

**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES**

ISSN 1991-346X

Volume 5, Number 303 (2015), 28 – 32

## **PHASE SHIFTS ANALYSIS OF PROTONS ELASTIC SCATTERING ON $^{16}\text{O}$ . II**

**S. B. Dubovichenko, A. V. Dzhazairov-Kakhramanov, A. S. Tkachenko**

V. G. Fessenkov Astrophysical institute «NCSRT» RK, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: dubovichenko@gmail.com; albert-j@yandex.ru; hangovergoddess@gmail.com

**Keywords:** nuclear physics, elastic scattering,  $\text{p}^{16}\text{O}$  system.

**Abstract.** The standard phase shift analysis at energies from 0.4 to 3.0 MeV was carried out on the basis of known experimental measurements of the differential cross sections in the excitation functions of the elastic  $\text{p}^{16}\text{O}$  scattering in the range of 110°-178°.

УДК 52-48, 524, 539.14, 539.17

## **ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ПРОТОНОВ НА $^{16}\text{O}$ . II**

**С. Б. Дубовиченко, А. В. Джазаиров-Кахраманов, А. С. Ткаченко**

Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова «НЦКИТ» РК, Алматы, Казахстан

**Ключевые слова:** ядерная физика, упругое рассеяние,  $\text{p}^{16}\text{O}$  система.

**Аннотация.** На основе известных экспериментальных измерений дифференциальных сечений в функциях возбуждения упругого  $p^{16}\text{O}$ -рассеяния в области углов  $110^0\text{-}178^0$  выполнен стандартный фазовый анализ при энергиях от 0.4 до 3.0 МэВ.

**Введение.** Переходя теперь к непосредственному описанию результатов нашего нового фазового анализа упругого  $p^{16}\text{O}$ -рассеяния при энергиях 0.4–3.0 МэВ, напомним, что ранее мы уже выполняли фазовый анализ в системах  $n^3\text{He}$  [1],  $p^6\text{Li}$  [2],  $n^{12}\text{C}$  [3],  $p^{12}\text{C}$  [4],  $^4\text{He}^4\text{He}$  [5],  $^4\text{He}^{12}\text{C}$  [6],  $p^{13}\text{C}$  [7],  $p^{14}\text{C}$  [8] и  $n^{16}\text{O}$  [9], причем, в основном при астрофизических энергиях. Для поиска данных по дифференциальным сечениям из разных работ мы использовали базу данных EXFOR [10]. Заметим, что в своих анализах мы использовали точные значения масс частиц, равные  $M_p=1.00727646577\text{D-000}$  и  $M_{^{16}\text{O}}=15.994915\text{D-000}$  – они взяты из баз данных [11] и [12].

### Фазовый анализ функций возбуждения

Как уже говорилось, в [13] выполнены измерения функций возбуждения при энергиях от 0.4 до 2 МэВ, однако, фазовый анализ этих экспериментальных данных не проводился. На рисунке 1 точками показаны результаты измерений, выполненных в этой работе при угле рассеяния  $171.5^0$ . На рисунке 2 кружками приведены результаты нашего фазового анализа, полученного на основе функций возбуждения [13].

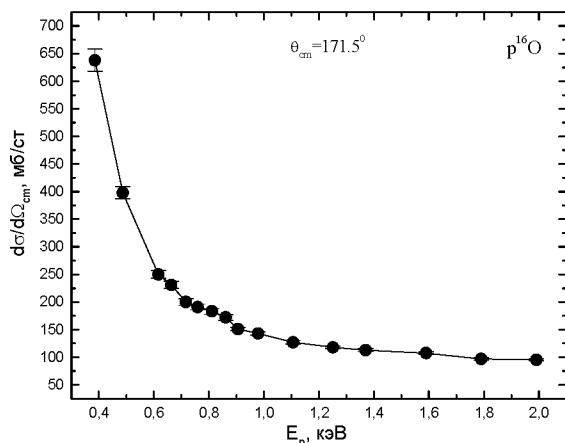


Рисунок 1 – Функции возбуждения упругого  $p^{16}\text{O}$ -рассеяния при низких энергиях, полученные в работах [13]

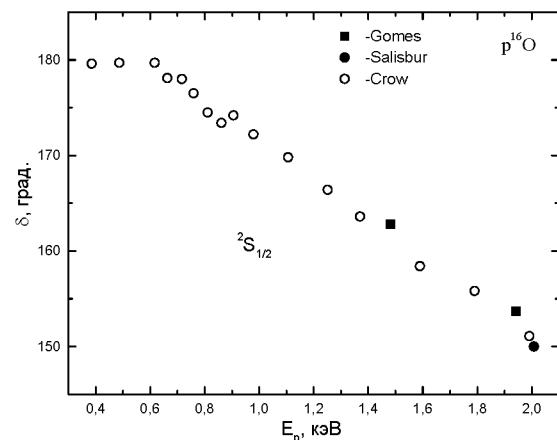


Рисунок 2 – Фазы упругого  $p^{16}\text{O}$ -рассеяния, полученные нами из функций возбуждения работы [13]. Приведено сравнение с результатами фазовых анализов работ [14, 15] при энергии выше 1.5 МэВ

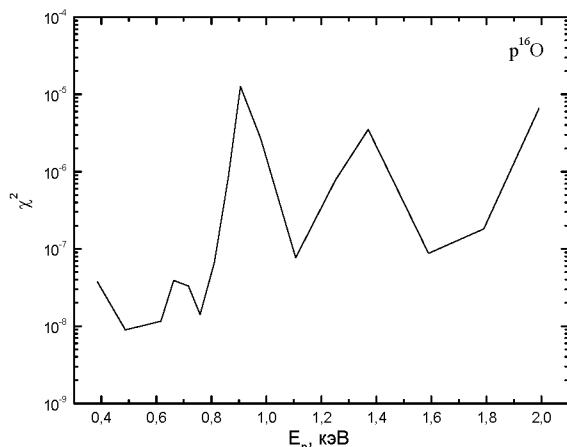


Рисунок 3 – Величина  $\chi^2$ , полученная с фазами рассеяний, показанными на рисунке 2, при описании экспериментальных функций возбуждения

практически равна  $180^\circ$ . При энергиях выше 1.5 МэВ наблюдается хорошее согласие с предыдущими результатами фазовых анализов. Отличие новых и старых результатов по фазам рассеяния, полученных в 60-х годах прошлого века, не превышает, по-видимому,  $2\text{--}3^\circ$ . Здесь можно заметить, что сами измерения дифференциальных сечений работы [13] были выполнены в середине 70-х годов XX века и мало отличаются от данных работ [14, 15].

Поскольку фазовый анализ выполняется по одной точке в сечениях, т.е. при одном значении сечения при заданной энергии, одна  $S_{1/2}$ -фаза рассеяния находится полностью однозначно. Это демонстрирует величина  $\chi^2$ , показанная на рисунке 3, и находящаяся на уровне  $10^{-5}\text{--}10^{-8}$ . Она характеризует отличие экспериментального и рассчитанного с полченными фазами сечения в функциях возбуждения.

Далее рассмотрим результаты, получаемые в фазовом анализе, который выполнен на основе данных работы [16] в области энергий 1–3 МэВ при трех углах рассеяния  $110^\circ$ ,  $150^\circ$  и  $170^\circ$  в лабораторной системе (л.с.) или  $113.4^\circ$ ,  $151.8^\circ$  и  $170.6^\circ$  в центре масс (ц.м.). Результаты описания сечений для первого угла с полученными теоретическими фазами приведены на рисунке 4, а сами фазы показаны на рисунке 5. На рисунках 6 и 7 показаны аналогичные результаты для угла рассеяния  $150^\circ$ , а на рисунках 8 и 9 подобные результаты для угла  $170^\circ$ . При всех энергиях учитывалась только  $S_{1/2}$ -фаза рассеяния при всех  $P$ -фазах равных нулю.

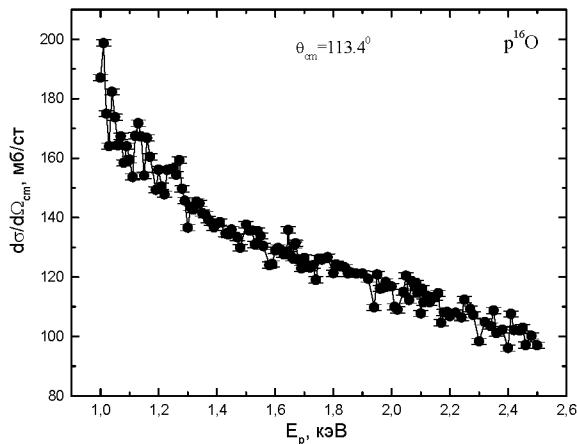


Рисунок 4 – Функции возбуждения упругого  $p^{16}\text{O}$ -рассеяния при низких энергиях, полученные в работах [16]

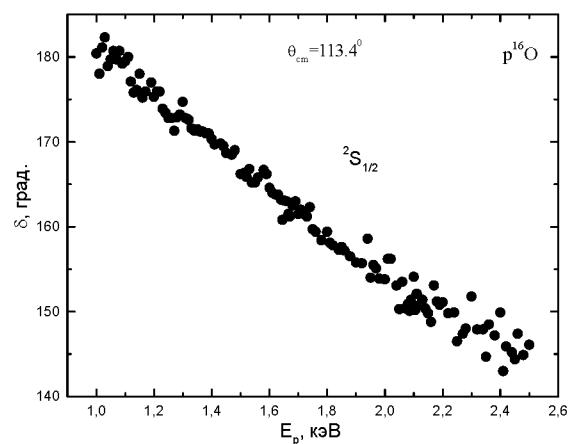


Рисунок 5 – Фазы упругого  $p^{16}\text{O}$ -рассеяния, полученные нами из функций возбуждения работы [16]

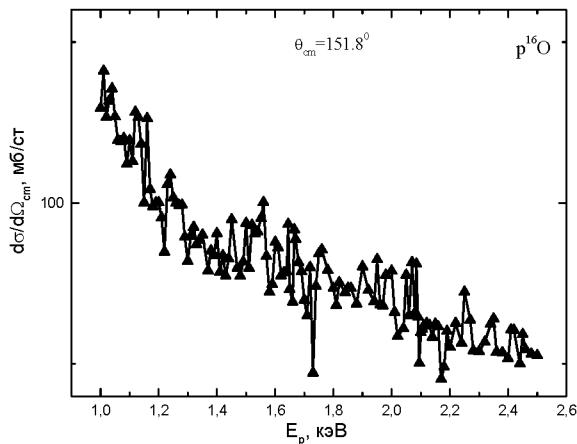


Рисунок 6 – Функции возбуждения упругого  $p^{16}\text{O}$ -рассеяния при низких энергиях, полученные в работах [16]

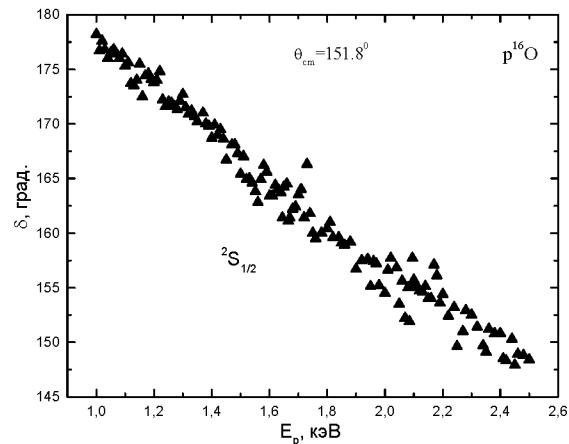


Рисунок 7 – Фазы упругого  $p^{16}\text{O}$ -рассеяния, полученные нами из функций возбуждения работы [16]

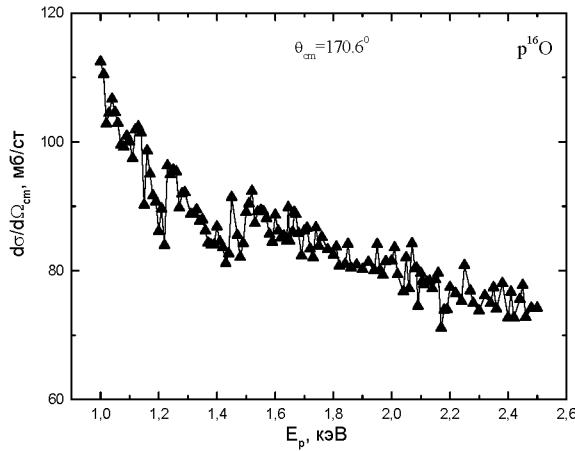


Рисунок 8 – Функции возбуждения упругого  $p^{16}\text{O}$ -рассеяния при низких энергиях, полученные в работах [16]

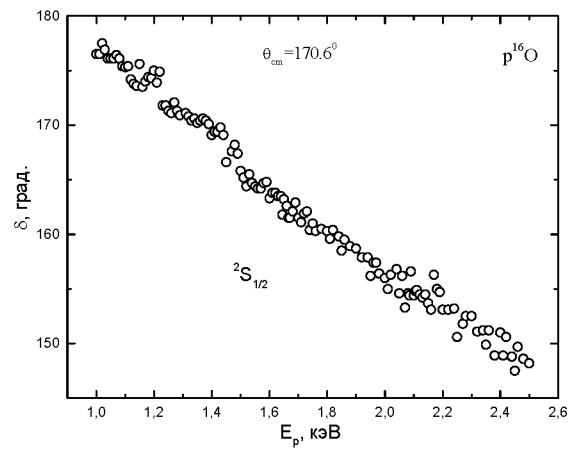


Рисунок 9 – Фазы упругого  $p^{16}\text{O}$ -рассеяния, полученные нами из функций возбуждения работы [16]

Как видно из приведенных рисунков, при наличии одной  $S_{1/2}$ -фазы рассеяния удается вполне правильно описать имеющиеся экспериментальные данные из работы [16] при всех энергиях и углах в  $p^{16}\text{O}$ -рассеянии. Для примера, который демонстрирует качество описания эксперимента, на рисунках 10 и 11 показана величина  $\chi^2$  для двух углов рассеяния. Как видно из этих результатов, величина  $\chi^2$  не превышает  $10^{-4}$  для каждой точки в функциях возбуждения работы [16]. Учет только одной  $S_{1/2}$ -фазы рассеяния позволяет хорошо описать все данные по функциям возбуждения

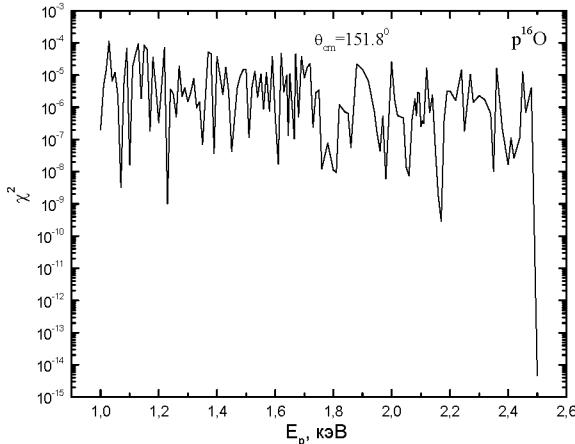


Рисунок 10 – Величина  $\chi^2$ , полученная с фазами рассеяния, показанными на рисунке 7, при описании экспериментальных функций возбуждения

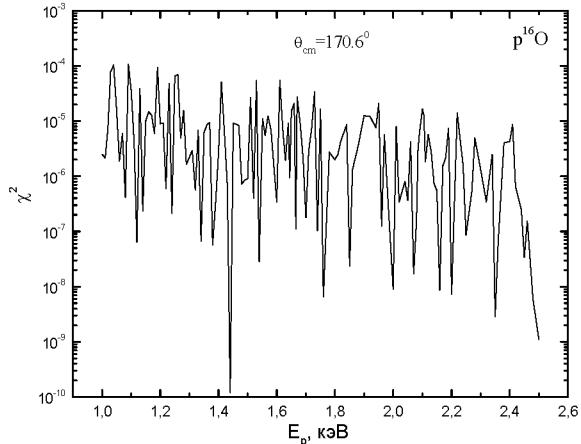
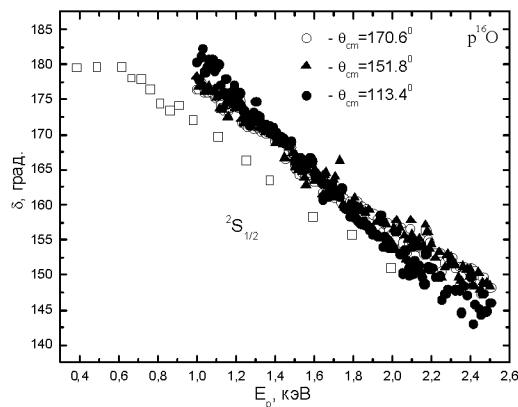


Рисунок 11 – Величина  $\chi^2$ , полученная с фазами рассеяния, показанными на рисунке 9, при описании экспериментальных функций возбуждения

Рисунок 12 – Фазы упругого  $p^{16}\text{O}$ -рассеяния, полученные нами из функций возбуждения работы [16] при трех углах рассеяния в сравнении с результатами для работы [13] – открытые квадраты



из работы [16] до области резонанса 2.66 МэВ [17]. На следующем рисунке 12 приведены все фазы, полученные для указанных трех углах рассеяния в сравнении с результатами для работы [13]. Видно, что здесь наблюдается заметное различие между результатами фазовых анализов работы [13] и [16].

Таким образом, получены результаты фазового анализа для данных из нескольких работ при разных углах рассеяния в области энергий 0.4–2.5 МэВ. Видно, что результаты для фаз рассеяния, полученные на основе данных работы [13] опубликованной в 1975 г., расположены заметно ниже аналогичных результатов для работы [16], изданных в 1983 и 1993 г. соответственно. В следующей части данной статьи мы рассмотрим другие экспериментальные данные и результаты для фазового анализа, которые из них следуют.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Dubovichenko S.B. // Russ. Phys. J. - 2015. (в печати)
- [2] Dubovichenko S.B., Zazulin D.M. // Russ. Phys. J. - 2010. V.53. №5. - P.458.
- [3] Dubovichenko S.B. // Russ. Phys. J. - 2012. V.55 №5. - P.561.
- [4] Dubovichenko S.B. // Russ. Phys. J. - 2008. V.51. №11. - P.1136.
- [5] Dubovichenko S.B. // Phys. Atom. Nucl. - 2008. V.71. №1. - P.65.
- [6] Dubovichenko S.B. // Russ. Phys. J. - 2009. V.52. №7. - P.715.
- [7] Dubovichenko S.B. // Phys. Atom. Nucl. - 2012. V.75. №3. - P.285.
- [8] Dubovichenko S.B. // Russ. Phys. J. - 2015. (в печати)
- [9] Dubovichenko S.B. // Russ. Phys. J. - 2013. V.55. №9. - P.992.
- [10] <http://cdfe.sinp.msu.ru/exfor/index.php>.
- [11] [http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?mud|search\\_for=atomnuc!](http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?mud|search_for=atomnuc!)
- [12] <http://cdfe.sinp.msu.ru/cgi-bin/muh/radchartnucl.cgi?zmin=0&zmax=14&tdata=123456>.
- [13] Chow H.C., Griffithsa G.M., Hall T.H. The  $^{16}\text{O}(\text{p},\gamma)^{17}\text{F}$  Direct Capture Cross Section with an Extrapolation to Astrophysical Energies // Can. J. Phys. -1975. V.53. –P.1672-1687.
- [14] Salisbury S.R. and Richards H.T.  $^{17}\text{F}$  Level Parameters // Phys. Rev. - 1962. V.126. - P.2147-2158.
- [15] Gomes V., Douglas R.A., Polga T. and Sala O. The  $E_{\text{p}} = 2.66$  MeV resonance in  $^{16}\text{O}(\text{p}, \text{p})^{16}\text{O}$  // Nucl. Phys. - 1965. V.A68. - P.417-425.
- [16] Amirikas R., Jamieson D.N. and Dooley S.P. Measurement of (p, p) elastic cross sections for C, O and Si in the energy range 1.0-3.5 MeV // Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res. - 1993. V.B77. - P.110-116.
- [17] Tilley D.R., Weller H.R., Cheves C.M. // Nucl. Phys. - 1993. V.A564. - P.1-183.

#### REFERENCES

- [1] Dubovichenko S.B. Russ. Phys. J., 2015. (в печати)
- [2] Dubovichenko S.B., Zazulin D.M. Russ. Phys. J., 2010. V.53. №5. P.458.
- [3] Dubovichenko S.B. Russ. Phys. J., 2012. V.55 №5. P.561.
- [4] Dubovichenko S.B. Russ. Phys. J., 2008. V.51. №11. P.1136.
- [5] Dubovichenko S.B. Phys. Atom. Nucl., 2008. V.71. №1. P.65.
- [6] Dubovichenko S.B. Russ. Phys. J., 2009. V.52. №7. P.715.
- [7] Dubovichenko S.B. Phys. Atom. Nucl., 2012. V.75. №3. P.285.
- [8] Dubovichenko S.B. Russ. Phys. J., 2015. (в печати)
- [9] Dubovichenko S.B. Russ. Phys. J., 2013. V.55. №9. P.992.
- [10] <http://cdfe.sinp.msu.ru/exfor/index.php>.
- [11] [http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?mud|search\\_for=atomnuc!](http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?mud|search_for=atomnuc!)
- [12] <http://cdfe.sinp.msu.ru/cgi-bin/muh/radchartnucl.cgi?zmin=0&zmax=14&tdata=123456>.
- [13] Chow H.C., Griffithsa G.M., Hall T.H. The  $^{16}\text{O}(\text{p},\gamma)^{17}\text{F}$  Direct Capture Cross Section with an Extrapolation to Astrophysical Energies. Can. J. Phys., 1975. V.53. P.1672-1687.
- [14] Salisbury S.R. and Richards H.T.  $^{17}\text{F}$  Level Parameters. Phys. Rev., 1962. V.126. P.2147-2158.
- [15] Gomes V., Douglas R.A., Polga T. and Sala O. The  $E_{\text{p}} = 2.66$  MeV resonance in  $^{16}\text{O}(\text{p}, \text{p})^{16}\text{O}$ . Nucl. Phys., 1965. V.A68. P.417-425.
- [16] Amirikas R., Jamieson D.N. and Dooley S.P. Measurement of (p, p) elastic cross sections for C, O and Si in the energy range 1.0-3.5 MeV. Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res., 1993. V.B77. P.110-116.
- [17] Tilley D.R., Weller H.R., Cheves C.M. Nucl. Phys., 1993. V.A564. P.1-183.

#### ПРОТОНДАРДЫН $^{16}\text{O}$ -ГЕ СЕРПІМДІ ШАШЫРАУЫН ФАЗАЛЫҚ ТАЛДАУ. II

С. Б. Дубовиченко, А. В. Джазаиров-Кахраманов, А. С. Ткаченко

ҚР «Үлттүк ғарыштық зерттеулер мен технологиялар орталығы» В. Г. Фесенков атындағы  
Астрофизикалық институты, Алматы, Қазақстан

**Тірек сөздер:** ядролық физика, серпімді шашырау,  $\text{p}^{16}\text{O}$  жүйесі.

**Аннотация.** 110°-178° бүрыштары аймагындағы серпімді  $\text{p}^{16}\text{O}$ -шашырауды қозу функцияларындағы дифференциалдық қималарды белгілі эксперименттік өлшемдердің негізінде 0.4 МэВ бастап 2.5 МэВ дейінгі энергияларда стандарттық фазалық талдау жасалды.

Поступила 15.15.2015 г.