

УДК 539.172.13

ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ РАССЕЯНИЯ ДЕЙТРОНОВ НА ЯДРАХ ${}^4\text{He}$ В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИИ $E_d = 0,87 - 2,0 \text{ МэВ}$ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ПО АНАЛИЗИРУЮЩИМ СПОСОБНОСТЯМ

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

Выполнен энергетически зависимый фазовый анализ экспериментальных данных для дифференциальных эффективных сечений и поляризационных наблюдаемых рассеяния $d-{}^4\text{He}$ в интервале энергий 1 – 2 МэВ. Энергетическая зависимость фаз описывалась с помощью Паде-аппроксимантов. Предлагается эксперимент, позволяющий сделать выбор между двумя вариантами фазового анализа.

При изучении легчайших ядер заметное внимание уделялось теоретическим расчетам шестинуклонной системы. Микроскопические расчеты для рассеяния $d-{}^4\text{He}$ были выполнены методом резонирующих групп, а также с использованием уравнения Фаддеева и трехнуклонного уравнения Шредингера. Эти расчеты показали, что нерезонансные p -фазы очень чувствительны к виду N - α потенциала.

В работах [1-3] проведены энергетически зависимые фазовые анализы, в которых использовались экспериментальные данные как для дифференциальных сечений, так и для поляризационных наблюдаемых в области малых энергий, известные к этому времени. При этом было получено два решения, отличающихся друг от друга поведением p -фаз в интервале $E_d = 1 - 2 \text{ МэВ}$. В работе [2] для p -фаз получены довольно сложные энергетические зависимости в области резонанса при $E_d = 1,07 \text{ МэВ}$, и величины фаз достигали 10° . В работе [1] использовались более простые монотонные энергетические зависимости p -фаз, а величина их не превышала $0,1^\circ$. При этом фазы работы [1] несколько хуже, чем фазы работы [2], описывали некоторые экспериментальные данные для дифференциальных сечений рассеяния в области резонанса. Наблюдаемое расхождение носило систематический характер.

В связи с появлением новых экспериментальных данных по поляризационным наблюдаемым для рассеяния $d\text{-}^4\text{He}$ в интервале $E_d = 1 - 2 \text{ МэВ}$ [4], в настоящей работе выполнен фазовый анализ в этой области энергий с использованием параметризации энергетической зависимости p -фаз как согласно работы [2], так и согласно улучшенного варианта [3] работы [1]. При этом преследовалась цель получить дополнительные аргументы для выбора между двумя решениями фазового анализа в этой области энергий.

В анализе использовались как новые экспериментальные данные по анализирующим способностям [4], так и уже известные – по дифференциальным сечениям и поляризациям (см. библиографию в [1-3]).

Для проведения анализа применялся метод наименьших квадратов с введением нормировочных коэффициентов для разных наборов экспериментальных данных. Для минимизации функционала использовалась программа FUMILI [5]. Энергетическая зависимость фаз описывалась с помощью Паде-аппроксимантов (ПА) третьего рода. Учитывался вклад s -, p - и d -волн. Параметр смешивания состояний с одинаковой четностью принимался равным нулю, что следует из работ [6, 7].

Минимизировался функционал:

$$\chi^2 = (1/a_1) \sum_s \sum_i \frac{(N_s X_{is} - Y_{is})^2}{\Delta Y_{is}^2} + (1/a_2) \sum_s \sum_k \frac{(N_s X_{ks} - Y_{ks})^2}{\Delta Y_{ks}^2},$$

что соответствует минимизации сумм χ^2/n , получаемых отдельно для дифференциальных сечений и анализирующих способностей. Здесь X_{is} , Y_{is} – рассчитанные и экспериментальные значения сечений, X_{ks} , Y_{ks} – рассчитанные и экспериментальные значения поляризационных наблюдаемых, N_s – нормировочный коэффициент для s -го набора экспериментальных данных, ΔY_{is}^2 , ΔY_{ks}^2 – среднеквадратичные ошибки экспериментальных точек; веса a_1 и a_2 определялись из соотношений: $N_1/a_1 = N_2/a_2 = N/2$, $N = N_1 + N_2$; N_1 – число экспериментальных точек по сечению, N_2 – число экспериментальных точек по поляризационным данным. В нашем случае $a_1 = 1,56$, $a_2 = 0,44$, так как $N_1 = 514$, $N_2 = 147$, $N = 661$.

Для сравнения экспериментальных величин с расчетными значениями последние усреднялись по энергии сверткой с функцией Гаусса (с дисперсией, соответствующей величине страглинга в данном эксперименте). Величина страглинга определялась экспериментально или рассчитывалась. При измерении анализирующих способностей страглинг был определен по уширению спектра рассеянных на золотой фольге дейтронов и составлял 13 кэВ [4].

В первом варианте расчетов (I) в качестве нулевого приближения использовались энергетические зависимости фаз, полученные нами в предыдущей работе [2]. Эти фазы отличны от нуля в рассматриваемой области и проходят через ноль в районе резонанса. При этом энергетические зависимости p -фаз описываются следующими порядками ПА $[N, M]$: $[3,1]$, $[3,2]$, $[3,1]$ соответственно для состояний 3P_0 , 3P_1 , 3P_2 .

В ходе минимизации проводилось отбрасывание экспериментальных точек с большими значениями χ^2 (далее n – число оставшихся точек).

Полученное решение дает удовлетворительное значение $\chi^2/n = 2,4$ по всему набору данных ($n = 655$). С учетом весов, введенных в минимизируемый функционал, получаем $\chi^2/n = 5,5$ для iT_{11} и $\chi^2/n = 2,4$ для T_{22} . Для данных по дифференциальным сечениям χ^2/n мало отличаются от стартовых значений. Положение резонанса 3^+ не меняется. Значения резонансных параметров $E_r = 0,713 \text{ кэВ}$, $\Gamma = 19 \text{ кэВ}$ совпадают с табличными [8] в пределах экспериментальных ошибок. Сравнение результатов анализа с экспериментальными данными по анализирующей способности приведено на рис. 1, 2 работы [4]. Видно, что максимум кривой iT_{11} для $\Theta_{счм} = 60,3^\circ$ сместился от начального приближения в сторону меньших энергий на 3 кэВ , что связано как с изменением фаз, так и с изменением страглинга (нулевое приближение рассчитывалось со страглингом 10 кэВ). Полученная кривая лучше описывает экспериментальные данные, но тем не менее наблюдается небольшое систематическое отклонение при $E_d < 1,04 \text{ МэВ}$ и $E_d > 1,1 \text{ МэВ}$. Кривые для T_{22} хорошо описывают эксперимент.

На рис. 1 приведены полученные в результате минимизации p -фазы. Видно, что несмотря на некоторое изменение при минимизации, характер поведения этих фаз не изменился по сравнению с данными работы [2] и они достигают величин $\sim 4^\circ$. Заметно не изменились также s - и d -фазы.

Во втором варианте расчетов (II) в качестве нулевого приближения использовались энергетические зависимости фаз работы [3], содержащие малые значения p -фаз, описываемые порядками ПА $[N, M]$: $[1,1]$, $[1,2]$, $[1,1]$ соответственно для состояний 3P_0 , 3P_1 , 3P_2 . В этом случае минимизация не давала улучшения χ^2 . С учетом введения весов в минимизирующий функционал для iT_{11} получено $\chi^2/n = 4,9$ и $\chi^2/n = 3,0$ для T_{22} .

По сравнению с первым вариантом фазового анализа, χ^2/n для дифференциальных сечений ухудшается из-за небольших систематических отклонений для углов рассеяния $\Theta_{счм} = 38,75^\circ, 48,9^\circ, 60,3^\circ, 125^\circ$, значение резонансной энергии не меняется ($E_r = 0,713$), а ширина резонанса возрастает ($\Gamma = 21 \text{ кэВ}$). Энергетические зависимости

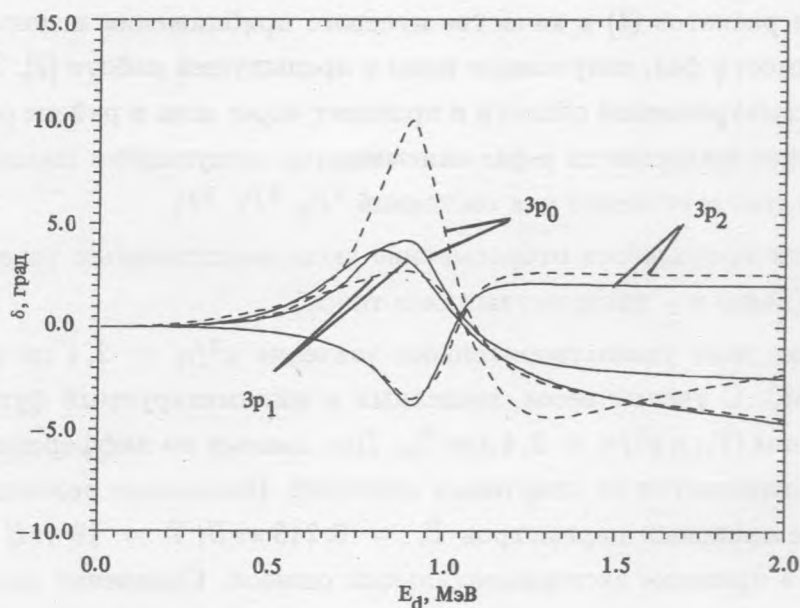


Рис. 1. Энергетическая зависимость p -фаз для первого варианта фазового анализа: пунктир – результат фазового анализа [1, 2], сплошные кривые – результат данного анализа (I).

iT_{11} и T_{22} , рассчитанные для этого варианта, также приведены на рис. 1,2 работы [4].

Сравнение двух решений фазового анализа с экспериментальными данными показывает, что как и ранее (см. [2]), первое решение лучше описывает дифференциальные сечения рассеяния при некоторых углах, чем второе. Однако различия для дифференциальных сечений между двумя решениями существенно уменьшились по сравнению с результатом работы [1], что, по-видимому, связано с тем, что в улучшенном варианте фазового анализа [3] p -фазы на рассматриваемом в данной работе энергетическом интервале имеют большую чем в работе [1] величину $\sim 1^\circ$, сохраняя при этом монотонный характер зависимости от энергии. С другой стороны, векторная анализирующая способность лучше описывается вторым решением фазового анализа. Однако наблюдаемые отличия не столь значимы, чтобы отдать предпочтение одному из решений. Сравнение расчетных кривых для iT_{11} (см. рис. 2а работы [4]) для угла $\Theta_{сч.м} = 104,1^\circ$ и двух вариантов анализа показывает, что наиболее значительное различие наблюдается при энергиях дейтронов $0,9 \text{ МэВ}$ и более $1,5 \text{ МэВ}$. Измерение анализирующей способности для этого угла и энергии должно позволить сделать выбор между двумя вариантами фазового анализа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 93-02-3369).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Барит И. Я. и др. Препринт ИЯИ АН СССР, П-0513, М., 1987.
- [2] Барит И. Я. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 8, 37 (1991).
- [3] Краснорол'sky V. M. et al. Phys. Rev. C, 43, N 2, 822 (1991).
- [4] Балашко Ю. Г. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 1 - 2, 61 (1994).
- [5] Соколов С. Н., Силин И. Н. Нахождение минимумов функционалов методом линеаризации. Препринт ОИЯИ Д-810-Дубна, 1961.
- [6] Барит И. Я. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 48, N 2, 380 (1984).
- [7] Schmelzbach P. A. et al. Nucl. Phys. A, 184, N 1, 193 (1972).
- [8] Ajzenberg-Selov F. Nucl. Phys. A, 490, N 1, 1 (1988).

Поступила в редакцию 8 февраля 1994 г.