

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 6, Number 310 (2016), 104 – 108

N. Burtebayev<sup>1</sup>, D.K. Alimov<sup>1,2</sup>, D.M. Zazulin<sup>1,2</sup>, Zh.K. Kerimkulov<sup>1</sup>,  
A.V. Yushkov<sup>2</sup>, D.M. Janseitov<sup>1</sup>, Y. Mukhamejanov<sup>1,2</sup>, M. Nassurlla<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan,

<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

e-mail: [Diliyo@mail.ru](mailto:Diliyo@mail.ru)

## DETERMINATION OF PARAMETERS OF PROTON <sup>14</sup>N INTERACTION POTENTIAL AT LOW ENERGIES

**Abstract.** A review and analysis of existing literature data on elastic scattering of protons by <sup>14</sup>N nuclei in the framework of optical model has been carried out. On the basis of these results and analysis of recently obtained by us experimental data on the <sup>14</sup>N(p,p)<sup>14</sup>N cross sections at low energies, the optimal parameters of the optical potential required for the calculations of the processes taking place in hybrid nuclear reactors and fusion devices have been found.

**Keywords:** elastic scattering, light charged particles, diffuseness, optical potential, FRESCO.

Н. Буртебаев<sup>1</sup>, Д. Алимов<sup>1,2</sup>, Д.М. Зазулин<sup>1,2</sup>, Ж.К. Керимкулов<sup>1,2</sup>,  
А.В. Юшков<sup>2</sup>, Д.М. Джансейтов<sup>1</sup>, Е. Мухамеджанов<sup>1,2</sup>, М. Насрулла<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт Ядерной Физики, Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОТЕНЦИАЛА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОТОНА С <sup>14</sup>N ПРИ НИЗКИХ ЭНЕРГИЯХ

**Аннотация.** Выполнен обзор и проведен анализ имеющихся литературных данных по упругому рассеянию протонов на ядрах <sup>14</sup>N в рамках оптической модели. На основе этих результатов и анализа, недавно полученных нами экспериментальных данных по сечениям процесса <sup>14</sup>N(p,p)<sup>14</sup>N при низких энергиях найдены оптимальные параметры оптического потенциала, востребованного для расчетов процессов происходящих в гибридных ядерных реакторах и термоядерных установках.

**Ключевые слова:** упругое рассеяние, легкие заряженные частицы, диффузность, оптический потенциал, FRESCO.

**Введение.** Изучение процессов упругого рассеяния протонов на легких ядрах, в том числе на <sup>14</sup>N при низких энергиях необходимо для определения параметров потенциалов протон-ядерного взаимодействия. Эти потенциалы нужны для расчетов ядерных реакций, которые будут происходить в проектируемых гибридных ядерных реакторах и в термоядерных установках, как во время горения топлива, так и в поверхностных слоях, непосредственно соприкасающихся с плазмой конструкционных элементов.

Универсальным методом извлечения информации о потенциалах взаимодействия протонов с ядрами является феноменологический анализ экспериментальных данных по упругому рассеянию на основе оптической модели ядра, обоснование и детальная математическая формулировка которой изложены в ряде работ [1, 2]. В рамках этого подхода рассеяние на многочастичной системе ядра представляется как более простой процесс - рассеяние в поле комплексного оптического потенциала.

Экспериментальные данные по упругому рассеянию протонов на ядрах  $^{14}\text{N}$  в настоящей работе анализировались с использованием известной расчетной программы FRESKO. Параметры потенциала, отвечающие оптимальному соответствию экспериментальных и расчетных значений дифференциальных сечений, находились минимизацией величины  $\chi^2$ .

**Анализ дифференциальных сечений процесса  $^{14}\text{N}(p,p)^{14}\text{N}$ .** Для получения параметров оптического потенциала взаимодействия системы  $p\text{-}^{14}\text{N}$  на первом этапе был проведен анализ угловых распределений упругого рассеяния протонов на  $^{14}\text{N}$  в интервале энергий от 8.6 до 142 МэВ [3 - 8]. Вначале варьировались все параметры до достижения наиболее точного согласия с экспериментом (таблица 1 а)). Затем выбирались средние значения радиусов действительной, мнимой и спин-орбитальной частей и фиксировались для всех энергий. После этого проводился поиск оптимальных параметров оптического потенциала, которые приводятся в таблице 1 (вариант б).

Затем была исследована энергетическая зависимость действительной части потенциала (см. рисунок 1). Как видно из рисунка 1, аппроксимировать глубину потенциала линейной функцией не удастся во всем рассматриваемом энергетическом интервале. Линейная аппроксимация при низких энергиях также оказывается не вполне пригодной. Данные факты говорят о том, что вклад от хвостов резонансов, расположенных при низких энергиях, существенен во всем энергетическом интервале. Поэтому можно сказать, что параметры оптического потенциала в области сверхнизких энергий могут несколько отличаться от параметров, полученных в рассмотренном интервале энергий. На рисунке 2 в качестве примера приводится сравнение расчетных и экспериментальных данных при энергии протонов  $E_{p, \text{лаб.}} = 18$  МэВ [8]. Видно, что полученный потенциал хорошо описывает дифференциальные сечения упругого рассеяния во всем угловом диапазоне.

Таблица 1 а) - Параметры оптического потенциала для упругого рассеяния протонов на ядрах  $^{14}\text{N}$  (первый набор).  
Обозначения как в работах [1, 2]

$E_{p, \text{лаб.}}$ (МэВ)	$V_R$ (МэВ)	$r_R$ (фм)	$a_R$ (фм)	$W_D$ (МэВ)	$r_{WD}$ (фм)	$a_{WD}$ (фм)	$V_{SO}$ (МэВ)	$r_{SO}$ (фм)	$a_{SO}$ (фм)
8.6	49.84	1.205	0.605	1.61	1.03	0.53	5.32	1.205	0.605
10.6	51.71	1.205	0.605	2.44	1.03	0.53	6.48	1.205	0.605
12.6	51.61	1.205	0.605	3.59	1.03	0.53	5.83	1.205	0.605
14.6	53.05	1.205	0.605	6.38	1.03	0.53	3.21	1.205	0.605
18	56.21	1.10	0.712	3.97	1.36	0.5	6.0	1.10	0.712
21	47.27	1.20	0.688	4.32	1.36	0.5	6.0	1.20	0.688
23	45.91	1.20	0.660	3.96	1.36	0.5	6.0	1.20	0.660
26	44.46	1.20	0.610	4.31	1.36	0.5	6.0	1.20	0.610
31	46.7	1.20	0.63	12.4	1.20	0.5	6.7	1.20	0.63
49.4	38.52	1.13	0.766	1.75	1.33	0.433	8.77	1.07	0.632
122	18.3	1.20	0.65	10.6	1.30	0.64	18.3	0.9	0.5

Таблица 1 б) - Параметры оптического потенциала для упругого рассеяния протонов на ядрах  $^{14}\text{N}$  (второй набор).  
Обозначения как в работах [1, 2]

$E_{p, \text{лаб.}}$ (МэВ)	$V_R$ (МэВ)	$r_R$ (фм)	$a_R$ (фм)	$W_D$ (МэВ)	$r_{WD}$ (фм)	$a_{WD}$ (фм)	$V_{SO}$ (МэВ)	$r_{SO}$ (фм)	$a_{SO}$ (фм)
8.6	46.66	1.25	0.65	1.74	1.25	0.65	6.19	1.25	0.65
10.6	48.26	1.25	0.65	2.73	1.25	0.65	6.42	1.25	0.65
12.6	48.99	1.25	0.65	3.75	1.25	0.65	4.67	1.25	0.65
14.6	49.41	1.25	0.65	6.28	1.25	0.65	2.84	1.25	0.65
18	50.44	1.25	0.62	6.05	1.25	0.33	5.21	1.25	0.62
21	48.50	1.25	0.62	5.61	1.25	0.44	4.24	1.25	0.62
23	46.03	1.25	0.62	4.96	1.25	0.477	5.74	1.25	0.62
26	44.1	1.25	0.62	4.33	1.25	0.602	5.59	1.25	0.62
31	43.68	1.25	0.62	4.0	1.25	0.718	5.59	1.25	0.62
49.4	35.25	1.25	0.62	3.47	1.25	0.61	4.51	1.25	0.62
122	15.12	1.25	0.62	5.01	1.25	0.717	5.31	1.25	0.62
142	13.61	1.25	0.62	13.22	1.25	0.42	2.87	1.25	0.62

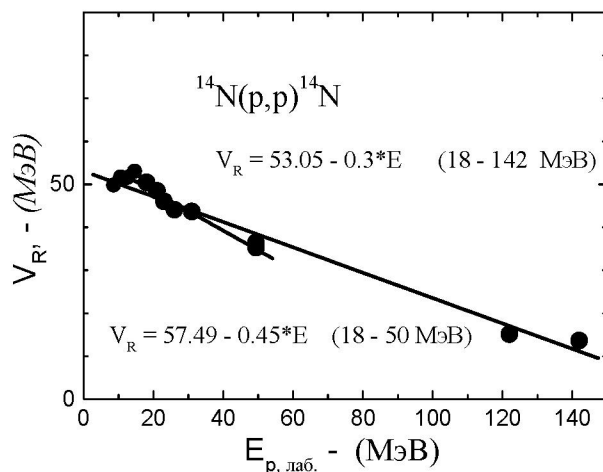


Рисунок 1. Энергетическая зависимость действительной части оптического потенциала упругого рассеяния протонов на ядрах  $^{14}\text{N}$ . Точки – результаты анализа по оптической модели. Короткая линия – результат экстраполяции для низкоэнергетического интервала. Длинная линия – результат экстраполяции для всего энергетического интервала.

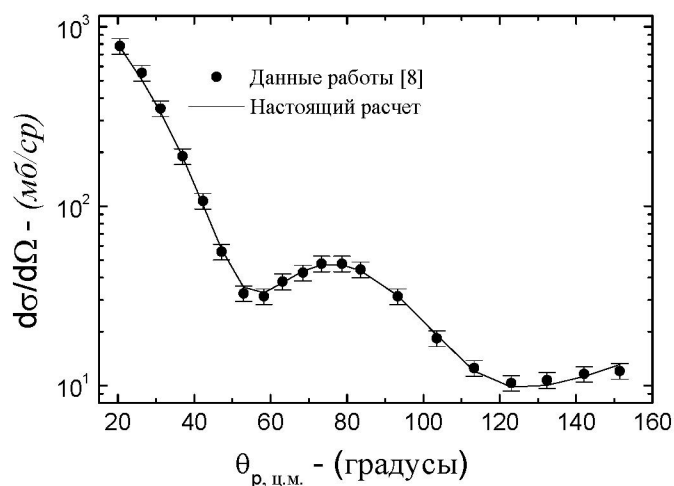


Рисунок 2 - Дифференциальные сечения упругого рассеяния протонов на ядрах  $^{14}\text{N}$  при  $E_{p, \text{лаб.}} = 18 \text{ МэВ}$  (даны в форме углового распределения).

Таблица 2 – Параметры оптического потенциала, полученные в результате анализа наших экспериментальных данных по упругому рассеянию  $^{14}\text{N}(p,p)^{14}\text{N}$ . Обозначения как в работах [1, 2]

Энергия протонов, кэВ	$V_0$ , (MeV)	$r_0$ , (fm)	$a_0$ , (fm)	$W_0$ , (MeV)	$r_w$ , (fm)	$a_w$ , (fm)
700	40	1.09	0.6	2.0	0.95	0.6
800	40	1.09	0.6	2.0	0.95	0.6
900	40	1.094	0.6	2.0	0.95	0.6
1000	35	1.2	0.6	2.0	0.95	0.6
1100	35	1.188	0.6	2.0	0.95	0.6

На втором этапе параметры потенциала, которые хорошо описали дифференциальные сечения при энергии  $E_{p, \text{лаб.}} = 18 \text{ МэВ}$  были взяты в качестве стартовых для определения параметров для энергий  $E_{p, \text{лаб.}} = 700 - 1100 \text{ кэВ}$ . В результате нами получены оптимальные параметры также и для  $E_{p, \text{лаб.}} = 700, 800, 900, 1000 \text{ и } 1100 \text{ кэВ}$ , которые приведены в таблице 2. На рисунке 3 представлено

описание дифференциальных сечений процесса  $^{14}\text{N}(p,p)^{14}\text{N}$  при низких энергиях по оптической модели с параметрами потенциала, взятыми из таблицы 2. Из рисунка видно хорошее согласие эксперимента с расчетом.

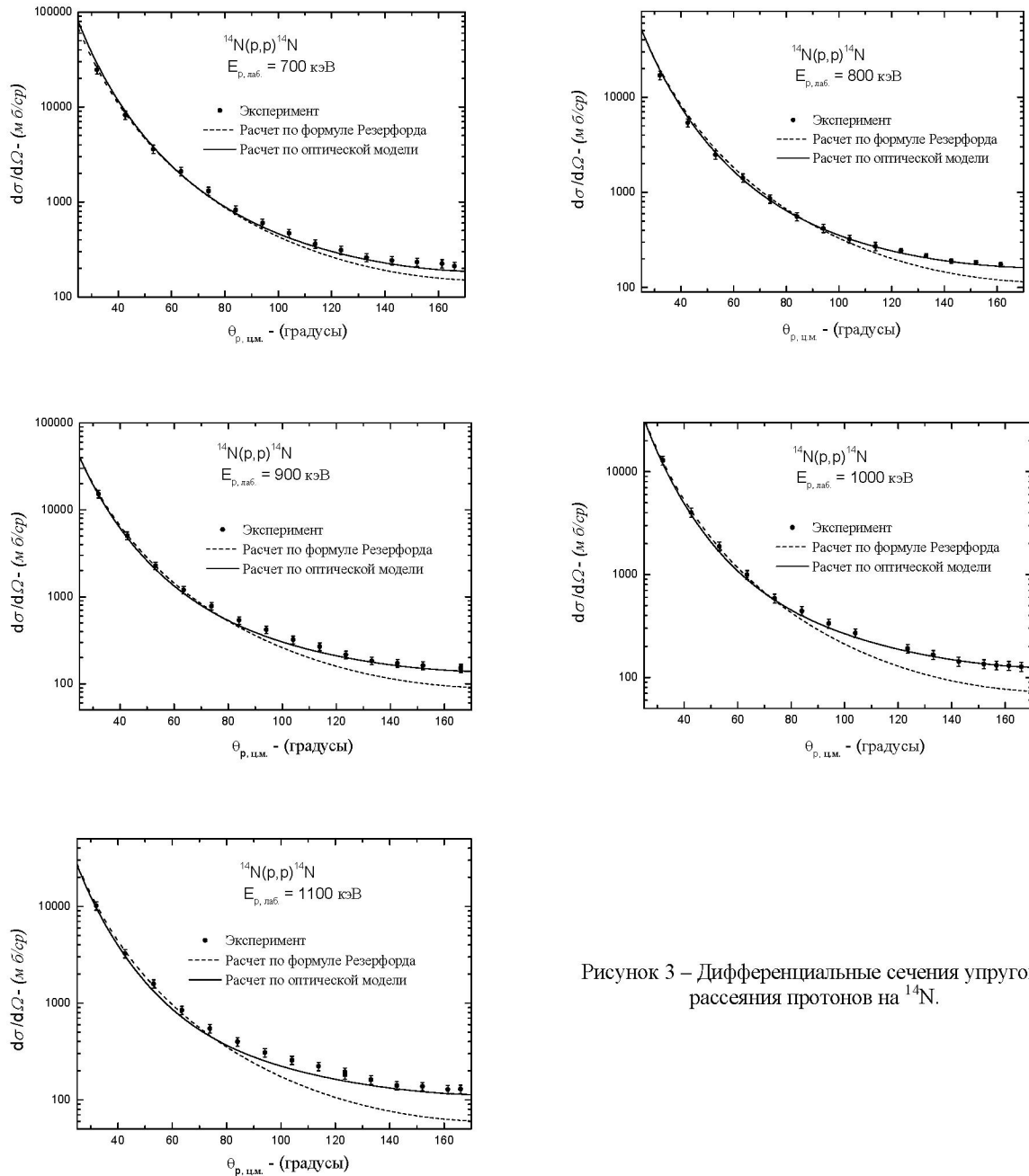


Рисунок 3 – Дифференциальные сечения упругого рассеяния протонов на  $^{14}\text{N}$ .

**Заключение.** В энергетическом диапазоне  $E_{p, \text{лаб.}} = 0.7 - 142$  МэВ получены оптимальные параметры оптического потенциала для системы  $p - ^{14}\text{N}$ . При изучении энергетической зависимости глубины реальной части оптического потенциала  $p - ^{14}\text{N}$  взаимодействия установлено, что линейная аппроксимация этой зависимости для диапазона  $0 - 20$  МэВ оказывается невозможной. Возможно, этот факт связан с существенным вкладом в  $p - ^{14}\text{N}$  рассеяние хвостов резонансов, расположенных в низкоэнергетической области. Этим, так же объясняется то, что параметры оптического потенциала в области сверхнизких энергий отличаются от параметров, полученных для интервала энергий налетающих протонов от 8.6 до 142 МэВ.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке программы развития атомной энергетики в Республике Казахстан по теме: получение экспериментальных и расчетных сечений ядерных реакций, выходов осколков деления на ускорительном комплексе ИЯФ МЭ РК.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] G.R. Satchler. Direct Nuclear Reactions. // New York-Oxford. - 1983.-177P.
- [2] П.Е. Ходгсон. Оптическая модель упругого рассеяния // М. Атомиздат. - 1966. - 232С.
- [3] F.D. Becchetti, Jr. and G.W. Greenlees. // Phys. Rev. - 1969. - Vol.182. - P.1190-1209.
- [4] E. Fabrici, et al. // Phys. Rev. C. - 1980. - Vol.21. - P.830-843.
- [5] L.F. Hansen, et al. // Phys. Rev. C. - 1973. - Vol.8. - P.2072-2088.
- [6] H.F. Lutz, D.W. Heikkinen and W. Bartolini. // Nucl. Phys. A. - 1972. - Vol.198. - P.257-267.
- [7] C.C. Kim, et al. // Nucl. Phys. - 1964. - Vol.58. - P.32-48.
- [8] P.F. Bertone, et al. // Phys. Rev. C. - 2002. - Vol.66. - 055804, P.1-7.

#### REFERENCES

- [1] G.R. Satchler. Direct Nuclear Reactions. // New York-Oxford. - 1983.-177P.
- [2] P.E. Hodgson. Opticheskaya model uprugogo rasseyaniya // M. Atomizdat. - 1966. - 232 S.
- [3] F.D. Becchetti, Jr. and G.W. Greenlees. // Phys. Rev. - 1969. - Vol.182. - P.1190-1209.
- [4] E. Fabrici, et al. // Phys. Rev. C. - 1980. - Vol.21. - P.830-843.
- [5] L.F. Hansen, et al. // Phys. Rev. C. - 1973. - Vol.8. - P.2072-2088.
- [6] H.F. Lutz, D.W. Heikkinen and W. Bartolini. // Nucl. Phys. A. - 1972. - Vol.198. - P.257-267.
- [7] C.C. Kim, et al. // Nucl. Phys. - 1964. - Vol.58. - P.32-48.
- [8] P.F. Bertone, et al. // Phys. Rev. C. - 2002. - Vol.66. - 055804, P.1-7.

**Н. Буртебаев<sup>1,2</sup>, Д. Алимов<sup>1,2</sup>, Д.М. Зазулин<sup>1,2</sup>, Ж.К. Керимкулов<sup>1,2</sup>, А.В. Юшков<sup>2</sup>,  
Д.М. Джансейтов<sup>1</sup>, Е. Мухамеджанов<sup>1,2</sup>, М. Насрулла<sup>1,2</sup>.**

<sup>1</sup>Ядерной физика институты, Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

#### **ТӨМЕНГІ ЭНЕРГИЯЛЫ ПРОТОНДАРДЫҢ <sup>14</sup>N ЯДРОСЫМЕН ӘСЕРЛЕСУ ПОТЕНЦИАЛ ПАРАМЕТРЛЕРІН АНЫҚТАУ**

**Аннотация.** Протондардың <sup>14</sup>N ядросынан серпімді шашырауы бойынша әдебиеттік мәліметтерге шолу жасалында және мәліметтер оптикалық үлгі төңірегінде талданды. Осы нәтижелер мен талдаулар негізінде, төменгі энергиялардағы <sup>14</sup>N(p,p)<sup>14</sup>N процессі бойынша алынған эксперименттік кималар үшін оптикалық потенциалдардың оптималды параметрлері табылды. Табылған параметрлер гибритті ядролық реакторларда және термоядролық қондырғыларда жүретін процестерді есептеуде үлкен құндылыққа ие болып табылады.

**Тірек сөздер:** серпімді шашырау, зарядталған жеңіл бөлшектер, диффузность, оптикалық потенциал, FRESKO.

#### **Данные авторов:**

Буртебаев Насрулла - профессор, д.ф.м.н., зам. директора института ядерной физики, Алматы, Казахстан, e-mail: [nburtebayev@yandex.ru](mailto:nburtebayev@yandex.ru)

Алимов Дилшод – e-mail: [diliyo@mail.ru](mailto:diliyo@mail.ru), моб. тел: +77073006494