

N E W S

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 5, Number 303 (2015), 22 – 28

**PHASE SHIFTS ANALYSIS OF PROTONS ELASTIC SCATTERING
ON ^{16}O . I**

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, p^{16}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 p^{16}O scattering in the range of 110°-178°.

УДК 52-48, 524, 539.14, 539.17

**ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ПРОТОНОВ
НА ^{16}O . I**

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, p^{16}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. Ранее в работах [1] нами была показана возможность описания кулоновских форм-факторов ядер лития на основе потенциальной кластерной модели (ПКМ) [2, 3]. Такая модель учитывает запрещенные состояния [3-6] в межкластерных потенциалах, которые использовались нами еще в работах [7]. Далее в работах [8] нами продемонстрирована возможность правильного воспроизведения практически всех характеристик ядра ${}^6\text{Li}$, включая его квадрупольный момент, в потенциальной кластерной модели с тензорными силами [4]. И наконец, в работах [2, 3, 9-14] показана возможность описания астрофизических S -факторов или полных сечений радиационного $n^2\text{H}$, $p^2\text{H}$, $p^3\text{H}$, $n^6\text{Li}$, $p^6\text{Li}$, $n^7\text{Li}$, $p^7\text{Li}$, $p^9\text{Be}$, $n^9\text{Be}$, $p^{10}\text{B}$, $n^{10}\text{B}$, $p^{11}\text{B}$, $n^{11}\text{B}$, $n^{12}\text{C}$, $p^{12}\text{C}$, $n^{13}\text{C}$, $p^{13}\text{C}$, $n^{14}\text{C}$, $p^{14}\text{C}$, $n^{14}\text{N}$, $n^{15}\text{N}$, $p^{15}\text{N}$, $n^{16}\text{O}$ и ${}^2\text{H}^4\text{He}$, ${}^3\text{He}^4\text{He}$, ${}^3\text{H}^4\text{He}$, ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$ захвата при тепловых и астрофизических энергиях. Эти расчеты 27-ми перечисленных выше процессов захвата выполнены на основе модифицированного варианта ПКМ (МПКМ), описанного в работах [13, 15].

Определенный успех такой МПКМ можно объяснить тем, что потенциалы межкластерного взаимодействия строятся на основе известных фаз упругого рассеяния с учетом классификации кластерных состояний по схемам Юнга [16]. Извлекаемые из экспериментальных дифференциальных сечений фазы упругого рассеяния позволяют таким образом построить потенциалы взаимодействия двух частиц в непрерывном спектре и выполнить расчеты некоторых характеристик их взаимодействия в процессах рассеяния и реакций. Например, это могут быть астрофизические S -факторы реакций радиационного захвата [17] или полные сечения таких реакций [18], в том числе, и радиационного захвата для некоторых термоядерных реакций в астрофизической области энергий, которая обычно рассматривается в наших предыдущих работах [2, 15].

Переходя теперь к непосредственному описанию результатов нашего фазового анализа упругого $p^{16}\text{O}$ -рассеяния, заметим, что ранее мы уже выполняли фазовый анализ в системах $n^3\text{He}$ [19], $p^6\text{Li}$ [20], $n^{12}\text{C}$ [21], $p^{12}\text{C}$ [22], ${}^4\text{He}^4\text{He}$ [23], ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$ [24], $p^{13}\text{C}$ [25], $p^{14}\text{C}$ [26] и $n^{16}\text{O}$ [27], причем, в основном при низких и астрофизических энергиях.

Структура кластерных состояний для $p^{16}\text{O}$ системы

Как обычно [2, 15], предполагаем, что связанное состояние (СС) ядра ${}^{17}\text{F}$ обусловлено кластерным каналом, состоящем из начальных частиц, которые участвуют в реакции. Рассмотрим классификацию орбитальных состояний $p^{16}\text{O}$ -системы по схемам Юнга. Основному связанному состоянию ядра ${}^{16}\text{O}$ соответствует схема Юнга $\{4444\}$ [12], поэтому для $p^{16}\text{O}$ -системы имеем $\{1\} \times \{4444\} = \{5444\} + \{44441\}$. Первая из полученных схем совместима с орбитальным моментом $L = 0$ и является запрещенной, поскольку в s -оболочке не может быть пять нуклонов, а вторая схема разрешена (РС) и совместима с орбитальным моментом $L = 1$ [16, 28].

Таким образом, в потенциале ${}^2S_{1/2}$ -волны, которая соответствует первому возбужденному состоянию (ПВС) ядра ${}^{17}\text{F}$ при 0.4953 МэВ с $J^\pi = 1/2^+$ относительно основного состояния (ОС) или -0.1052 МэВ относительно порога $p^{16}\text{O}$ -канала и S -состояниям рассеяния этих кластеров, имеется запрещенное связанное состояние. 2P -волны рассеяния связанных ЗС не содержит, а разрешенное состояние с $\{44441\}$ может располагаться, как в непрерывном, так и дискретном спектре. Основное состояние ядра ${}^{17}\text{F}$ с $J^\pi = 5/2^+, 1/2$ в $p^{16}\text{O}$ -канале, которое находится при энергии -0.6005 МэВ [29], относится к ${}^2D_{5/2}$ -волне и также не содержит запрещенных СС.

Однако у нас отсутствуют полные таблицы произведений схем Юнга для системы с числом частиц больше восьми [30], которые использовались нами ранее для подобных расчетов [2, 4, 15, 31]. Поэтому полученный выше результат следует считать лишь качественной оценкой возможных орбитальных симметрий в связанных состояниях ядра ${}^{17}\text{F}$ для $p^{16}\text{O}$ -канала. В тоже время уже показано, что столь простая оценка числа ЗС и РС позволяет построить потенциалы, которые используются в МПКМ и приводят к правильному описанию имеющихся экспериментальных данных по радиационному захвату некоторых частиц на легких ядрах [2, 15, 31].

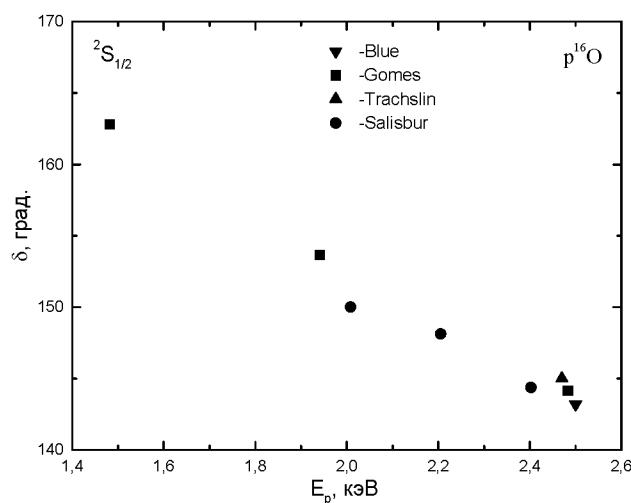
Обзор экспериментальных данных

Как уже говорилось, для построения потенциалов взаимодействия кластеров или нуклонов с ядрами в МПКМ обычно используются фазы упругого рассеяния рассматриваемых частиц. В данном случае будут рассмотрены процессы упругого $p^{16}\text{O}$ -рассеяния при низких энергиях, которые позволят получить фазы рассеяния и построить нужные для описания $p^{16}\text{O}$ -процессов захвата потенциалы взаимодействия.

По-видимому, одни из первых измерений дифференциальных сечений упругого $p^{16}\text{O}$ -рассеяния с выполнением фазового анализа при энергиях 2.0–7.6 МэВ были сделаны в работе [32]. Этот анализ использовал результаты работ [33] и [34] и некоторые неопубликованные результаты [32] в области энергий 2.0–4.26 и 4.25–7.6 МэВ соответственно. Для поиска данных по таким сечениям мы использовали базу данных EXFOR [35].

Впоследствии в работе [36] были измерены поляризации упругого $p^{16}\text{O}$ -рассеяния в области 2.5–5.0 МэВ и сделан новый фазовый анализ при этих энергиях, который, однако, явно не показывал резонанс при 2.66 МэВ. Далее в работах [37] и [38] был выполнен детальный фазовый анализ упругого $p^{16}\text{O}$ -рассеяния при энергиях 1.5–3.0 и 2.5–3.0 МэВ соответственно и показано присутствие узкого резонанса при уточненной впоследствии энергии протонов 2.663(7) МэВ с шириной 19(1) кэВ, который соответствует первому надпороговому состоянию в $p^{16}\text{O}$ -канале при 3.104 МэВ с $J^\pi = 1/2^+$ [29].

Впоследствии процессы упругого рассеяния для этой системы были рассмотрены во многих работах (см., например, [29] и [39, 40]) в области энергий 1.0–3.5 МэВ. Например, в работах [41, 42] рассмотрена область энергий с 0.5–0.6 МэВ и до 2.0–2.5 МэВ. В частности, в работе [43] выполнены измерения функций возбуждения при энергиях от 0.4 до 2.0 МэВ. Однако во всех этих работах [39–43] фазовый анализ полученных экспериментальных данных не проводился. В результате имеющиеся фазовые анализы были выполнены в 60-х годах XX века и обычно начинались с 2.0–2.5 МэВ. Имеется только одна точка в фазах рассеяния при 1.5 МэВ, полученная в работе [37], которая так и не была подтверждена впоследствии в других работах. Все эти результаты фазовых анализов при энергиях до 2.5 МэВ показаны на рисунке.



Фазы упругого $p^{16}\text{O}$ -рассеяния при низких энергиях, полученные в работах [32, 36–38]

Поскольку мы будем рассматривать далее радиационный захват в области энергий до 2.5–3.0 МэВ, то результатов этих работ вполне достаточно для построения потенциалов $p^{16}\text{O}$ -взаимодействия по фазам рассеяния, без учета первого резонанса при 2.663 МэВ [29]. Для этого мы выполним фазовый анализ имеющихся экспериментальных данных работ [39–43] при энергиях в области от 0.4 до 2.5–3.0 МэВ. А также перепроверим результаты некоторых других фазовых анализов, выполненных в 60-е годы прошлого века. Методы, используемые при фазовом анализе, хорошо описаны в классической книге [44] или в книгах одного из авторов данной статьи [5, 15].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Calculation of coulomb form-factors of lithium nuclei in a cluster model based on potentials with forbidden states // Phys. Atom. Nucl. - 1994. V.57. №5. - P.733-740; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Electromagnetic effects in light nuclei and the cluster potential model // Phys. Part. Nucl. - 1997. V.28. №6. P.615-641.
- [2] Dubovichenko S.B. Thermonuclear processes of the Universe. - New-York: NOVA Sci. Publ., 2012. -p.194.
- [3] Dubovichenko S.B., Neudatchin V.G., Sakharuk A.A., et al. Generalized potential description of the interaction of the lightest nuclei p^3H and p^3He // Izv. Akad. Nauk SSSR Ser. Fiz. - 1990. V.54. №5. - P.911-916; Neudatchin V.G., Sakharuk A.A., Dubovichenko S.B. Photodisintegration of 4He and the supermultiplet potential model of cluster-cluster interactions // Few-Body Systems - 1995. V.18. №2-4. - P.159-172.
- [4] Dubovichenko S.B. Light nuclei and nuclear astrophysics Sec. Edit., revised and expanded - Germany. Saarbrucken: Lambert AcaD. Publ. GmbH&Co. KG, 2013. – 320 p.
- [5] Dubovichenko S.B. Calculation methods of nuclear characteristics. Sec. Edit., revised and expanded. - Germany. Saarbrucken: Lambert AcaD. Publ. GmbH&Co. KG, 2012. – 425 p.
- [6] Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Potential description of elastic N^2H , $^2H^2H$, N^4He and $^2H^3He$ scattering // Sov. Jour. Nucl. Phys. - 1990. V.51. №6. - P.971-977; Dubovichenko S.B. Analysis of photonuclear processes in the N^2H and $^2H^3He$ systems on the basis of cluster-models for potentials with forbidden states // Phys. Atom. Nucl. - 1995. V.58. №7. - P.1174-1180.
- [7] Dubovichenko S.B., Zhusupov M.A. The structure of light-nuclei with $A=6,7,8$ in cluster models for potentials with forbidden states // Izv. Akad. Nauk SSSR Ser. Fiz. - 1984. V.48. №5. - P.935-937; Dubovichenko S.B., Zhusupov M.A. Some characteristics of the nucleus 7Li in the $^3H^4He$ model for potentials with forbidden states // Sov. Jour. Nucl. Phys. - 1984. V.39. №6. - P.870-872.
- [8] Dubovichenko S.B. Tensor $^2H^4He$ interactions in the potential cluster model involving forbidden states // Phys. Atom. Nucl. - 1998. V.61. №2. - P.162-168; Kukulin V.I., Pomerantsev V.N., Cooper S.G., Dubovichenko S.B. Improved d^4He potentials by inversion: The tensor force and validity of the double folding model // Phys. Rev. - 1998. V.C57. №5. - P.2462-2473.
- [9] Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Astrophysical S-factor of the radiative p^2H capture // Euro. Phys. Jour. - 2009. V.A39. №2. - P.139-143; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Radiative n^7Li capture at Astrophysical Energies // Annalen der Physik - 2012. V.524. №12. - P.850-861; Dubovichenko S.B., Burkova N.A. Radiative $n^{11}B$ capture at astrophysical energies // Mod. Phys. Lett. - 2014. V.A29. №7. - P.1450036(1-14); Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V., Burtebaev N., Alimov D. Radiative $p^{14}C$ capture at astrophysical energies // Mod. Phys. Lett. - 2014. V.A29. №24. - P.1450125(1-16).
- [10] Dubovichenko S.B. Astrophysical S-factors of radiative $^3He^4He$, $^3H^4He$, and $^2H^4He$ capture // Phys. Atom. Nucl. - 2010. V.73. №9. - P.1526-1538; Dubovichenko S.B. Astrophysical S-factors for radiative proton capture by 3H and 7Li nuclei // Phys. Atom. Nucl. - 2011. V.74. №3. - P.358-370; Dubovichenko S.B. Astrophysical S-factor for the radiative-capture reaction $p^{13}C \rightarrow ^{14}Ny$ // Phys. Atom. Nucl. - 2012. V.75. №2. - P.173-181; Dubovichenko S.B. Radiative neutron capture by 2H , 7Li , ^{14}C , and ^{14}N nuclei at astrophysical energies // Phys. Atom. Nucl. - 2013. V.76. №7. - P.841-861; Dubovichenko S.B. Capture of a neutron to excited states of n^9Be nucleus taking into account resonance at 622 keV // Jour. Experim. and Theor. Phys. - 2013. V.117. №4. - P.649-655.
- [11] Dubovichenko S.B. Radiative n^2H capture at low energies // Rus. Phys. Jour. - 2012. V.55. №2. - P.138-145; Dubovichenko S.B. Contribution of the M1 process to the astrophysical S-factor of the p^2H radiative capture // Rus. Phys. Jour. - 2011. V.54. №2. - P.157-164; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Astrophysical S-factor for $p^{12}C \rightarrow ^{13}N$ radiative capture // Rus. Phys. Jour. - 2009. V.52. №8. - P.833-840.
- [12] Dubovichenko S. B., Uzikov Yu. N. Astrophysical S-factors of reactions with light nuclei // Phys. Part. Nucl. - 2011. V.42. №2. - P.251-301; Dubovichenko S.B. Neutron capture by light nuclei at astrophysical energies // Phys. Part. Nucl. - 2013. V.44. №5. - P.803-847.
- [13] Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Examination of astrophysical S-factors of p^2H , p^6Li , p^7Li , $p^{12}C$ and $p^{13}C$ radiative capture reactions // Int. Jour. Mod. Phys. - 2012. V.E21. №3. - V.P.1250039(1-44); Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V., Afanasyeva N.V. Radiative neutron capture on 9Be , ^{14}C , ^{14}N , ^{15}N and ^{16}O at thermal and astrophysical energies // Int. Jour. Mod. Phys. - 2013. V.E22. №10. - P.1350075(1-53); Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V., Burkova N.A. The radiative neutron capture on 2H , 6Li , 7Li , ^{12}C and ^{13}C at Astrophysical energies // Int. Jour. Mod. Phys. - 2013. V.E22. №5. - P.1350028 (1-52); Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Neutron radiative capture by ^{10}B , ^{11}B and proton radiative capture by ^{11}B , ^{14}C and ^{15}N at thermal and astrophysical energies // Int. Jour. Mod. Phys. - 2014. V.E23. №8. - P.1430012(1-55).
- [14] Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Neutron radiative capture by 2H , 6Li , 7Li , ^{12}C , ^{13}C , ^{14}C and ^{14}N at astrophysical energies // The Universe Evolution. Astrophysical and Nuclear Aspects. - New-York, NOVA Sci. Publ. 2013. - P.49-108; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Astrophysical S-factors of proton radiative capture in thermonuclear reactions in the Stars and the Universe // The Big Bang: Theory, Assumptions and Problems. - New-York, NOVA Sci. Publ. 2012. - P.1-60.
- [15] Dubovichenko S.B. Primordial nucleosynthesis of the Universe. Fourth Edit., revised and expanded. - Germany. Saarbrucken: Lambert Acad. Publ. GmbH&Co. KG, 2014. - 668p. (Russian).
- [16] Неудачин В.Г., Смирнов Ю.Ф. Нуклонные ассоциации в легких ядрах. - М.: Наука. 1969. – 414c.
- [17] Angulo C. et al. // Nucl. Phys. - 1999. V.A656. - P.3.
- [18] Adelberger E.G. et al. // Rev. Mod. Phys. - 2011. V.83. - P.195.
- [19] Dubovichenko S.B. // Russ. Phys. J. - 2015. (в печати)

- [20] Dubovichenko S.B., Zazulin D.M. // Russ. Phys. J. - 2010. V.53. №5. - P.458.
- [21] Dubovichenko S.B. // Russ. Phys. J. - 2012. V.55 №5. - P.561.
- [22] Dubovichenko S.B. // Russ. Phys. J. - 2008. V.51. №11. - P.1136.
- [23] Dubovichenko S.B. // Phys. Atom. Nucl. - 2008. V.71. №1. - P.65.
- [24] Dubovichenko S.B. // Russ. Phys. J. - 2009. V.52. №7. - P.715.
- [25] Dubovichenko S.B. // Phys. Atom. Nucl. - 2012. V.75. №3. - P.285.
- [26] Dubovichenko S.B. // Russ. Phys. J. - 2015. (в печати)
- [27] Dubovichenko S.B. // Russ. Phys. J. - 2013. V.55. №9. - P.992.
- [28] Немец О.Ф. и др. Нуклонные ассоциации в атомных ядрах и ядерные реакции многонуклонных передач. - Киев: Наук. Думка, 1988. - 488 с.
- [29] Tilley D.R., Weller H.R., Cheves C.M. // Nucl. Phys. - 1993. V.A564. - P.1-183.
- [30] Itzykson C., Nauenberg M. // Rev. Mod. Phys. - 1966. V.38. - P.95-101.
- [31] Дубовиченко С.Б. Термоядерные процессы Вселенной. Изд. второе, исправленное и дополненное. - Серия «Казахстанские космические исследования». Т.7. - Алматы: А-три, 2011. - 402с.; arXiv:1012.08774 [nucl-th].
- [32] Salisbury S.R. and Richards H.T. ^{17}F Level Parameters // Phys. Rev. - 1962. V.126. - P.2147-2158.
- [33] Henry R.R., Phillips G.C., Reich C.W., and Russell J.L. // Bull. Amer. Phys. Soc. - 1956. V.1. - P.96.
- [34] Salisbury S., Hardie G., Oppliger L., and Bangle R. Proton-Oxygen Differential Scattering Cross Sections // Phys. Rev. - 1962. V.126. - P.2143-2146.
- [35] <http://cdfe.sinp.msu.ru/exfor/index.php>.
- [36] Blue R.A. and Haeberli W. Polarization of Protons Elastically Scattered by Oxygen // Phys. Rev. - 1965. V.137. №2B. - P.B284-B293.
- [37] Gomes V., Douglas R.A., Polga T. and Sala O. The $E_p = 2.66$ MeV resonance in $^{16}\text{O}(p, p)^{16}\text{O}$ // Nucl. Phys. - 1965. V.A68. - P.417-425.
- [38] Trachslin W. and Brown L. Polarization and phase shifts in $^{12}\text{C}(p, p)^{12}\text{C}$ and $^{16}\text{O}(p, p)^{16}\text{O}$ from 1.5 and 3 MeV // Nucl. Phys. - 1967. V.A101. - P.273-287.
- [39] 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.
- [40] Gurbich A.F. Evaluation of non-Rutherford proton elastic scattering for oxygen // Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res. - 1997. V.B129. - P.311-316.
- [41] Braun M., Fried T. Elastic backscattering cross section of proton on Oxygen // Z. Phys. - 1983. V.A311. - P.173-175.
- [42] Ramos A.R. et al. Measurement of (p,p) elastic differential cross-sections for carbon, nitrogen, oxygen, aluminium and silicon in the 500–2500 keV range at 140_ and 178_ laboratory scattering angles // Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res. - 2002. V.B190. - P.95-99.
- [43] Chow H.C., Griffiths G.M., Hall T.H. The $^{16}\text{O}(p,\gamma)^{17}\text{F}$ Direct Capture Cross Section with an Extrapolation to Astrophysical Energies // Can. J. Phys. - 1975. V.53. - P.1672-1687.
- [44] Ходжсон П.Е. Оптическая модель упругого рассеяния. - М: Атомиздат, 1966. – 230 с.

REFERENCES

- [1] Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Calculation of coulomb form-factors of lithium nuclei in a cluster model based on potentials with forbidden states. Phys. Atom. Nucl, 1994. V.57. №5. P.733-740; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Electromagnetic effects in light nuclei and the cluster potential model. Phys. Part. Nucl,1997. V.28. №6. P.615-641.
- [2] Dubovichenko S.B. Thermonuclear processes of the Universe. - New-York: NOVA Sci. Publ., 2012. P.194.
- [3] Dubovichenko S.B., Neudatchin V.G., Sakharuk A.A., et al. Generalized potential description of the interaction of the lightest nuclei $p^3\text{H}$ and $p^3\text{He}$. Izv. Akad. Nauk SSSR Ser. Fiz, 1990. V.54. №5. P.911-916; Neudatchin V.G., Sakharuk A.A., Dubovichenko S.B. Photodisintegration of ^4He and the supermultiplet potential model of cluster-cluster interactions. Few-Body Systems, 1995. V.18. №2-4. P.159-172.
- [4] Dubovichenko S.B. Light nuclei and nuclear astrophysics Sec. Edit., revised and expanded. Germany. Saarbrucken: Lambert AcaD. Publ. GmbH&Co. KG, 2013. P. 320.
- [5] Dubovichenko S.B. Calculation methods of nuclear characteristics. Sec. Edit., revised and expanded. Germany. Saarbrucken: Lambert AcaD. Publ. GmbH&Co. KG, 2012. P. 425.
- [6] Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Potential description of elastic N^2H , $\text{^2H}^2\text{H}$, N^4He and $\text{^2H}^3\text{He}$ scattering. Sov. Jour. Nucl. Phys, 1990.V.51. №6. P.971-977; Dubovichenko S.B. Analysis of photonuclear processes in the N^2H and $\text{^2H}^3\text{He}$ systems on the basis of cluster-models for potentials with forbidden states. Phys. Atom. Nucl., 1995. V.58. №7. P.1174-1180.
- [7] Dubovichenko S.B., Zhusupov M.A. The structure of light-nuclei with $A=6,7,8$ in cluster models for potentials with forbidden states. Izv. Akad. Nauk SSSR Ser. Fiz., 1984. V.48. №5. P.935-937; Dubovichenko S.B., Zhusupov M.A. Some characteristics of the nucleus ^7Li in the $^3\text{H}^4\text{He}$ model for potentials with forbidden states. Sov. Jour. Nucl. Phys., 1984. V.39. №6. P.870-872.
- [8] Dubovichenko S.B. Tensor $^2\text{H}^4\text{He}$ interactions in the potential cluster model involving forbidden states. Phys. Atom. Nucl., 1998. V.61. №2. P.162-168; Kukulin V.I., Pomerantsev V.N., Cooper S.G., Dubovichenko S.B. Improved $d^4\text{He}$ potentials by inversion: The tensor force and validity of the double folding model. Phys. Rev., 1998. V.C57. №5. P.2462-2473.
- [9] Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Astrophysical S-factor of the radiative $p^2\text{H}$ capture. Euro. Phys. Jour., 2009. V.A39. №2. P.139-143; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Radiative $n^7\text{Li}$ capture at Astrophysical

Energies. Annalen der Physik, 2012. V.524. №12. P.850-861; Dubovichenko S.B., Burkova N.A. Radiative $n^{11}B$ capture at astrophysical energies. Mod. Phys. Lett., 2014. V.A29. №7. P.1450036(1-14); Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V., Burtebaev N., Alimov D. Radiative $p^{14}C$ capture at astrophysical energies. Mod. Phys. Lett., 2014. V.A29. №24. P.1450125(1-16).

[10] Dubovichenko S.B. Astrophysical S-factors of radiative $^3He^4He$, $^3H^4He$, and $^2H^4He$ capture. Phys. Atom. Nucl., 2010. V.73. №9. P.1526-1538; Dubovichenko S.B. Astrophysical S-factors for radiative proton capture by 3H and 7Li nuclei. Phys. Atom. Nucl., 2011. V.74. №3. P.358-370; Dubovichenko S.B. Astrophysical S-factor for the radiative-capture reaction $p^{13}C \rightarrow ^{14}N\gamma$. Phys. Atom. Nucl., 2012. V.75. №2. P.173-181; Dubovichenko S.B. Radiative neutron capture by 2H , 7Li , ^{14}C , and ^{14}N nuclei at astrophysical energies. Phys. Atom. Nucl., 2013. V.76. №7. P.841-861; Dubovichenko S.B. Capture of a neutron to excited states of n^9Be nucleus taking into account resonance at 622 keV. Jour. Experim. and Theor. Phys., 2013. V.117. №4. P.649-655.

[11] Dubovichenko S.B. Radiative n^2H capture at low energies. Rus. Phys. Jour., 2012. V.55. №2. P.138-145; Dubovichenko S.B. Contribution of the M1 process to the astrophysical S-factor of the p^2H radiative capture. Rus. Phys. Jour., 2011. V.54. №2. P.157-164; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Astrophysical S-factor for $p^{12}C \rightarrow ^{13}N\gamma$ radiative capture. Rus. Phys. Jour., 2009. V.52. №8. P.833-840.

[12] Dubovichenko S. B., Uzikov Yu. N. Astrophysical S-factors of reactions with light nuclei. Phys. Part. Nucl., 2011. V.42. №2. P.251-301; Dubovichenko S.B. Neutron capture by light nuclei at astrophysical energies. Phys. Part. Nucl., 2013. V.44. №5. P.803-847.

[13] Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Examination of astrophysical S-factors of p^2H , p^6Li , p^7Li , $p^{12}C$ and $p^{13}C$ radiative capture reactions. Int. Jour. Mod. Phys., 2012. V.E21. №3. P.1250039(1-44); Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V., Afanasyeva N.V. Radiative neutron capture on 9Be , ^{14}C , ^{14}N , ^{15}N and ^{16}O at thermal and astrophysical energies. Int. Jour. Mod. Phys., 2013. V.E22. №10. P.1350075(1-53); Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V., Burkova N.A. The radiative neutron capture on 2H , 6Li , 7Li , ^{12}C and ^{13}C at Astrophysical energies. Int. Jour. Mod. Phys., 2013. V.E22. №5. P.1350028 (1-52); Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Neutron radiative capture by ^{10}B , ^{11}B and proton radiative capture by ^{11}B , ^{14}C and ^{15}N at thermal and astrophysical energies. Int. Jour. Mod. Phys., 2014. V.E23. №8. P.1430012(1-55).

[14] Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Neutron radiative capture by 2H , 6Li , 7Li , ^{12}C , ^{13}C , ^{14}C and ^{14}N at astrophysical energies. The Universe Evolution. Astrophysical and Nuclear Aspects. New-York: NOVA Sci. Publ., 2013. P.49-108; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Astrophysical S-factors of proton radiative capture in thermonuclear reactions in the Stars and the Universe. The Big Bang: Theory, Assumptions and Problems. New-York: NOVA Sci. Publ., 2012. P.1-60.

[15] Dubovichenko S.B. Primordial nucleosynthesis of the Universe. Fourth Edit., revised and expanded. Germany. Saarbrucken: Lambert Acad. Publ. GmbH&Co. KG, 2014. P. 668. (Russian).

[16] Neudatchin V.G., Smirnov Yu.F. Nucleon associations in light nuclei. Moscow: Nauka, 1969. P.414. (in Russian).

[17] Angulo C. et al. Nucl. Phys., 1999. V.A656. P.3.

[18] Adelberger E.G. et al. Rev. Mod. Phys., 2011. V.83. P.195.

[19] Dubovichenko S.B. Russ. Phys. J., 2015. (в печати)

[20] Dubovichenko S.B., Zazulin D.M. Russ. Phys. J., 2010. V.53. №5. P.458.

[21] Dubovichenko S.B. Russ. Phys. J., 2012. V.55 №5. P.561.

[22] Dubovichenko S.B. Russ. Phys. J., 2008. V.51. №11. P.1136.

[23] Dubovichenko S.B. Phys. Atom. Nucl., 2008. V.71. №1. P.65.

[24] Dubovichenko S.B. Russ. Phys. J., 2009. V.52. №7. P.715.

[25] Dubovichenko S.B. Phys. Atom. Nucl., 2012. V.75. №3. P.285.

[26] Dubovichenko S.B. Russ. Phys. J., 2015. (в печати)

[27] Dubovichenko S.B. Russ. Phys. J., 2013. V.55. №9. P.992.

[28] Nemets O.F., Neudatchin V.G., Rudchik A.T., Smirnov Y.F., Tchuvil'sky Yu.M. Nucleon association in atomic nuclei and the nuclear reactions of the many nucleons transfers. Kiev: Naukova dumka, 1988. P. 488. (in Russian).

[29] Tilley D.R., Weller H.R., Cheves C.M. Nucl. Phys., 1993. V.A564. P.1-183.

[30] Itzykson C., Nauenberg M. Rev. Mod. Phys., 1966. V.38. P.95-101.

[31] Dubovichenko S.B. Thermonuclear processes of the Universe. Second edition, revised and updated. Series "Kazakhstan space research" V.7. Almaty: A-tri, 2011. P. 402.; arXiv:1012.0877 [nucl-th]. (in Russian).

[32] Salisbury S.R. and Richards H.T. ^{17}F Level Parameters. Phys. Rev., 1962. V.126. P.2147-2158.

[33] Henry R.R., Phillips G.C., Reich C.W., and Russell J.L. Bull. Amer. Phys. Soc., 1956. V.1. P.96.

[34] Salisbury S., Hardie G., Oppiger L., and Bangle R. Proton-Oxygen Differential Scattering Cross Sections. Phys. Rev., 1962. V.126. P.2143-2146.

[35] <http://cdfe.sinp.msu.ru/exfor/index.php>.

[36] Blue R.A. and Haeberli W. Polarization of Protons Elastically Scattered by Oxygen. Phys. Rev., 1965. V.137. №2B. P.B284-B293.

[37] Gomes V., Douglas R.A., Polga T. and Sala O. The $E_p = 2.66$ MeV resonance in $^{16}O(p, p)^{16}O$. Nucl. Phys., 1965. V.A68. P.417-425.

[38] Trachslin W. and Brown L. Polarization and phase shifts in $^{12}C(p, p)^{12}C$ and $^{16}O(p, p)^{16}O$ from 1.5 and 3 MeV. Nucl. Phys., 1967. V.A101. P.273-287.

[39] 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.

- [40] Gurbich A.F. Evaluation of non-Rutherford proton elastic scattering for oxygen. Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res., 1997. V.B129. P.311-316.
- [41] Braun M., Fried T. Elastic backscattering cross section of proton on Oxygen. Z. Phys., 1983. V.A311. P.173-175.
- [42] Ramos A.R. et al. Measurement of (p,p) elastic differential cross-sections for carbon, nitrogen, oxygen, aluminium and silicon in the 500–2500 keV range at 140° and 178° laboratory scattering angles. Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res., 2002. V.B190. P.95-99.
- [43] 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.
- [44] Hodgson P.E. The Optical model of elastic scattering. Oxford: Clarendon Press, 1963. P. 211.

ПРОТОНДАРДЫҢ ^{16}O -ГЕ СЕРПІМДІ ШАШЫРАУЫН ФАЗАЛЫҚ ТАЛДАУ. I

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

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

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

Аннотация. 110°-178° бұрыштары аймағындағы серпімді p^{16}O -шашырауды қозу функцияларындағы дифференциалдық кималарды белгілі эксперименттік өлшеулердің негізінде 0.4 МэВ бастап 2.5 МэВ дейінгі энергияларда стандарттық фазалық талдау жасалды.

Поступила 15.15.2015 г.