

МРНТИ: 29.15.19; 29.15.39

Д.М. Джансейтов<sup>1,2,3</sup>, Н. Буртебаев<sup>1</sup>, Д. Алимов<sup>1</sup>, М. Насурлла<sup>1</sup>, Б. Мәуей<sup>2</sup>,  
Д.С. Валиолда<sup>2</sup>, А. Аймаганбетов<sup>4</sup>, Ғ. Ергалиұлы<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан*

<sup>2</sup> *Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия*

<sup>3</sup> *Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

<sup>4</sup> *Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан*

(E-mail: gani\_ye@edu.enu.kz)

### Экспериментальное исследование упругого рассеяния дейтронов на ядре <sup>13</sup>C при низких энергиях

**Аннотация:** экспериментальные сечения упругого рассеяния дейтронов на мишени из изотопов углерода <sup>13</sup>C были измерены с помощью выведенного пучка на циклотроне У-150М в Институте ядерной физики (Алматы, Казахстан). Энергия пучка ускоренных дейтронов составила 14.5 и 18 МэВ. Угловое распределение рассеянных дейтронов был в диапазоне от 10 до 100 градусов в лабораторной системе координат. Ток пучка заряженных частиц составлял менее 100 нА. В данной работе подробно приведена методика эксперимента и краткое описание оборудования. Результатами исследования являются экспериментальные данные по взаимодействию <sup>13</sup>C(d,d)<sup>13</sup>C и теоретические расчеты для процесса упругого рассеяния d+<sup>13</sup>C. Полученные экспериментальные сечения были подвергнуты сравнительному анализу с аналогичными предыдущими работами при других энергиях. Теоретические расчеты были выполнены в рамках оптической модели. Оптический потенциал вида Вудс-Саксон был использован для анализа экспериментальных результатов упругого рассеяния. В результате было достигнуто хорошее согласие экспериментальных данных и теоретических предсказаний. Результаты расчетов в рамках теоретической модели будут использованы для дальнейшего анализа экспериментальных данных по неупругому рассеянию дейтронов на <sup>13</sup>C.

**Ключевые слова:** сечение, дейтрон, Вудс-Саксон, упругое рассеяние, оптическая модель.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2020-131-2-92-98>

Поступила: 28.04.2020 / Доработана: 14.05.2020 / Допущена к опубликованию: 29.05.2020

**Введение.** Исследование процессов упругого и неупругого рассеяния легких заряженных частиц, таких как дейтроны и альфа-частицы, являются одним из основных источников информации о свойствах основного и низколежащих возбужденных состояний экзотических ядер. Ядро <sup>13</sup>C представляет интерес для многих исследователей, по наличию следующих типов структур. Первое возбужденное состояние 3.09 МэВ (1/2+) с нейтронным гало [1-3], аналог состояния Хойла 8.86 МэВ (1/2-) [3, 4] и недавно открытое сверхкомпактное состояние 9.9 МэВ (3/2-) [3,5,6]. Большая часть этих результатов была получена фундаментально на анализе экспериментальных данных [7] взаимодействия упруго рассеянных дейтронов на <sup>13</sup>C.

В настоящей работе дифференциальное сечение упругого рассеяния дейтронов на <sup>13</sup>C было измерено при энергии пучка ускоренных ионов дейтерия  $E_d = 14.5$  и 18 МэВ. Анализ данных упругого рассеяния был проведен в рамках оптической модели в соответствии с анализом других данных дифференциальных сечений <sup>13</sup>C(d,d)<sup>13</sup>C в диапазоне энергий 13.7-18 [8-11]. Данная работа является частью широкого исследования экзотических возбужденных состояний ядра <sup>13</sup>C при низких энергиях.

**Эксперимент.** Экспериментальное угловое распределение упругого и неупругого рассеяния дейтронов на ядре  $^{13}\text{C}$  были измерены при помощи полученного пучка ионов циклотрона У-150М Института ядерной физики (Алматы, Казахстан) при энергии  $E_d = 14.5$  МэВ в угловом диапазоне  $10-100^\circ$  градусов в лабораторной системе координат. Ток выведенного пучка на мишени в угловом измерении рассеянных дейтронов был в пределах 100 нА.

Коллимационная трубка, состоящая из двух диафрагм из тантала с диаметром 2 мм и анти-рассеивающая на конце, была использована для оптимальной фокусировки пучка ускоренных ионов на мишень. Размер пятна на мишени составил примерно 3-4 мм. Угловой разброс бомбардируемых ионов дейтерия составил примерно полградуса. В целях недопущения превышения допустимого радиационного фона нейтронного и гамма-излучений использовались дополнительные приспособления из свинца, парафина с бором и графита на пути транспортировки пучка заряженных частиц.

Регистрация и идентификация продуктов реакции была осуществлена по  $\Delta E-E$  методике с помощью блоков электроники фирм ORTEC и POLON [12]. Программа Win  $E\_dE$  отображала на экран компьютера спектрометрическую информацию (рис. 1) о распределении зарегистрированных заряженных частиц в плоскости  $\Delta E-E$  [13]. Значение, равное отношению значений счетчика и интегратора тока, выдаваемого детектором на всем полном угловом измерении, составило не более 1%.

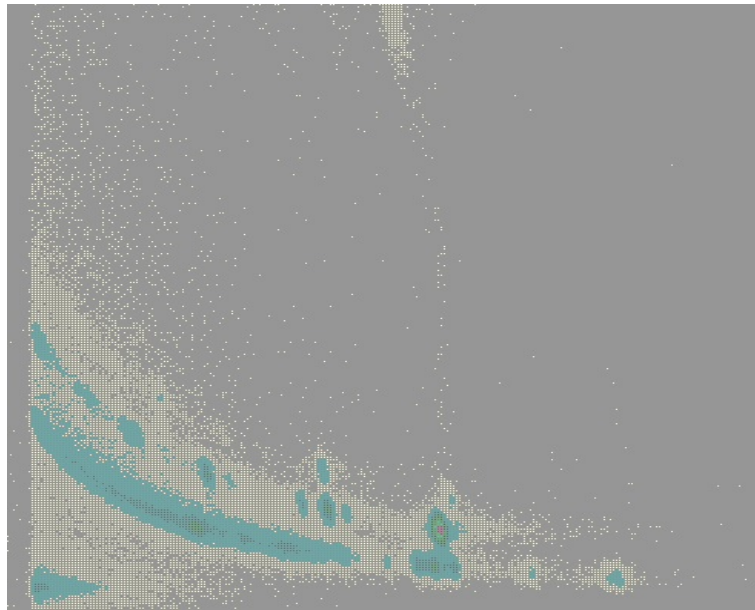


Рисунок 1 – Распределение заряженных частиц в результате взаимодействия дейтронов с мишенью  $^{13}\text{C}$  в плоскости  $\Delta E-E$

Распределение заряженных частиц на рис. 1 в результате взаимодействия налетающих частиц с мишенью представлено в виде гипербол (локусов) в следующем порядке. Нижняя гипербола (толстая) представляет собой реакцию развала дейтрона  $^{13}\text{C}(d, p)^{14}\text{C}$ , средний локус (в виде “островков”) – упругое и неупругое рассеяние, верхняя гипербола – реакцию подхвата нуклона (нейтрона) дейтроном  $^{13}\text{C}(d, t)^{12}\text{C}$ . В качестве мишени использовались тонкие пленки  $^{13}\text{C}$  (изотопическое обогащение более 80%, полученные с помощью напыления пучком электронов вакуумным универсальным постом. В ходе наблюдения и проведения экспериментов были использованы несколько самоподдерживающихся мишеней с толщиной  $150 \text{ мкг/см}^2$ . Измерение толщин мишеней осуществлялось на ускорителе УКП-2-1 Института ядерной физики (Алматы, Казахстан) двумя этапами. На первом этапе проводилась энергетическая калибровка ускорителя с помощью ускоренных протонов. На втором этапе при прохождении слоя углерода  $^{13}\text{C}$  бомбардируемые протоны, предварительно вступив в реакцию с ядрами  $^{27}\text{Al}$  в результате радиационного захвата, с последующим выделением гамма-квантов, теряли энергию. Толщина мишени (слоя)

определялась по табличным значениям потерь энергии протонов. Точное значение толщины мишени играет важную роль при расчетах дифференциальных сечений.

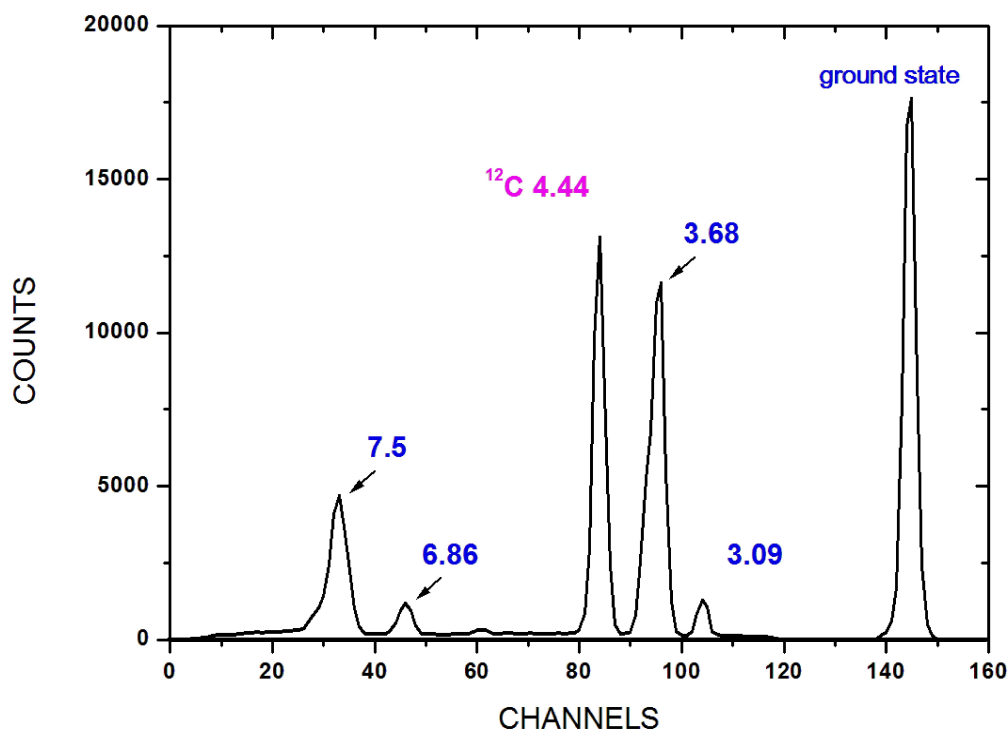


Рисунок 2 – Типичный спектр  $^{13}\text{C}(d,d)^{13}\text{C}$  рассеяния при угле  $36^\circ$

Энергетический спектр рассеянных дейтронов на  $^{13}\text{C}$  с энергией 14.5 МэВ при угле  $36^\circ$  изображен на рис. 2. Представлены также пики возбужденных состояний  $^{13}\text{C}$  и  $^{12}\text{C}$ , помимо рассматриваемого в данной работе упругого рассеяния дейтронов на ядрах  $^{13}\text{C}$  (пик выделен красным цветом). Идентификация пиков была проведена с помощью кинематических расчетов, экспериментальной кривой зависимости канала от угла, калибровочной прямой зависимости энергии от канала. Расчет площадей пиков гауссового распределения осуществлялся с помощью программы ORIGIN.

**Анализ.** В первую очередь рассмотрим анализ упругого рассеяния сечений. Оптический потенциал выбран в виде обычной формы Вудса-Саксона (WS), состоящей из реальной и мнимой (с объемным поглощением) частей. Полный потенциал реальной части в нашем случае состоит из ядерного ( $V_{nucl}$ ), спин-орбитального ( $V_{SO}$ ) и кулоновского потенциалов ( $V_C$ ) соответственно:

$$U(r) = V_{nucl}(r) + V_{SO}(r)(\bar{I}s) + V_C(r), \quad (1)$$

где ядерный потенциал предполагается в форме Вудса-Саксона:

$$V_{nucl}(r) = V_0[1 + \exp(\frac{r - R_V}{a_V})]^{-1} + iW[1 + \exp(\frac{r - R_W}{a_W})]^{-1}, \quad (2)$$

Сравнение между экспериментальными данными и теоретическими предсказаниями для  $^{13}\text{C}(d,d)^{13}\text{C}$  при энергиях 13 МэВ [8], 14.5 МэВ [9], 15 МэВ [10] и 18 МэВ [11], рассчитанными на параметрах потенциалов, указанных в таблице 1, показаны на рисунке 3. Аббревиатура ОМ - на рисунке 2. Параметры потенциалов были использованы в расчетах, приведенных в таблице 1.

На рис. 3 изображено сравнение между экспериментальными данными и расчетами сечений, поделенное на резерфорд процесса  $^{13}\text{C}(d,d)^{13}\text{C}$  при энергиях 13 МэВ [8], 14.5 МэВ [9], 15 МэВ [10] и 18 МэВ [11] с использованием потенциалов WS. Аббревиатуры ОМ 1, ОМ 2 и ОМ 3 соответствует расчетам оптической модели с потенциалом Вудс-Саксона для разных наборов параметров (см. таблицу 1).

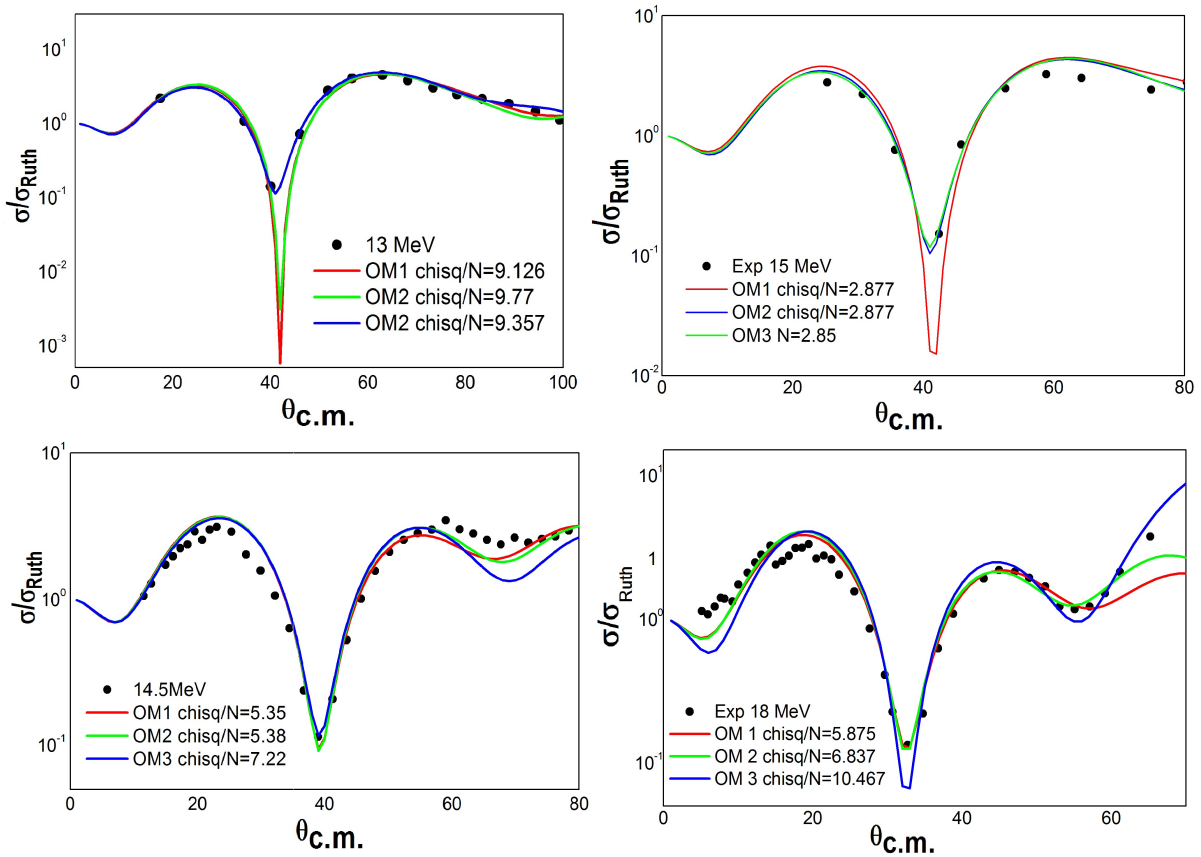


Рисунок 3 – Сравнение между экспериментальными данными и расчетами сечений для упругого рассеяния дейтронов на  $^{13}\text{C}$  при разных энергиях

Полученные экспериментальные данные упругого рассеяния дейтронов на ядрах  $^{13}\text{C}$  при энергии хорошо согласуются с аналогичными предыдущими проведенными экспериментами при энергиях  $E_d = 13$  и  $15$  МэВ. Наблюдается характерный в сечениях при всех энергиях спад в области малых углов до минимума приблизительно  $\theta_{cm} \approx 40^\circ$ , с последующим ростом до сечения до  $60$  градусов и следующим плавным спадом. Количественные значения всех приведенных сечений примерно равные по отношению друг к другу, каких-либо значимых отклонений не наблюдаются.

Таблица 1 – Параметры потенциалов, полученных для упругого рассеяния дейтронов на  $^{13}\text{C}$  при определенных энергиях

$E_d, \text{M}$	Набор	$V \text{ MeV}$	$r_V \text{ fm}$	$a_V \text{ fm}$	$W \text{ MeV}$	$r_W \text{ fm}$	$a_W \text{ fm}$	$\chi^2/N$
13	OM1	142.73	0.8544	0.571	6.0	1.331	0.6774	9.126
	OM2	137.03	0.87664	0.59088	7.0	1.2774	0.58136	9.77
	OM3	77.98	0.847	0.641	5.0	1.211	0.978	9.35
14.5	OM1	95.219	1.1247	0.5	15.7	0.982	0.75	5.35
	OM2	110.18	1.004	0.597	10.0	1.376	0.45	5.38
	OM3	101.15	1.0678	0.55	13	1.277	0.4752	7.22
15	OM1	174.12	0.75	0.555	5.353	1.452	0.476	2.85
	OM2	110.36	0.644	0.71	3.82	1.492	0.594	2.8
	OM3	91.335	0.752	0.608	3.52	1.5	0.877	2.5
18	OM1	151.76	0.8356	0.6223	8.0	1.442	0.96	5.875
	OM2	120.61	0.983	0.587	8.0	1.42	0.96	6.837
	OM3	138.88	0.797	0.833	12.94	0.972	0.96	10.467

Теоретические расчеты сечений упругих процессов дейтрона на  $^{13}\text{C}$  (рис. 3) являются результатами подобранных оптимальных оптических потенциалов и наилучшего согласия с экспериментальными данными. Кулоновский радиус был зафиксирован на уровне  $r_C = 1.3$  Фм. Оптические потенциалы физически разумны и не имеют значительных отклонений от предыдущих работ [6-10]. По характеру поведения все приведенные сечения экспериментальных данных и теоретических расчетов близки с работой [15], где приводятся экспериментальные данные и анализ по упругому рассеянию дейтронов через взаимодействие  $^{12}\text{C}(d,d)^{12}\text{C}$  при энергиях  $E_d = 12.4, 25.9$  и  $29.5$  МэВ.

**Заключение.** Экспериментальные данные были получены для упругого рассеяния дейтронов с энергией  $14.5$  МэВ на мишень  $^{13}\text{C}$ . Представлено подробное описание эксперимента и использованного оборудования. Экспериментальные данные были проанализированы в рамках оптической модели с помощью потенциала Вудс-Саксона. Дополнительно сравнили анализ наших данных с предыдущими измерениями с другими энергиями. Было получено хорошее согласие всех экспериментальных данных и теоретических расчетов при разных энергиях налетающей частицы.

В ближайшем будущем мы планируем рассмотреть результаты и провести анализ данных неупругого рассеяния других состояний -  $3.09$  МэВ ( $1/2+$ ) состояние с нейтронным гало,  $8.86$  МэВ ( $5/2+$ ) – аналог состояния Хойла в ядре  $^{12}\text{C}$ , и  $9.90$  МэВ ( $3/2-$ ) – возможное компактное кластерное состояние - которые были наблюдаемы, но до сих пор не проанализированы. Планируется дополнить и закончить анализ данных, используя параметры оптических потенциалов в будущих работах.

## Список литературы

- 1 Otsuka T., Fukunishi N. and Sagawa H. Structure of Exotic Neutron-Rich Nuclei // Physical Review Letters. - 1993. - Vol. 70. - P.1385.
- 2 Burtebayev N., Janseitov D.M., Kerimkulov Zh., Mukhamejanov Y.S., Nassurlla M., Demyanova A.S., Danilov A.N., Ogloblin A.A., Aimagambetov A.S. // Investigation of exotic states of  $^{13}\text{C}$  at low energy // International Journal of Modern Physics E. - 2018. - Volume 27. - № 3. - P. 1850025.
- 3 Demyanova A.S., Ogloblin A.A., Danilov A.N., Goncharov S.A., Belyaeva T.L., Sobolev Yu.G., Khlebnikov S.V., Burtebaev N., Trzaska W., Heikkinen P., Tyurin G.P., Janseitov D. and Gurov Yu.B. States of  $^{13}\text{C}$  with abnormal radii // EPJ Web of Conferences. - 2016. - Vol. 117. - P.0401.
- 4 Milin M. and von Oertzen W. Search for molecular bands in  $^{13}\text{C}$  // European Physical Journal A. - 2002. -Vol. 14. - P.295-307.
- 5 Ogloblin A.A., Demyanova A.S., Danilov A.N., Goncharov S.A., Belyaeva T.L., Trzaska W. and Sobolev Yu. G. Possible observation of an excited state with an anomalously small radius in the  $^{13}\text{C}$  nucleus // JETP Letters. - 2015. - Volume 102. - № 4. - P. 199-202.
- 6 Burtebayev N., Janseitov D.M., Kerimkulov Z., Nassurlla M., Mukhamejanov Y S, Aimagambetov A.S. and Valiolda A.S. // Journal of Physics: Conf. series. - 2018. - Volume 1023. - P. 012025.
- 7 Burtebayev N., Sakhiyev S.K., Janseitov D.M., Kerimkulov Zh., Alimov D. and Danilov A.N. Investigation of the elastic and inelastic scattering of  $\alpha$ -particles from  $^{13}\text{C}$  in the energy range  $26.6$ – $65$  MeV // International Journal Modern Physics E. - 2016. - Volume 25. - № 10. - P.1650078.
- 8 Datta S.K., Berg G.P. and Quin P.A. Investigation of deuteron induced reactions on  $^{13}\text{C}$  // Nuclear Physics A. - 1978. - Volume 312. - P. 1-16.
- 9 Janseitov D.M., Burtebayev N., Kerimkulov Zh., Alimov D., Nasurlla M., Mauey B., Valiolda D.S., Demyanova A.S., Danilov A., Hamada Sh., Aimagambetov A. Investigation of deuteron scattering from  $^{13}\text{C}$  at low energy // Acta Physica Polonica B. - 2020. - Volume 51. - № 3. - P.745-750.
- 10 Busch C.E., Clegg T.B., Datta S.K. and Ludwig E.J. The cross section and vector analyzing power for the elastic scattering of  $15.0$  MeV deuterons from  $^{10}\text{B}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$  and  $^{16}\text{O}$  // Nuclear Physics A. - 1974. - Volume 223. - P. 183 – 194.
- 11 Dyachkov V.V., Burtebayev N.T. and Yushkov A.V. Measuring Elastically Scattered  $18$  MeV Deuterons and the Shape of Nuclei // Bulletin of the Russian Academy of Sciences, Physics. - 2012. - Volume 76. - № 8. - P. 895 – 900.
- 12 Буртебаев Н.Т., Виноградов А.А., Вонгай А.Д., Дуйсебаев А.Д., Курашов А.А., Мазуров И.Б., Парамонов В.В., Прокофьев С.И., Сакута С.Б., Саньчев В.И., Сытин Н.П., Чесалов А.А., Чуев В.И. Система многомерного анализа для исследования ядерных реакций на циклотроне ИЯФ АН КазССР // Известия АН КазССР, Серия физико-математическая. - 1975. - № 2. - С.65-68.

- 13 Артемов С.В., Багажин А.Г., Буртебаев Н., Бактыбаев М.К., Караходжаев А.А., Нам И.В., Небесный Ф., Радюк Г.А., Якушев В.П. Двумерный анализатор на микроконтроллерах для идентификации и спектрометрии заряженных частиц // Приборы и техника эксперимента. - 2009. - Т.1. - С. 168-170.
- 14 Никитюк Н.М. Программно управляемые блоки в стандарте КАМАК – М.: Энергия, 1977. – 153 с.
- 15 Belyaeva T.L., Perez-Torres R., Ogloblin A.A., Demyanova A.S., Ershov S.N. and Goncharov S.A. Determination of neutron halo radii in the first excited states of  $^{13}\text{C}$  and  $^{11}\text{Be}$  with the asymptotic normalization coefficients method // Physical Review C. – 2014. - Volume 90. – P. 064610-1-14.

Д.М. Джансейтов <sup>1,2,3</sup>, Н. Буртебаев <sup>1</sup>, Д. Алимов <sup>1</sup>, М. Насурлла <sup>1</sup>, Б. Мауей <sup>2</sup>, Д.С. Валиолда <sup>2,3</sup>, А. Аймаганбетов <sup>4</sup>, Ғ. Ергалиұлы <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup> Біріккен ядролық зерттеулер институты, Дубна, Ресей

<sup>3</sup> Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>4</sup> Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

#### Төмен энергияда дейтрондардың $^{13}\text{C}$ ядросынан серпімді шашырауын эксперименттік зерттеу

**Аннотация.**  $^{13}\text{C}$  көміртегі изотоптарынан алынған нысаналардан дейтрондардың серпімді шашырауының эксперименттік қималары Ядролық физика институтының (Алматы, Қазақстан) У-150М циклотронында өлшенді. Үдетілген дейтрон көзінің энергиясы 14,5 және 18 МэВ құрады. Шашыраған дейтрондардың бұрыштық таралуы лабораториялық координаттар жүйесінде 10-нан 100 градусқа дейінгі аралықта болды. Зарядталған бөлшектердің шоғыр тогы 100 нА-дан кем болмады. Бұл жұмыста эксперимент техникасы мен құрылғылардың қысқаша сипаттамасы егжей-тегжейлі баяндалған. Зерттеу нәтижелері  $^{13}\text{C}(d,d)^{13}\text{C}$  өзара әрекеттесуі туралы эксперименттік мәліметтер және  $d+^{13}\text{C}$  серпімді шашырау процесі үшін теориялық есептеулер болып табылады. Алынған эксперименттік қималар алдыңғы басқа энергияларда алынған зерттеулермен салыстырмалы талдаудан өтті. Теориялық есептеулер оптикалық модель аясында жүргізілді. Вудс-Саксон түріндегі оптикалық потенциал серпімді шашыраудың тәжірибелік нәтижелерін талдау үшін пайдаланылды. Нәтижесінде тәжірибелік мәліметтер мен теориялық болжамдар арасында жақсы келісімге қол жеткізілді. Теориялық модель шеңберіндегі есептеулер нәтижелері одан әрі қарай серпімсіз дейтронның  $^{13}\text{C}$ -нан шашырауы бойынша эксперименттік мәліметтерді талдау үшін қолданылады.

**Түйін сөздер:** қима, дейтрон, Вудс-Саксон, серпімді шашырау, оптикалық модель.

D.M. Janseitov <sup>1,2,3</sup>, N. Burtebayev <sup>1</sup>, D. Alimov <sup>1</sup>, M. Nassurlla <sup>1</sup>, B. Mauyey <sup>2</sup>, D.S. Valiolda <sup>2,3</sup>, A. Aimagambetov <sup>4</sup>, G. Yergaliuly <sup>4</sup>

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

<sup>2</sup> Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

<sup>3</sup> Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<sup>4</sup> L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

#### Experimental study of deuterons elastic scattering from $^{13}\text{C}$ at low energies

**Abstract.** Experimental cross sections of deuterons elastic scattering on target of carbon isotopes  $^{13}\text{C}$  were measured within obtained beam from cyclotron U-150M in Institute of Nuclear Physics (Almaty, Kazakhstan). Accelerated deuterons beam energy was 14.5 and 18 MeV. An angular distribution of scattered deuterons were in range of 10 to 100 degrees in laboratory system coordinates. The current of charged particles was less than 100 nA. Experiment methods and brief specification of experimental setup are detail described in this work. Experimental data of  $^{13}\text{C}(d,d)^{13}\text{C}$  interaction and theoretical calculations for elastic scattering process  $d+^{13}\text{C}$  are the results of investigation. The gained experimental cross sections were compared with analogical previous investigations at other energies. Theoretical calculations were performed in frame of optical model. The optical potential of Woods-Saxon type was used for analysis of experimental results of elastic scattering. The well agreement was achieved between experimental data and theoretical predictions as a result of data analysis. The results of calculations in the frame of theoretical model would be used for further analysis of experimental data of inelastic deuterons scattering on  $^{13}\text{C}$ .

**Keywords:** cross section, deuteron, Woods-Saxon, elastic scattering, optical model.

## References

- 1 Otsuka T., Fukunishi N. and Sagawa H. Structure of Exotic Neutron-Rich Nuclei, Physical Review Letters, 70, 1385 (1993).
- 2 Burtebayev N., Janseitov D.M., Kerimkulov Zh., Mukhamejanov Y.S., Nassurlla M., Demyanova A.S., Danilov A.N., Ogloblin A.A., Aimagambetov A.S. Investigation of exotic states of  $^{13}\text{C}$  at low energy, International Journal of Modern Physics E, 27(3), 1850025 (2018).
- 3 Demyanova A.S., Ogloblin A.A., Danilov A.N., Goncharov S.A., Belyaeva T.L., Sobolev Yu.G., Khlebnikov S.V., Burtebayev N., Trzaska W., Heikkinen P., Tyurin G.P., Janseitov D. and Gurov Yu.B. States of  $^{13}\text{C}$  with abnormal radii, EPJ Web of Conferences, 117, 0401 (2016).
- 4 Milin M. and von Oertzen W. Search for molecular bands in  $^{13}\text{C}$ , European Physical Journal A, 14, 295-307 (2002).

- 5 Ogloblin A.A., Demyanova A.S., Danilov A.N., Goncharov S.A., Belyaeva T.L., Trzaska W. and Sobolev Yu. G. Possible observation of an excited state with an anomalously small radius in the <sup>13</sup>C nucleus, JETP Letters, 102(4), 199-202 (2015).
- 6 Burtebayev N., Janseitov D.M., Kerimkulov Z., Nassurlla M., Mukhamejanov Y.S., Aimaganbetov A.S. and Valiolda A.S. Exotic states of <sup>13</sup>C nuclei, Journal of Physics: Conf. series, 1023, 012025 (2018).
- 7 Burtebayev N., Sakhiyev S.K., Janseitov D.M., Kerimkulov Zh., Alimov D. and Danilov A.N. Investigation of the elastic and inelastic scattering of  $\alpha$ -particles from <sup>13</sup>C in the energy range 26.6–65 MeV, International Journal Modern Physics E, 25(10), 1650078 (2016).
- 8 Datta S.K., Berg G.P. and Quin P.A. Investigation of deuteron induced reactions on <sup>13</sup>C, Nuclear Physics A, 312, 1-16 (1978).
- 9 Janseitov D.M., Burtebayev N., Kerimkulov Zh., Alimov D., Nasurlla M., Mauey B., Valiolda D.S., Demyanova A.S., Danilov A., Hamada Sh., Aimaganbetov A. Investigation of deuteron scattering from <sup>13</sup>C at low energy, Acta Physica Polonica B, 51(3), 745-750 (2020).
- 10 Busch C.E., Clegg T.B., Datta S.K. and Ludwig E.J. The cross section and vector analyzing power for the elastic scattering of 15.0 MeV deuterons from <sup>10</sup>B, <sup>12</sup>C, <sup>13</sup>C, <sup>14</sup>N and <sup>16</sup>O, Nuclear Physics A, 223, 183 – 194 (1974).
- 11 Dyachkov V.V., Burtebayev N.T. and Yushkov A.V. Measuring Elastically Scattered 18 MeV Deuterons and the Shape of Nuclei, Bulletin of the Russian Academy of Sciences Physics, 76(8), 895 – 900 (2012).
- 12 Burtebayev N.T., Vinogradov A.A., Vongai A.D., Duisebayev A.D., Kurashov A.A., Mazurov I.B., Paramonov V.V., Prokofev S.I., Sakuta S.B., Sanychev V.I., Sytin N.P., Chesalov A.A., Chuyev V.I. Sistema mnogomernogo analiza dlya issledovaniya yadernykh reaktiv na tsiklotrone IYAF AN KazSSR [System of multidimensional analysis for nuclear reactions investigation on cyclotron of INP AS KazSSR], Bulletin Academy of Science of KazSSR Physics-Mathematics series, 2, 65-68(1975).
- 13 Artemov S.V., Bagazhin A.G., Burtebayev N., Baktybayev M.K., Karakhodjayev A.A., Nam I.V., Nebesnyi F., Radyuk G.A., Yakushev V.P. Dvumernyi analizator na mikrokontrolerakh dlya identifikatsii i spektrometrii zaryazhennykh chastits [Two-dimensional analyzer on microcontrollers for identification and spectrometry of charged particles], Instruments and Experimental Technique, 1, 168-170 (2009).
- 14 Nikityuk N.M. Programno upravlyаемые блоки в стандартe KAMAK [Program controlled blocks in CAMAC standart] (Moscow: Energiya [-M.: Energy], 1977, 153 p.).
- 15 Belyaeva T.L., Perez-Torres R., Ogloblin A.A., Demyanova A.S., Ershov S.N. and Goncharov S.A. Determination of neutron halo radii in the first excited states of <sup>13</sup>C and <sup>11</sup>Be with the asymptotic normalization coefficients method, Physical Review C, 90, 064610-1-14 (2014).

#### Сведения об авторах:

*Джансейтов Д.М.* – старший научный сотрудник лаборатории низкоэнергетических ядерных реакций РГП «Институт ядерной физики», Ибрагимова, 1, Алматы, Казахстан.

*Буртебаев Н.* – заведующий лабораторией низкоэнергетических ядерных реакций РГП «Институт ядерной физики», Ибрагимова, 1, Алматы, Казахстан.

*Алимов Д.К.* – старший научный сотрудник лаборатории низкоэнергетических ядерных реакций РГП «Институт ядерной физики», Ибрагимова, 1, Алматы, Казахстан.

*Насурлла М.* – старший научный сотрудник лаборатории низкоэнергетических ядерных реакций РГП «Институт ядерной физики», Ибрагимова, 1, Алматы, Казахстан.

*Мауей Б.* – научный сотрудник Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова, Объединенный институт ядерных исследований, Жолио-Кюри, 6, Дубна, Россия.

*Валиolda Д.С.* – младший научный сотрудник Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова, объединенный институт ядерных исследований, Жолио-Кюри, 6, Дубна, Россия.

*Аймаганбетов А.С.* – докторант PhD, Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан.

*Ергалиулы Г.* – докторант PhD, Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан.

*Janseitov D.M.* – Senior Researcher of the Laboratory of Low-Energy Nuclear Reactions of the RSE "Institute of Nuclear Physics", Ibragimova str., 1, Almaty, Kazakhstan.

*Burtebayev N.* – Head of the Laboratory of Low Energy Nuclear Reactions of the RSE "Institute of Nuclear Physics", Ibragimova str., 1, Almaty, Kazakhstan.

*Alimov D.K.* – Senior Researcher of the Laboratory of Low-Energy Nuclear Reactions of the RSE "Institute of Nuclear Physics", Ibragimova str., 1, Almaty, Kazakhstan.

*Nassurlla M.* – Senior Researcher of the Laboratory of Low-Energy Nuclear Reactions of the RSE "Institute of Nuclear Physics", Ibragimova str., 1, Almaty, Kazakhstan.

*Mauey B.* - Scientific researcher, Flerov Laboratory of nuclear reactions, Joint Institute for Nuclear Research, 6 Joliot-Curie, Dubna, Russia.

*Valiolda D.S.* – Junior researcher, Bogolyubov Laboratory of theoretical physics, Joint Institute for Nuclear Research, 6 Joliot-Curie, Dubna, Russia.

*Aimaganbetov A.S.* – PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Yergaliuly G.* – PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev, Nur-Sultan, Kazakhstan.