

УДК 539.172

ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ СЕЧЕНИЯМ p - d РАССЕЯНИЯ В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ $E_d = 0.8 - 2.0$ МэВ

Л. С. Дулькова, Е. В. Кузнецова

Рассмотрены результаты фазового анализа экспериментальных данных для дифференциальных сечений p - d рассеяния в интервале энергий $E_d = 0.8 - 2.0$ МэВ. Подтверждено существование полюса в функции эффективного радиуса для дублетной S -фазы в физической области. Результаты сравниваются с другими анализами и теоретическими расчетами.

Актуальность изучения трехнуклонного взаимодействия при низких энергиях была подробно обоснована в нашей предыдущей работе [1]. Одной из существенных проблем описания этого взаимодействия остается вопрос о положении полюса модифицированной функции эффективного радиуса для дублетной S -фазы p - d рассеяния. Для ответа на этот вопрос необходимо проведение экспериментов и анализ их результатов при очень низкой энергии ($E_{счм} \leq 0.5$ МэВ).

Нами проведен зависящий от энергии фазовый анализ всех имеющихся в нашем распоряжении к настоящему времени экспериментальных данных по дифференциальным сечениям p - d рассеяния [2 - 7] в интервале энергий $E_d = 0.8 - 2.0$ МэВ ($E_{счм} = 0.267 - 0.667$ МэВ) и широком диапазоне углов рассеяния ($\Theta_{см} = 22.5^\circ - 149.3^\circ$). Учитывался вклад S - и P -волн. Энергетические зависимости фаз были выбраны в виде выражений $k \cdot \text{ctg} \delta = f(E)$ и $k^3 \cdot \text{ctg} \delta = f(E)$, полученных в приближении эффективного радиуса с учетом кулоновского взаимодействия для S - и P -фаз соответственно. При этом для дублетных фаз учитывалась возможность заметного вклада члена, зависящего от E^2 (параметр формы), и допускалась возможность существования полюсов. Для квартетных фаз, в соответствии с результатом предыдущего анализа [8], параметры формы полагались равными нулю. В качестве нулевого приближения использовались

параметры, полученные авторами в работе [8] при значительно меньшем объеме экспериментальных данных.

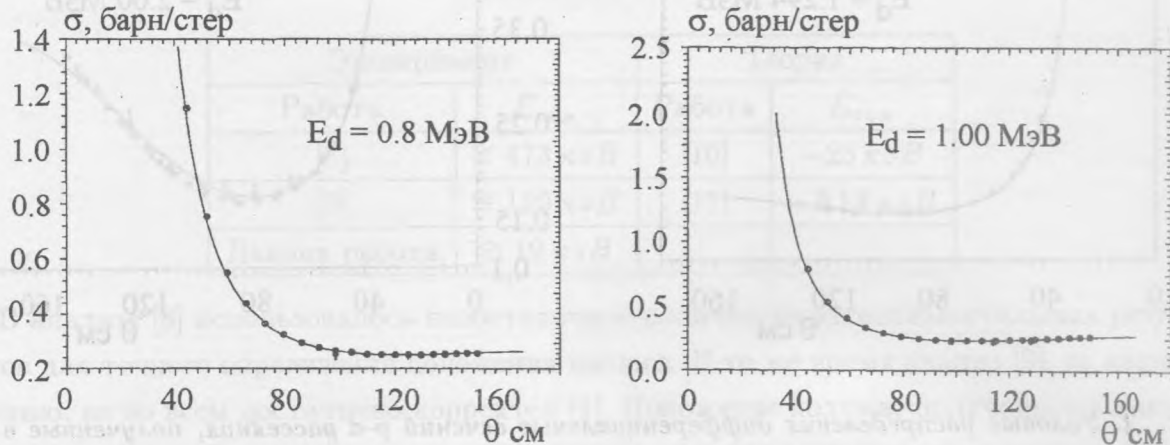


Рис. 1. Угловые распределения дифференциальных сечений p - d рассеяния, полученные в нашем анализе, и экспериментальные данные при $E_d = 0.8$ МэВ и $E_d = 1.0$ МэВ. Кривая – расчет по фазовому анализу; кружки – [4]; сплошные квадраты – [2]. Величины экспериментальных ошибок нанесены на рисунке и, как правило, находятся в пределах маркеров.

В результате минимизации не удалось получить $\chi_{\text{на точку}}^2$ меньше 9.1. На рисунках 1–2 приведены расчеты дифференциальных сечений при нескольких энергиях по фазам данного анализа для сравнения с экспериментальными данными. Видно, что при малой энергии согласие расчета с экспериментом очень хорошее (рис. 1). Небольшое расхождение появляется с ростом энергии и, в основном, на больших углах рассеяния (рис. 2).

Однако, при этом уверенно можно сказать, что наблюдавшийся нами впервые [8] полюс в выражении $k \cdot \text{ctg} \delta$ для дублетной S -фазы в физической области существует, но значительно смещается в сторону меньших энергий. Это наглядно показано на рис. За дублетная S -фаза ${}^2\delta_0$ переходит через нуль при $E_d = 0.055 - 0.060$ МэВ ($E_{\text{сч.м}} \cong 19$ кэВ). Несмотря на то, что величина ${}^2\delta_0$ фазы очень мала, существование полюса можно считать доказанным, так как при пренебрежении полюсом $\chi_{\text{на точку}}^2$ возрастает более чем на порядок, а ${}^2\delta_0$ становится положительной на всем рассматриваемом интервале энергии, что противоречит результатам имеющихся фазовых анализов при большей энергии.

Таким образом, настоящий анализ – уже третья работа, в которой получен полюс и снова при положительной энергии в выражении функции эффективного радиуса для

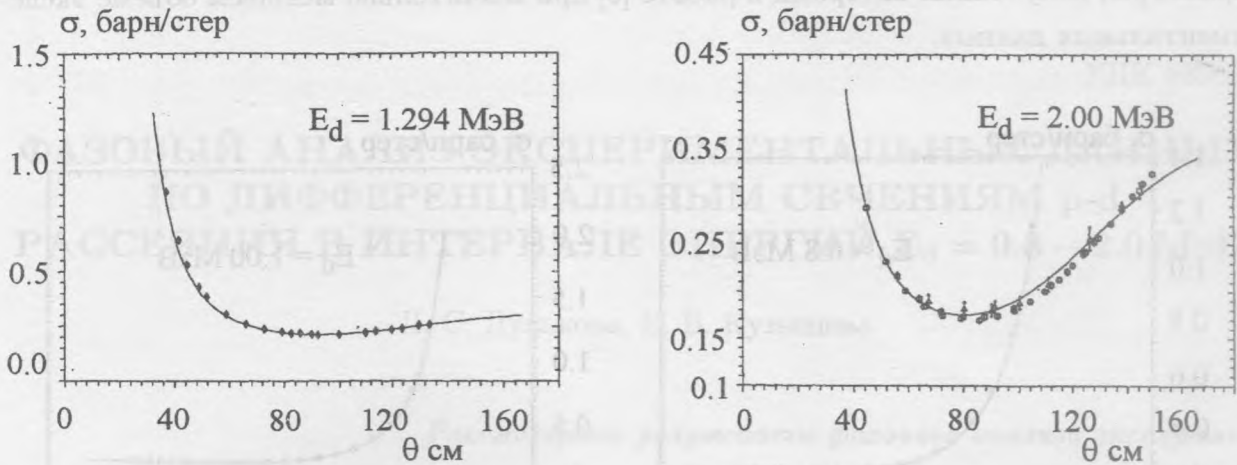


Рис. 2. Угловые распределения дифференциальных сечений p - d рассеяния, полученные в нашем анализе, и экспериментальные данные при $E_d = 1.294$ МэВ и $E_d = 2.0$ МэВ. Кривая – расчет по фазовому анализу; ромбы – [5]; кружки – [4]; треугольники – [7] (при энергии $E_d = 1.97$ МэВ); квадраты – [3]. Величины экспериментальных ошибок нанесены на рисунке и, как правило, находятся в пределах маркеров.

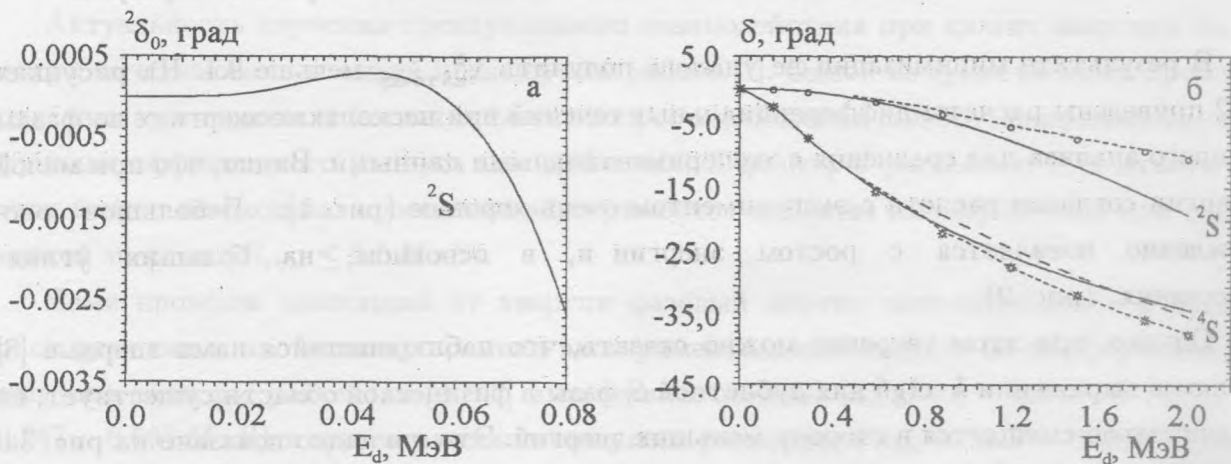


Рис. 3. а) Энергетическая зависимость дублетной ${}^2S_{1/2}$ -фазы в градусах, полученная в данном анализе, при низких энергиях; б) Энергетические зависимости дублетной и квартетной S -фаз в градусах. Сплошные кривые – данный анализ; штриховая кривая – [8]; пунктир – [9]; кружки и звездочки – [10].

дублетной S -фазы p - d рассеяния. В таблице 1 приведены данные, полученные в этих

трех работах, и результаты теоретических расчетов для ожидаемого положения полюса.

Т а б л и ц а 1

Положение полюса в энергетической зависимости дублетной S -фазы

Эксперимент		Теория	
Работа	$E_{сцм}$	Работа	$E_{сцм}$
[8]	$\cong 473 \text{ кэВ}$	[10]	-25 кэВ
[9]	$\cong 120 \text{ кэВ}$	[11]	-3.13 кэВ
Данная работа	$\cong 19 \text{ кэВ}$		

В анализе [8] использовалось недостаточное количество экспериментальных результатов для точного определения положения полюса. В то же время анализ [9], по нашему мнению, не во всем достаточно корректен [1]. Положение полюса, полученное в данной работе, наиболее близко подходит к величинам, даваемым теоретическими расчетами [10, 11], хотя и отличается от них знаком.

На рис. 36 приведены энергетические зависимости дублетной и квартетной S -фаз, полученные в нашем анализе, а также квартетная ${}^4\delta_0$ -фаза из более ранней нашей работы [8]. Данные для ${}^2\delta_0$ из работы [8] на графике не показаны, т.к. они сильно отличаются от новых результатов в связи с резким изменением положения полюса. Для сравнения на рис. 36 приведены теоретические расчеты группы в Лос-Аламосе [10], проведенные с использованием уравнений Фаддеева в конфигурационном пространстве с локальным потенциалом МТ I-III, а также группы итальянских и американских физиков [9], использующих вариационный принцип Кона с реалистическим аргонским потенциалом AV18 и трехнуклонным взаимодействием Урбана (Ur). Видно, что энергетическая зависимость для ${}^4\delta_0$, полученная в данной работе, практически совпадает с нашим ранним результатом [8]. Теоретические кривые для обеих фаз совпадают с энергетическими зависимостями данной работы для $E_d < 1 \text{ МэВ}$, а далее отличаются от них. В то же время величины фазы ${}^2\delta_0$, полученные в работе [9], наоборот, значительно расходятся с теоретической кривой во всей нашей области энергий. К сожалению, мы не имеем количественных значений этих фаз и поэтому мы не можем привести их на нашем рисунке.

В таблице 2 для сравнения приведены дублетные и квартетные S -фазы как экспериментальные, так и расчетные для $E_p = 1 \text{ МэВ}$ ($E_d = 2 \text{ МэВ}$). Из таблицы видно, что при этой энергии наблюдается большой разброс экспериментальных величин, а согласие теории с экспериментом только качественное.

Т а б л и ц а 2

S-фазы в градусах для $E_p = 1$ МэВ ($E_d = 2$ МэВ). В скобках указаны величины, полученные при расчете с потенциалом, включающим трехчастичное взаимодействие

Эксперимент			Теория		
Работа	${}^2\delta_0$	${}^4\delta_0$	Работа	${}^2\delta_0$	${}^4\delta_0$
[12]	-14.1	-35.1	[10]	-10.6	-37.3
[13]	-12.6	-36.6	[14]	-13.2 (-10.0)	-37.0 (-37.0)
[8]	-16.5	-34.6			
Данная работа	-19.1	-33.6			

До настоящего времени наблюдалось большое расхождение между экспериментальными и теоретическими величинами дублетной длины рассеяния. В таблице 3 приведены все имеющиеся на сегодняшний день значения экспериментальных длин рассеяния как дублетной, так и квартетной, а также теоретические данные всех известных к настоящему времени работ, опубликованных после 1985 года. (До этого времени расчеты были не очень точны и иногда давали значения длин рассеяния, отличающиеся на порядок [15, 16].)

Следует подчеркнуть, что из таблицы 3 видно хорошее согласие дублетных и квартетных длин p - d рассеяния, полученных в данной работе и в последнем известном фазовом анализе [9]. Кроме того, введение полюса в функцию эффективного радиуса для дублетной S -фазы ([9] и данная работа) приводит к существенно лучшему согласию экспериментальных длин рассеяния с теорией, как и предсказывалось в работе [10]. Однако, полученные в последних анализах отрицательные значения дублетных длин рассеяния означают существование полюса в физической области, в то время как теория дает положительные длины рассеяния, а, следовательно, и полюс при отрицательной энергии (смотри выше [10, 11]). Только в работе [20] получено ${}^2a_{pd} < 0$, но в ней не рассчитывается положение полюса. Таким образом, существует расхождение между экспериментом и теорией по вопросу о положении полюса, а, значит, необходимо дальнейшее исследование этой проблемы.

Что касается P -фаз, то их энергетическая зависимость не содержит полюса, а их величины малы и плохо определяются. В то же время, по-видимому, именно P -фазы ответственны за постоянно наблюдаемое значительное отличие экспериментальных значений векторной анализирующей способности и поляризации от расчетных [14, 21]. По-

этому получение их в фазовом анализе с достаточной точностью представляет большой интерес. Для лучшего определения P -фаз необходимо включение в анализ экспериментальных данных по поляризационным наблюдаемым. В настоящее время такие данные появились [5, 11, 12].

Т а б л и ц а 3

Дублетные и квартетные длины p - d рассеяния

Эксперимент			Теория		
Работа	${}^2a_{pd}$ (ф м)	${}^4a_{pd}$ (ф м)	Работа	${}^2a_{pd}$ (ф м)	${}^4a_{pd}$ (ф м)
[17]	1.3 ± 0.2	$11.4 + 1.8$ -1.2	[18]	≈ 0	13.76
[13]	2.73 ± 0.10	$11.88 + 0.4$ -0.1	[19]	0.257	13.76
[12]	$4.0 + 1.0$ -0.67	$11.11 + 0.25$ -0.24	[20]	-0.1	-
[8]	-0.5 ± 1.0	10.7 ± 0.3	[10]	0.17	13.8
[9]	-0.13 ± 0.04	14.7 ± 2.3	[11]	0.024	13.8
Данная работа	-0.12	14.5			

Полученное небольшое отклонение рассчитанных величин дифференциальных сечений от экспериментальных на больших углах связано, по-видимому, с использованием в анализе только S - и P -волн. Кроме того, результаты подгонки сильно зависят от точности входных параметров и области их определения в связи с очень сложной формой поверхности минимизируемого функционала. В данной работе в качестве нулевого приближения использовались параметры, полученные нами ранее [8] при обработке экспериментальных данных для $\Theta_{cm} > 90^\circ$. В настоящее время исследуемый интервал углов значительно расширился. Возможно, что для лучшего описания полной угловой зависимости, необходимо использовать другие стартовые параметры, а также учитывать небольшой вклад D -волны, который дается для этих энергий теоретическими расчетами.

Предполагается продолжение работы с учетом S -, P - и D -волн и данных по поляризационным наблюдаемым.

Авторы благодарят Карла Бруне за предоставление экспериментального материала, а также Б. А. Бенецкого и В. А. Сергеева за полезные обсуждения.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] Дулькова Л. С., Кузнецова Е. В. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 10, 39 (2000).
- [2] Барит И. Я., Балашко Ю. Г., Дулькова Л. С., Заварзина В. П. Изв. АН СССР, сер. физ., **42**, N 7, 1549 (1978).
- [3] Kocher D. C., Slegg T. B. Nucl. Phys., **A132**, 455 (1969).
- [4] Huttel E. et al. Nucl. Phys., **A406**, N 3, 435 (1983).
- [5] Brune C. R. et al. Phys. Rev., **C63**, N 4, 044013, 1 (2001).
- [6] Sherr R., Blair J. M. et al. Phys. Rev., **72**, N 8, 662 (1947).
- [7] Brown R. J. S. et al. Phys. Rev., **88**, N 2, 253 (1952).
- [8] Барит И. Я., Дулькова Л. С., Кузнецова Е. В., Соболевский Н. М. В сб.: Тезисы докладов XXXIII совещ. по яд. спектроскопии и структуре атом. ядра. Ленинград, Наука, 316 (1983); Украинский физический журнал, **30**, N 11, 1630 (1985); В сб.: Физика атомного ядра и элементарных частиц, ч. 2. М., ЦНИИ атоминформ, 109 (1983).
- [9] Black T. C. et al. Phys. Lett., **B471**, N 2-3, 103 (1999).
- [10] Chen C. R. et al. Phys. Rev., **C39**, N 4, 1261 (1989).
- [11] Kievsky A. et al. Phys. Lett., **B406**, N 4, 292 (1997).
- [12] Huttel E. et al. Nucl. Phys., **A406**, N 3, 443 (1983).
- [13] Arvieux J. Nucl. Phys., **A221**, N 2, 253 (1974).
- [14] Kievsky A. et al. Nucl. Phys., **A607**, N 4, 402 (1996).
- [15] Квицинский А. А. Письма в ЖЭТФ, **36**, вып. 10, 375 (1982).
- [16] Friar J. L. et al. Phys. Lett., **B124**, N 5, 257 (1983).
- [17] Vav Oers W. T. H., Brockman K. W. Nucl. Phys., **A92**, N 3, 561 (1967).
- [18] Chen C. R. et al. Phys. Rev., **C44**, N 1, 50 (1991).
- [19] Berthold G. H., Zankel H. Phys. Rev., **C34**, N 4, 1203 (1986).
- [20] Харченко В. П., Навроцкий М. А., Катеринчук П. А. Ядерная физика, **55**, вып. 1, 86 (1992).
- [21] Brune C. R. et al. Phys. Lett., **B428**, 13 (1998).