния при малых энергиях: \circ — абсолютные измерения [2,9], \bullet — относительные измерения [2,9], \square — [8], \triangle — [15]. $\theta_{сцм} = 38,75^\circ$ (1), $48,9^\circ$ (2), $60,28^\circ$ (3), 90° (4), 125° (5).

В качестве нулевого приближения использовались энергетические зависимости фаз, выраженные через параметры Паде-аппроксимантов (ПА) и полученные по программе FITNI /4/ на основе величин фаз первого нашего анализа /1, 2/ и фазовых анализов швейцарской и висконсинской групп /5, 6/. Порядки ПА, которые входят в программу FITNI как параметры, выбирались исходя из необходимости описания непрерывного поведения фаз во всем выбранном энергетическом интервале с учетом необходимого для этого числа полюсов ПА. В результате были выбраны следующие порядки ПА [N, M]: [1,0], [3,1], [3,2], [3,1], [1,0], [1,0], [1,1], соответствующие состояниям 3S_1 , 3P_0 , 3P_1 , 3P_2 , 3D_1 , 3D_2 , 3D_3 . Отметим, что для описания р-фаз приходится использовать довольно большие порядки ПА, но уменьшение их приводит к ухудшению χ^2 при окончательной минимизации, особенно для групп данных при малой энергии /2, 9/.

Полученное решение в целом дает удовлетворительное значение $\chi^2/n = 1,78$ по всему набору данных $n = 834$. Нормировочные коэффициенты близки к единице, что означает совместимость этих групп данных.

Качество полученного решения проиллюстрировано на рис. 1, где сравниваются с экспериментом рассчитанные по определенным нами фазам величины дифференциальных сечений при малых энергиях. Две группы экспериментальных величин, относящиеся к работам /2, 9/, различаются методом измерений. Кривые, приведенные на рис. 1, рассчитаны для одного случая. Экспериментальные данные для другого случая соответствуют большему энергетическому разбросу и поэтому кривые для них должны быть несколько шире, что и наблюдается на рисунке. С учетом этого рассчитанные кривые хорошо согласуются с экспериментами.

Энергетические зависимости р-фаз, полученные в результате анализа, приведены на рис. 2. Здесь же приведены данные других анализов /1,2,5,6/ и данные анализа, проведенного нами с разбиением интервала $E_d = 0,87-1,43$ МэВ на четыре отрезка, в каждом из которых все фазы, кроме резонансной, считались не зависящими от энергии. Из рисунка видно, что полученное поведение р-фаз в пределах ошибок совпадает как с результатами /1,2/, дающими отличные от нуля фазы в области резонанса 3^+ , так и с результатами работы /5/.

Таким образом, показано, что использование метода Паде-параметризации амплитуд для проведения зависящего от энергии фазового анализа $d^4\text{He}$ -рассеяния дает возможность описать довольно сложные энергетические зависимости р-фаз.

Наблюдается расхождение с работой /21/, которая дает равные нулю р-фазы при малой энергии. Можно предположить, что это расхождение связано с использованием в работе /21/ меньшего объема экспериментальных данных при низких энергиях, а также с неоднозначностью фазового анализа, результаты которого сильно зависят от стартовых величин.

Экстраполяция фазы ${}^2\delta_1$ в сторону большей энергии дает в пределах ошибок совпадение с результатами фазового анализа по точкам /22/ во всем энергетическом интервале этой работы, т.е.

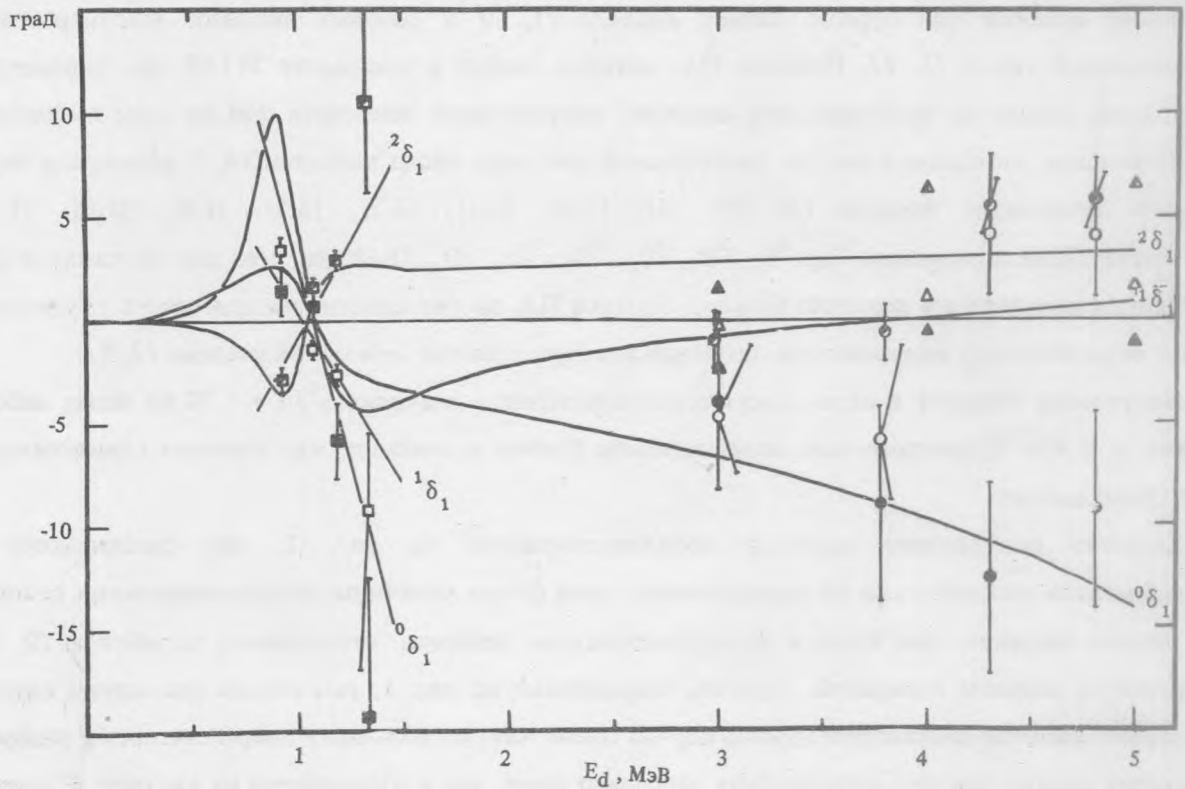


Рис. 2. Энергетическая зависимость p -фаз: кривые — данная работа; прямые — /1,2/; $\blacksquare, \square, \blacksquare$ — фазы ${}^0\delta_1, {}^1\delta_1, {}^1\delta_2$, полученные при разбиении энергетического интервала на отдельные части, в пределах которых фазы считаются постоянными; \bullet, \circ, \ominus — ${}^0\delta_1, {}^1\delta_1, {}^2\delta_1$ /5/; $\blacktriangle, \triangle, \blacktriangle$ — ${}^0\delta_1, {}^1\delta_1, {}^2\delta_1$ /6/.

до 43 МэВ. Продолжение фаз ${}^0\delta_1$ и ${}^1\delta_1$ совпадает с результатами анализа /22/ до энергии $E_d = 7$ МэВ. Далее наблюдается расхождение, что может быть связано с существованием при большей энергии особенностей амплитуд, которые не проявляют себя при $E_d < 4,81$ МэВ, так как вызываемый ими эффект меньше экспериментальных ошибок.

Теоретические расчеты дают в исследуемой нами области малые значения p -фаз, изменяющие знаки при определенных энергиях, но ни один из этих расчетов не описывает наши экспериментальные данные достаточно хорошо. Наиболее точный расчет в этой области, выполненный на основе шестинуклонного уравнения Шредингера с эффективным нуклон-нуклонным потенциалом (МРГ) группой Кельнского университета /23/, качественно не противоречит поведению фаз ${}^0\delta_1$ и ${}^2\delta_1$, но не описывает поведение фазы ${}^1\delta_1$.

Энергетические зависимости s - и d -фаз, полученные в анализе (рис. 3), хорошо согласуются с данными всех других работ /1,2,5,6,7,21/. Для состояния D_3 получены значения резонансных параметров $E_r = 0,713$ МэВ, $\Gamma = 20$ кэВ, которые совпадают с табличными значениями /24/ в

пределах экспериментальных ошибок.

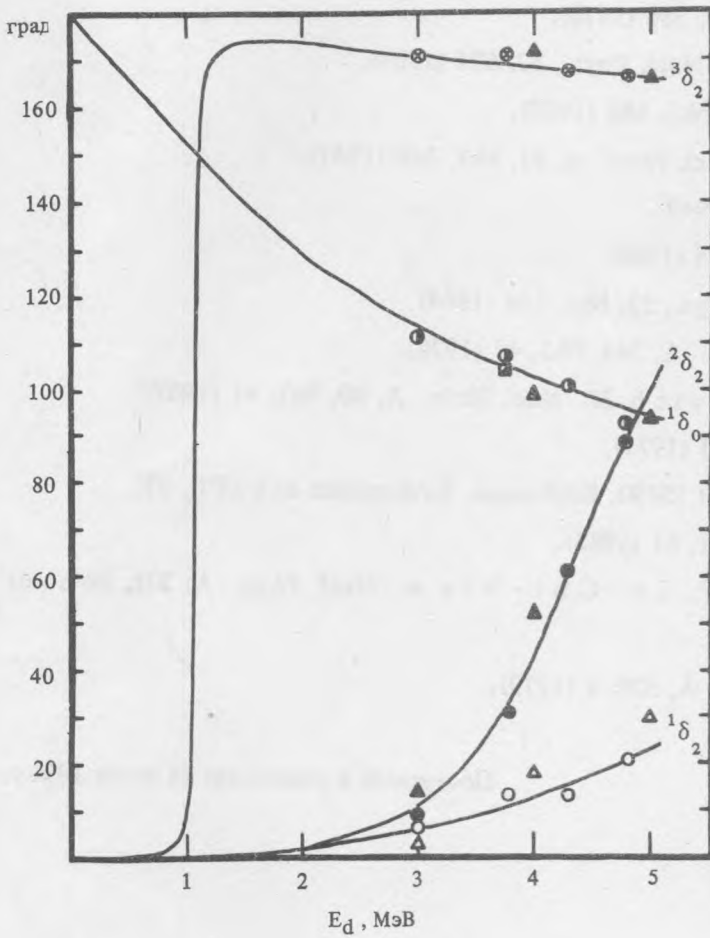


Рис. 3. Энергетическая зависимость s- и d-фаз: кривые — данная работа: $\otimes, \ominus, \bullet, \circ$ — ${}^3\delta_2, {}^1\delta_0, {}^2\delta_2, {}^1\delta_2$ /5/; \square — ${}^1\delta_0$ /7/; $\Delta, \triangle, \blacktriangle, \triangle$ — ${}^3\delta_2, {}^1\delta_0, {}^2\delta_2, {}^1\delta_2$ /6/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барит И.Я. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 48, №2, 380 (1984).
2. Дулькова Л.С. Диссертация на соиск. учен. степени к.ф.-м.н., М., ИЯИ АН СССР, 1985.
3. Барит И.Я. и др. Препринт ИЯИ АН СССР, М., П-0513, 1987.
4. Бровкина Л.Н. и др. Препринт ИЯИ АН СССР, М., П-0493, 1986.
5. Schmelzbach P.A. et al. Nucl. Phys., A, 184, №1, 193 (1972).
6. Keller L.G., Haeblerli W. Nucl. Phys., A, 156, №2, 465 (1970).
7. Grüber W. et al. Nucl. Phys., A, 242, №2, 265 (1975).
8. Galonsky A. et al. Phys. Rev., 98, №3, 586 (1955).

9. Барит И.Я. и др. ЯФ, 29, вып. 5, 1137 (1979).
10. Meiner H. et al. Helv. Phys. Acta, 40, №5, 483 (1967).
11. König V. et al. Nucl. Phys. A, 148, №2, 380 (1970).
12. Senhouse L.S., Tombrello T.A. Nucl. Phys., 57, 624 (1964).
13. Grüber W. et al. Nucl. Phys. A, 134, №3, 686 (1969).
14. McIntyre L.C., Haerberli W. Nucl. Phys. A, 91, №2, 369 (1967).
15. Blair J.M. et al. Phys. Rev., 75, 1678 (1949).
16. Seiler F. et al. Nucl. Phys., 53, № 1, 65 (1964).
17. Ohlsen G.G., Young P.G. Nucl. Phys., 52, №1, 134 (1964).
18. Schmelzbach P.A. et al. Nucl. Phys. A, 264, №1, 45 (1976).
19. Young P.G., Ohlsen G.G., Ivanovich M. Nucl. Phys. A, 90, №1, 41 (1967).
20. König V. et al. Nucl. Phys. A, 166, 393 (1971).
21. Krasnopol'sky V.M. et al. Preprint 15/90, Edgbaston, Birmingham B15 2TT, VK.
22. Jenny B. et al. Nucl. Phys. A, 397, №1, 61 (1983).
23. Hackenbroich H.H., Heiss P., Le-Chi-Niem. Nucl. Phys. A, 221, №3, 461 (1974).
24. Ajzenberg-Selov F. Nucl. Phys. A, 320, 1 (1979).

Институт ядерных исследований АН СССР

Поступила в редакцию 24 июля 1991 г.