

ISSN (Print) 2616-6836
ISSN (Online) 2663-1296

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of L.N. Gumilyov Eurasian
National University

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

PHYSICS. ASTRONOMY Series

Серия **ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

№4(129)/2019

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Нұр-Сұлтан, 2019

Nur-Sultan, 2019

Нур-Султан, 2019

Бас редакторы:
ф.-м.ғ.д., профессор
А.Т. Ақылбеков (Қазақстан)

Бас редактордың орынбасары

Гиниятова Ш.Г., ф.-м.ғ.к., доцент
(Қазақстан)

Редакция алқасы

Арынгазин А.Қ.	ф.-м.ғ. докторы(Қазақстан)
Алдонгаров А.А.	PhD (Қазақстан)
Балапанов М.Х.	ф.-м.ғ.д., проф. (Ресей)
Бахтизин Р.З.	ф.-м.ғ.д., проф. (Ресей)
Даулетбекова А.Қ.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Ержанов Қ.К.	ф.-м.ғ.к., PhD (Қазақстан)
Жұмаділов Қ.Ш.	PhD (Қазақстан)
Здоровец М.	ф.-м.ғ.к.(Қазақстан)
Қадыржанов Қ.К.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Кайнарбай А.Ж.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Кутербеков Қ.А.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Лущик А.Ч.	ф.-м.ғ.д., проф.(Эстония)
Морзабаев А.К.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Мырзақұлов Р.Қ.	ф.-м.ғ.д., проф.(Қазақстан)
Нұрахметов Т.Н.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Сауытбеков С.С.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Салиходжа Ж.М.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Тлеукенов С.К.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Усеинов А.Б.	PhD (Қазақстан)
Хоши М.	PhD, проф.(Жапония)

Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Сәтбаев к-сі, 2, 402 б.,
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті.
Тел.: +7(7172) 709-500 (ішкі 31-428)
E-mail: vest_phys@enu.kz

Жауапты хатшы, компьютерде беттеген: А. Нұрболат

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.
ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

Меншіктенуші: ҚР БЖҒМ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті" ШЖҚ РМК
Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігінде 27.03.2018ж.
№16999-ж тіркеу куәлігімен тіркелген.

Ашық қолданудағы электрондық нұсқа: <http://bulphysast.enu.kz/>

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Қажымұқан к-сі, 12/1, 349 б.,
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті. Тел.: +7(7172)709-500 (ішкі 31-428)

Editor-in-Chief

Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor
A.T. Akilbekov (Kazakhstan)

Deputy Editor-in-Chief

Giniyatova Sh.G., Candidate of Phys.-Math. Sciences,
Assoc. Prof. (Kazakhstan)

Editorial Board

Aryngazin A.K.	Doctor of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Aldongarov A.A.	PhD (Kazakhstan)
Balapanov M.Kh.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Russia)
Bakhtizin R.Z.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Russia)
Dauletbekova A.K.	Candidate of Phys.-Math. Sciences, PhD (Kazakhstan)
Hoshi M.	PhD, Prof. (Japan)
Kadyrzhanov K.K.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Kainarbay A.Zh.	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Kuterbekov K.A.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Lushchik A.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Estonia)
Morzabayev A.K.	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Myrzakulov R.K.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Nurakhmetov T.N.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Sautbekov S.S.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Salikhodzha Z. M	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Tleukenov S.K.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Useinov A.B.	PhD (Kazakhstan)
Yerzhanov K.K.	Candidate of Phys.-Math. Sciences, PhD (Kazakhstan)
Zdorovets M.	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Zhumadilov K.Sh.	PhD (Kazakhstan)

Editorial address: L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2, Satpayev str., of. 402,
Nur-Sultan, Kazakhstan 010008
Tel.: +7(7172) 709-500 (ext. 31-428)
E-mail: vest_phys@enu.kz

Responsible secretary, computer layout: A.Nurbolat

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.

PHYSICS. ASTRONOMY Series

Owner: Republican State Enterprise in the capacity of economic conduct "L.N. Gumilyov Eurasian National University" Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan.

Registration certificate №16999-ж from 27.03.2018.

Available at: <http://bulphysast.enu.kz/>

Address of printing house: L.N. Gumilyov Eurasian National University, 12/1 Kazhimukan str.,
Nur-Sultan, Kazakhstan 010008;

tel.: +7(7172) 709-500 (ext. 31-428)

Главный редактор:
доктор ф.-м.н.
А.Т. Акилбеков, доктор ф.-м.н., профессор (Казахстан)

Зам. главного редактора

Ш.Г. Гиниятова к.ф.-м.н., доцент
(Казахстан)

Редакционная коллегия

Арынгазин А.К.	доктор ф.-м.н.(Казахстан)
Алдонгаров А.А.	PhD (Казахстан)
Балапанов М.Х.	д.ф.-м.н., проф. (Россия)
Бахтизин Р.З.	д.ф.-м.н., проф. (Россия)
Даулетбекова А.К.	д.ф.-м.н., PhD (Казахстан)
Ержанов К.К.	к.ф.-м.н., PhD (Казахстан)
Жумадилов К.Ш.	PhD (Казахстан)
Здоровец М.	к.ф.-м.н.(Казахстан)
Кадыржанов К.К.	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Кайнарбай А.Ж.	к.ф.-м.н. (Казахстан)
Кутербеков К.А.	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Лущик А.Ч.	д.ф.-м.н., проф. (Эстония)
Морзабаев А.К.	д.ф.-м.н. (Казахстан)
Мырзакулов Р.К.	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Нурахметов Т.Н.	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Сауытбеков С.С.	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Салиходжа Ж.М	к.ф.-м.н. (Казахстан)
Тлеукунов С.К.	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Усеинов А.Б.	PhD (Казахстан)
Хоши М.	PhD, проф. (Япония)

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2, каб. 402, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева.
Тел.: (7172) 709-500 (вн. 31-428)
E-mail: vest_phys@enu.kz

Ответственный секретарь, компьютерная верстка: А. Нурболат

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.
Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

Собственник РГП на ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева" МОН РК
Периодичность: 4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан.

Регистрационное свидетельство №16999-ж от 27.03.2018г.

Электронная версия в открытом доступе: <http://bulphysast.enu.kz/>

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Кажимукана, 12/1, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева. тел.: +7(7172)709-500 (вн. 31-428)

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

№4(129)/2019

МАЗМҰНЫ

<i>Ибраева А.Д., Янсе А. Вуурен Ван, Скуратов В.А., Здоровец М.В.</i> Кристалды Si ₃ N ₄ -те латентті тректердің пайда болу энергиясының ионизациялық жоғалтуының шекті деңгейін анықтау	8
<i>Алдонгаров А.А., Асылбекова А.М., Иргубаева И.С.</i> Кумарин бояғышымен байланысты CdS кластерлерінде электрондық ауысуларды есептеу	15
<i>Ермекова Ж.К., Алдонгаров А.А., Сағындықова Ғ.Е., Есманова С.С.</i> Педагогикалық мамандық студенттерінің сыни ойлауын дамыту	27
<i>Карипбаев Ж.Т., Абуова А.У., Алтысова Ғ.К., Сәрсенғалиева К.М., Байжолов К.А., Кукенова А.Б., Здоровец М.В.</i> Оттегі енгізілген ZnWO ₄ кристалдарының люминесценциясы	33
<i>Кабышев А.М., Кутербеков К.А., Мұхамбетжан А.М., Нуржанов А.Б., Уәлшерев Д.Т., Бекмырза К.Ж., Рахимғалиева И.Т., Сарсенов Р.М., Махамбаева И.У.</i> 8-217 МэВ энергиясы кезінде ²⁸ Si ядросында ³ He серпімді шашырауын зерттеу	42
<i>Мусаханов Д.А., Лисицын В.М., Карипбаев Ж.Т., Алтысова Ғ.К., Голковский М.Г., Даулетбекова А.К., Козловский А., Здоровец М.В.</i> Қуатты электронды ағынында синтезделген MgF ₂ -WO ₂ керамикасының құрылымы	51
<i>Каргин Д., Козловский А., Алтынов Е., Касымханов, А.Бисекен, Мухамбетов Д.</i> Болат илемдеу өндірісінің қосалқы өнімдер бөлшектерінің морфологиясы	59
<i>Мусатаева А.Б., Мырзакулов Н.А.</i> Камасс-Холм теңдеуі үшін беттің бірінші және екінші фундаменталды формасы	65
<i>Серикбаев Н.С., Нугманова Ғ.Н., Мырзакулов Р.</i> (2+1)-өлшемді Дэви-Стюартсон I теңдеуінің екікомпонентті жалпылануы I	73
<i>Ногай А.С., Кутербеков К.А., Ускенбаев Д.Е., Бекмырза К.Ж., Ногай А.А., Кабышев А.М.</i> Платинасыз катализаторлары бар нафион типті мембраналардағы жылу релаксациялық поляризациясының ерекшеліктері	80
<i>Нурсултанова Н.С., Жумадилов К.Ш.</i> Төмен доза әсер ету ықпалын бағалау мәселесі	86
<i>Шанина З.К.</i> Конно-Оно теңдеуінің дисперсиясыз шегі	93
<i>Шаханова Ғ.А.</i> Ақыл-ой карталарын оқу үдерісінде идеяларды қалыптастыру және құрылымдау әдісі ретінде қолдану	99
<i>Русақова А.В., Акилбеков А.Т., Жунусова М.К.</i> Нейтрондармен сәулеленген GaAs диэлектрлік қасиеттерін күйдіру	107

BULLETIN OF L.N. GUMILYOV EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY. PHYSICS.
ASTRONOMY SERIES

№4(129)/2019

CONTENTS

<i>Ibrayeva A.D., Janse A. Vuuren Van, Skuratov V.A., Zdorovets M.V.</i> About determination of the threshold ionization energy losses for the latent tracks formation in crystalline Si_3N_4	8
<i>Aldongarov A.A., Assilbekova A.M., Irgibaeva I.S.</i> Calculation of electronic transitions in CdS clusters associated with coumarin dye	15
<i>Ermekova Zh.K., Aldongarov A.A., Sagyndykova G.E., Esmanova S.S.</i> Development of critical thinking of students of pedagogical specialties	27
<i>Karipbaev Zh.T., Abuova A.U. Alpyssova G.K., Sarsengaliyeva K.M., Baozholov K.A., Kukenova A.B., Zdorovets M.V.</i> Luminescence of ZnWO_4 crystals with oxygen introduced	33
<i>Kabyshv A.M., Kuterbekov K.A., Mukhambetzhana A.M., Nurzhanov A.B., Ualsherov D.T., Bekmyrza K.Zh., Rakhimgaliyeva I.T., Sarsenov R.M., Makhambayeva .U.</i> Study of the elastic scattering of ^3He on the ^{28}Si nucleus at the energy of 8 -217 MeV	42
<i>Musahanov D., Lisitsyn V., Karipbaev Zh., Alpyssova G., Golkovskii M., Dauletbekova A., Kozlovskii A., Zdorovec M.</i> The structure of $\text{MgF}_2\text{-WO}_2$ ceramic synthesized in a powerful electron flow	51
<i>Kargin D., Kozlovskij A., Altynov E., Kasymhanov Zh., Biseken A., Muhambetov D.</i> Morphology of the particles of by-products of steel rolling production	59
<i>Mussatayeva A.B., Myrzakulov N.A.</i> The first and second fundamental forms for the Camassa-Holm equation	65
<i>Serikbayev N.S., Nugmanova G.N., Myrzakulov R.</i> On the Integrable Two-Component (2+1)-dimensional Davey-Stewartson Equation	73
<i>Nogay A.S., Kuterbekov K.A., Uskenbayev D.E., Bekmyrza K.Zh., Nogay A.A., Kabyshv A.M.</i> Features of thermal relaxation of polarization in the Nafion membranes with no platinum catalysts	80
<i>Nursultanova N., Zhumadilov K.</i> The problem of assessing the effects of low-dose exposure	86
<i>Shanina Z.K.</i> Dispersionless limit of the Konno-Oono equation	93
<i>Shakhanova G.A.</i> Mind maps as a method of generating and structuring ideas in the learning process	99
<i>Russakova A.V., Akilbekov A.T., Zhunusova M.K.</i> Annealing of dielectric properties of GaAs Crystals Irradiated by Neutrons	107

ВЕСТНИК ЕВРАЗИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ Л.Н.ГУМИЛЕВА. Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

№4(129)/2019

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ибраева А.Д., Янсе А. Вуурен Ван., Скуратов В.А., Здоровец М.В.</i> К вопросу об определении порогового уровня ионизационных потерь энергии образования латентных треков в кристаллическом Si_3N_4	8
<i>Алдонгаров А.А., Асылбекова А.М., Иргибаетова И.С.</i> Расчет электронных переходов в кластерах CdS, связанных с кумариновым красителем	15
<i>Ермекова Ж.К., Алдонгаров А.А., Сагындыкова Г.Е., Есманова С.С.</i> Развитие критического мышления студентов педагогических специальностей	27
<i>Карипбаев Ж.Т., Абуова А.У., Алтысова Г.К., Сарсенгалиева К.М., Байжолов К.А., Кукенова А.Б., Здоровец М.В.</i> Люминесценция кристаллов ZnWO_4 с введенным кислородом	33
<i>Кабышев А.М., Кутербекоев К.А., Мухамбетжан А.М., Нуржанов А.Б., Уалшерев Д.Т., Бекмырза К.Ж., Рахимгалиева И.Т., Сарсенов Р.М., Махамбаева И.У.</i> Изучение упругого рассеяния ^3He на ядре ^{28}Si при энергии 8-217 МэВ	42
<i>Мусаханов Д.А., Лисицын В.М., Карипбаев Ж.Т., Алтысова Г.К., Голковский М.Г., Даулетбекова А.К., Козловский А., Здоровец М.В.</i> Структура керамики $\text{MgF}_2\text{-WO}_2$, синтезированной в мощном потоке электронов	51
<i>Каргин Д., Козловский А., Алтынов Е., Касымханов, А.Бисекен, Д.Мухамбетов</i> Морфология частиц побочных продуктов сталепрокатного производства	59
<i>Мусатаева А.Б., Мырзакулов Н.А.</i> Первая и вторая фундаментальные формы поверхности для уравнения Камасса-Холма	65
<i>Серикбаев Н.С., Нугманова Г.Н., Мырзакулов Р.</i> О двухкомпонентном обобщении (2+1)-мерного уравнения Дэви-Стюартсона I	73
<i>Ногай А.С., Кутербекоев К.А., Ускенбаев Д.Е., Бекмырза К.Ж., Ногай А.А., Кабышев А.М.</i> Особенности тепловой релаксационной поляризации в мембранах типа нафион с без платиновыми катализаторами	80
<i>Нурсултанова Н.С., Жумадилов К.Ш.</i> Проблема оценки последствий воздействия низкой дозы облучения	86
<i>Шанина З.К.</i> Бездисперсионный предел уравнения Конно-Оно	93
<i>Шаханова Г.А.</i> Интеллект-карты как метод генерации и структурирования идей в учебном процессе	99
<i>Русакова А.В., Акилбеков А.Т., Жунусова М.К.</i> Отжиг диэлектрических свойств GaAs, компенсированного облучением нейтронами	107

А.М. Кабышев¹, К.А. Кутербеков¹, А.М. Мұхамбетжан², А.Б. Нуржанов¹,
Д.Т. Уэлшеров¹, К.Ж. Бекмырза¹, И.Т. Рахимгалиева¹, Р.М. Сарсенов¹,
И.У. Махамбаева²

¹ Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

² Кызылординский государственный университет имени Коржыт Ата, Кызылорда,
Казахстан

(E-mail: assetenu@gmail.com, kkuterbekov@gmail.com, aisulumuhankyzy@mail.ru,
kbekmyrza@yandex.kz)

Изучение упругого рассеяния ³He на ядре ²⁸Si при энергии 8-217 МэВ

Аннотация: В настоящей работе представлены результаты анализа экспериментальных данных (по дифференциальным сечениям упругого рассеяния и полным сечениям реакций) взаимодействия ионов ³He с ядром ²⁸Si при энергиях налетающего ядра от 8 до 217 МэВ. Расчеты проводились в рамках двойной фолдинг-модели с использованием МЗУ-Reid эффективного нуклон-нуклонного потенциала. Полученные величины дифференциальных и полных сечений находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными.

Ключевые слова: дифференциальные сечения упругого рассеяния, полные сечения реакций, двойная фолдинг-модель, оптический потенциал.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2019-129-4-42-50>

Введение. В настоящее время является актуальным систематическое совместное изучение семейства экспериментальных данных с привлечением современных феноменологических, полумикроскопических и микроскопических подходов для получения новой информации о структурных характеристиках ядерного вещества [1]. Для получения информации о структуре ядер требуется детальное знание механизма взаимодействия ядер, что включает в себя построение ядро-ядерных оптических потенциалов (ОП).

Наиболее разработанным методом определения параметров взаимодействия остается феноменологический подход, основанный на анализе экспериментальных сечений по упругому рассеянию в рамках оптической модели, в которой действительная часть ОП характеризует средний потенциал поля, действующий на налетающую частицу, тогда как мнимая часть учитывает поглощение.

Феноменологический ОП играет заметную роль в параметризации взаимодействия. Задавая подходящий аналитический вид потенциала, обычно это форма Вудса-Саксона, и определяя его глубину и геометрические параметры, можно добиться наилучшего согласия с имеющимися экспериментальными данными. Однако в случае рассеяния частиц параметры ОП подвержены существенным неоднозначностям. В этом случае экспериментально измеренные величины полных сечений реакций (ПСР, σ_R), представляющие своеобразный рэпер для тестирования различных теоретических моделей ядерных реакций, позволяют обойти проблему неоднозначности. Поэтому особенно важно измерение как угловых распределений дифференциальных сечений упругого рассеяния (УРДС), так и ПСР для одного типа налетающей частицы на одном и том же ядре мишени в одинаковой области энергии. Пока такие экспериментальные данные единичны.

В настоящее время использование двойной фолдинг-модели для расчета ОП для описания упругого рассеяния частиц получило широкое признание. Данная модель подразумевает свертку центральной части эффективного нуклон-нуклонного (NN) взаимодействия с основными состояниями плотностей ядра-снаряда и ядра-мишени и в своей обычной форме применяется для расчета действительной части ОП, позволяя сократить число феноменологических параметров и продвинуться в описании свойств атомных ядер.

В данной работе проведен оптико-модельный анализ имеющихся в литературе экспериментальных данных по упругому рассеянию ионов ³He на ядре ²⁸Si с использованием

двойного фолдинг-потенциала в качестве действительной части ОП и потенциала Вудса-Саксона в качестве мнимой части.

Анализ в рамках двойной фолдинг-модели. Экспериментальные данные по УРДС упругого рассеяния ${}^3\text{He}$ на ${}^{28}\text{Si}$ анализировались в рамках двойной фолдинг-модели [1], основанной на оптической модели с использованием программы DFROT [2]. В качестве действительной части потенциала используется двойной фолдинг-потенциал, для расчета которого применяется процедура двойной свертки нуклон-нуклонного взаимодействия с распределениями плотностей материи взаимодействующих ядер. Таким образом, действительная часть потенциала рассчитывается следующим образом:

$$V_{DF} = \int \int \rho_p(r_1)\rho_t(r_2)\nu_{NN}(r - r_1 + r_2)d^3r_1d^3r_2, \quad (1)$$

где интегрирование осуществляется по объемам налетающей частицы и мишени, ν_{NN} – потенциал эффективного нуклон-нуклонного взаимодействия, $\rho_p(r_1)$ и $\rho_t(r_2)$ – распределения плотностей материи ядер налетающей частицы и мишени соответственно.

В качестве распределения плотности материи для ядра-снаряда ${}^3\text{He}$ использовалась функция гармонического осциллятора [3]:

$$\rho(r) = \rho_0 \exp(-\alpha r^2), \quad (2)$$

где $\alpha = 0.5505 \text{ фм}^{-2}$, $\rho_0 = 0.2202 \text{ фм}^{-3}$. Среднеквадратичный радиус ядра ${}^3\text{He}$ для данной конфигурации составляет 1.650 фм. Для ядра-мишени ${}^{28}\text{Si}$ нами использовалась функция гармонического осциллятора со среднеквадратическим радиусом 3.138 фм, взятая из работы [4]:

$$\rho(r) = 0.205(1 + 0.1941r^2)\exp(-0.2112r^2), \quad (3)$$

На рисунке 1 показаны распределения плотностей материи для ядер ${}^3\text{He}$ и ${}^{28}\text{Si}$, которые использовались нами в расчетах.

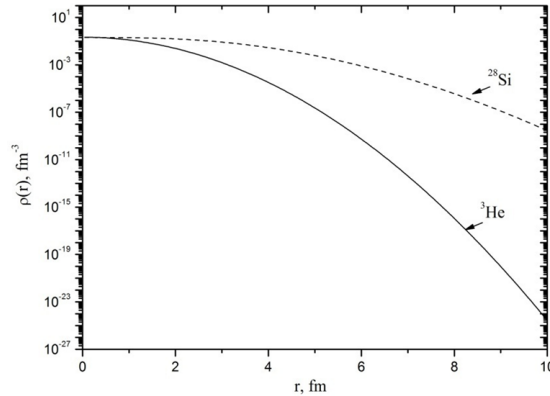


Рисунок 1 – Распределения плотностей материи для ядер ${}^3\text{He}$ и ${}^{28}\text{Si}$

Существуют несколько видов потенциалов эффективных нуклон-нуклонных сил. В данной работе мы использовали наиболее распространенный потенциал – МЗУ (Michigan 3 Yukawa), который представляется как ν_{NN} (MeV)

$$\nu_{NN}(r) = 7999 \frac{\exp(-4r)}{4r} - 2134 \frac{\exp(-2.5r)}{2.5r} + J_{00}(E)\delta(r), \quad (4)$$

где J_{00} (MeVfm³) представляет собой обменную часть взаимодействия, которая имеет линейную зависимость от энергии налетающего ядра и выражается:

$$J_{00}(E) = 276(1 - 0.005E_{Lab}/A_p), \quad (5)$$

В качестве мнимой части ОП мы использовали объемный потенциал с форм-фактором Вудса-Саксона:

$$W(r) = \frac{W_0}{1 + \exp((r - r_W)/a_W)}, \quad (6)$$

где $R_w = r_w(A_p^{1/3} + A_t^{1/3})$, A_p и A_t – массовые числа налетающего ядра и мишени соответственно. Таким образом, полный ОП имеет следующий вид:

$$U = N_r V_{DF}(r) + iW(r) + V_C(r), \quad (7)$$

где N_r – фактор, нормирующий глубину действительной части, который варьировался, чтобы достичь наилучшего согласия с экспериментальными данными по дифференциальным и полным сечениям реакции. Последний член $V_C(r)$ в выражении (7) – Кулоновский потенциал, который, предположительно, имеет форму равномерно заряженной сферы с радиусом $R_C = 1.3A^{1/3}$.

Полагается, что $N_r = 1$, если двойная фолдинг-модель «хорошо» описывает процесс рассеяния. Но из-за ошибок в экспериментальных данных и неопределенностей в расчете плотностей и потенциала эффективного взаимодействия, можно ожидать отклонения от единицы.

Обзор работ показывает [5], что для ионов ${}^3\text{He}$ значение параметра N_r составляет примерно величину 0.8 – 1. Поэтому в качестве исходных параметров для поиска мы использовали значение $N_r = 0.8$, варьируя также параметры мнимой части ОП для получения наилучшего согласия с экспериментальными данными.

Параметры N_r , W , r_w , a_w , отвечающие оптимальному соответствию экспериментальных и теоретических величин сечений, находились минимизацией величины:

$$\chi^2 = \frac{1}{N_{\Theta}} \sum_{i=1}^{N_{\Theta}} \left[\frac{\sigma^T(\theta_i) - \sigma^{\Theta}(\theta_i)}{\Delta\sigma^{\Theta}(\theta_i)} \right]^2, \quad (8)$$

где N_{Θ} – число экспериментальных точек в угловом распределении, σ^T и σ^{Θ} – соответственно, рассчитанное и измеренное значение дифференциального сечения рассеяния под углом θ_i , а $\Delta\sigma^{\Theta}$ – неопределенность величины $\sigma^{\Theta}(\theta_i)$.

Для расчетов и поиска оптимальных параметров потенциала нами использовался код FRESKO [6].

Найденные оптимальные параметры ОП для упругого рассеяния ${}^3\text{He}$ на ядре ${}^{28}\text{Si}$ вместе со значениями χ^2/N и величинами объемных интегралов действительной J_V и мнимой J_W частей потенциалов представлены в таблице 1.

Таблица 1 Параметры ОП для ${}^3\text{He} + {}^{28}\text{Si}$.

E (MeV)	N_r	W (MeV)	r (fm)	a (fm)	$J_R/A_p A_t$ MeVfm ³	$J_W/A_p A_t$ MeVfm ³	σ_R (mb)	χ^2/N
8	0.907	7.975	1.200	0.750	379.199	73.607	667.9	6.790
10	0.966	8.789	1.237	0.700	402.976	86.276	887.2	3.687
12	0.983	12.995	1.232	0.800	409.164	131.456	1167	2.055
15	1.000	13.842	1.141	0.800	414.859	114.403	1218	1.272
21	0.919	14.249	1.173	0.782	378.719	125.567	1348	4.860
25	0.914	18.103	1.100	0.800	374.976	136.046	1365	29.924
46	0.883	22.790	1.100	0.800	353.726	171.27	1453	9.828
60	0.850	19.951	1.100	0.800	335.031	149.933	1395	18.967
90	0.850	20.149	1.054	0.800	323.298	135.663	1278	69.597
217	0.800	33.893	0.871	0.774	257.534	139.323	974.7	1.756

В таблице 1 указаны величины объемных интегралов действительной и мнимой частей потенциала. Как известно, величины объемных интегралов ОП резко меняют свои значения при переходе от одного семейства потенциалов к другим из-за дискретной неоднозначности

и являются величиной одного и того же порядка для различных типов заряженных частиц. Существуют семейства потенциалов с одним и тем же значением $J_{R,W}/A_p A_t$ для протонов, дейтронов, ${}^3\text{He}$ и α -частиц, рассеиваемых на одних и тех же ядрах.

На рисунке 2 представлены энергетические зависимости объемных интегралов действительной и мнимой части потенциала для упругого рассеяния (${}^3\text{He} + {}^{28}\text{Si}$). Из рисунка 2 видно, что величина $J_R/A_p A_t$ испытывает скачок при энергии 10 – 15 МэВ, затем уменьшается с ростом энергии, тогда как $J_W/A_p A_t$, наоборот, плавно увеличивается до энергии 40 МэВ, а затем постепенно уменьшается.

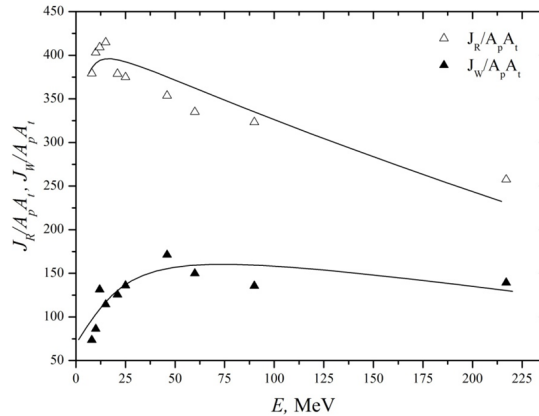


Рисунок 2 – Энергетические зависимости объемных интегралов действительной и мнимой части ОП для упругого рассеяния ${}^3\text{He} + {}^{28}\text{Si}$

На рисунках 3 – 6 представлены результаты анализа УРДС упругого рассеяния ${}^3\text{He}$ на ядре ${}^{28}\text{Si}$ с параметрами ОП из таблицы 1. В общем, получено относительно хорошее описание экспериментальных данных. Для рассеяния при энергии 8 МэВ не удалось получить приемлемое описание: теоретическая кривая, начиная от $\theta = 48^\circ$, выше, чем экспериментальные сечения. Для рассеяния при энергии 10 МэВ наблюдается несоответствие расчетных и экспериментальных величин дифференциальных сечений при углах от 150° и выше. По-видимому, существенную роль при больших углах начинают играть другие механизмы реакций.

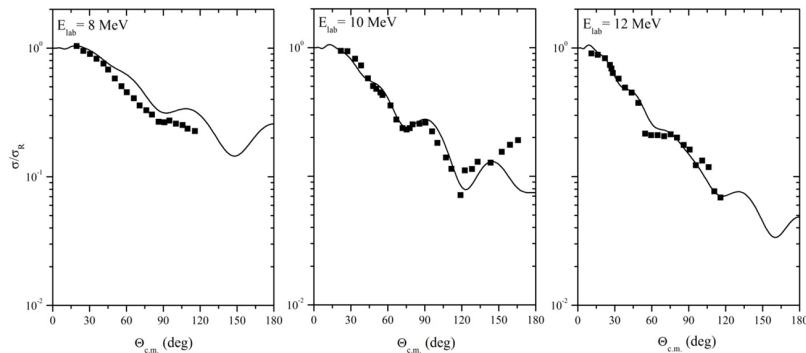


Рисунок 3 – УРДС упругого рассеяния ${}^3\text{He}$ на ядре ${}^{28}\text{Si}$ при энергии 8, 10 и 12 МэВ. Точки – экспериментальные данные [7 – 16], сплошная линия – расчет с использованием с ОП с параметрами из таблицы 1

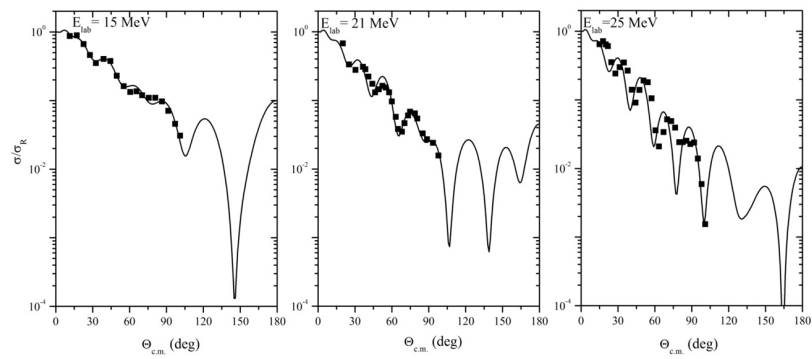


Рисунок 4 – То же самое, что и рисунок 3, но для энергий 15, 21 и 25 МэВ.

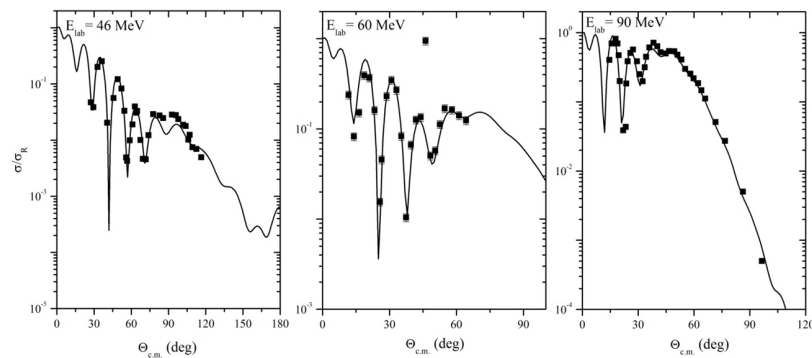


Рисунок 5 – То же самое, что и рисунок 3, но для энергий 46, 60 и 90 МэВ.

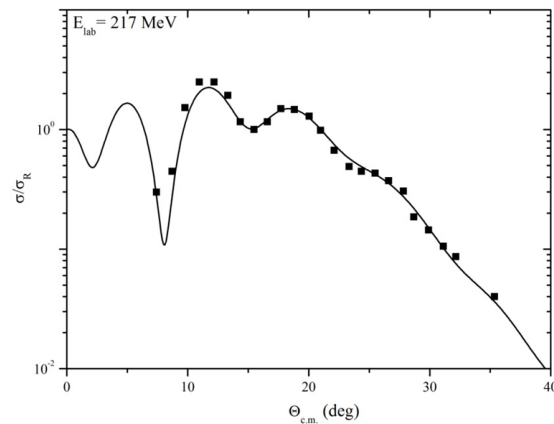


Рисунок 6 – То же самое, что и рисунок 3, но для энергии 217 МэВ.

В результате анализа УРДС упругого рассеяния ионов ${}^3\text{He}$ на ядре ${}^{28}\text{Si}$ были рассчитаны величины σ_R , которые приведены в таблице 1. Экспериментально измеренные величины σ_R служили критерием отбора параметров ОП. В настоящее время имеется немного экспериментальных данных по σ_R ввиду сложности их измерения. На рисунке 7 приведены имеющиеся в литературе экспериментальные величины по σ_R для реакций ${}^3\text{He}+{}^{28}\text{Si}$ при энергиях 96, 138 и 167 МэВ, и одна точка для реакции ${}^3\text{He}+{}^{27}\text{Al}$ при энергии 28.9 МэВ. Сплошной линией на рисунке указаны рассчитанные величины σ_R для реакции ${}^3\text{He}+{}^{28}\text{Si}$, которые, как видно, находятся в согласии с экспериментальными величинами σ_R при энергиях выше 80 МэВ.

На рисунке 3 наблюдается заметное превышение экспериментальной величины полного сечения реакции (${}^3\text{He}+{}^{27}\text{Al}$) над величиной ПСР для (${}^3\text{He}+{}^{28}\text{Si}$). Хотя, согласно

простейшим представлениям о взаимодействии двух ядер, сечения реакций должны расти с увеличением геометрических размеров ядер. Это справедливо для энергий, значительно превышающих высоту кулоновского барьера. Поэтому причиной расхождения может быть влияние кулоновского поля на сечение ${}^3\text{He} + {}^{27}\text{Al}$ при энергии 28.9 МэВ. Также это может быть связано с применением двух разных экспериментальных методик по измерению σ_R на разных ядрах-мишени.

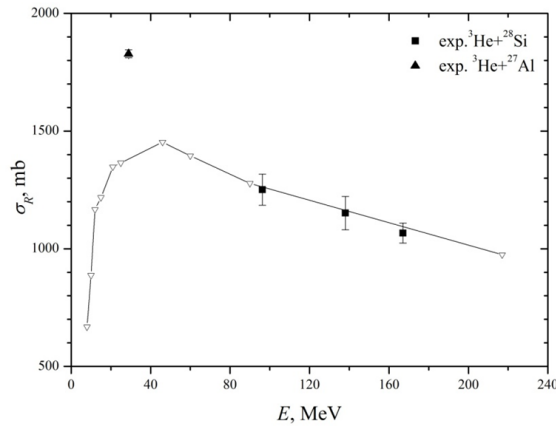


Рисунок 7 – Полные сечения реакции для (${}^3\text{He} + {}^{28}\text{Si}$): ■ – экспериментальные данные ${}^3\text{He} + {}^{28}\text{Si}$ [17]. - ▽ - расчет с использованием ОП с параметрами из таблицы 1. ▲ – экспериментальные данные ${}^3\text{He} + {}^{27}\text{Al}$ [18]

На основе данных, представленных в таблице 1, были получены энергетические зависимости параметров мнимой части ОП для (${}^3\text{He} + {}^{28}\text{Si}$) с энергиями в диапазоне от 8 до 217 МэВ. На рисунке 8 показаны полученные нами энергетические зависимости параметров мнимой части ОП.

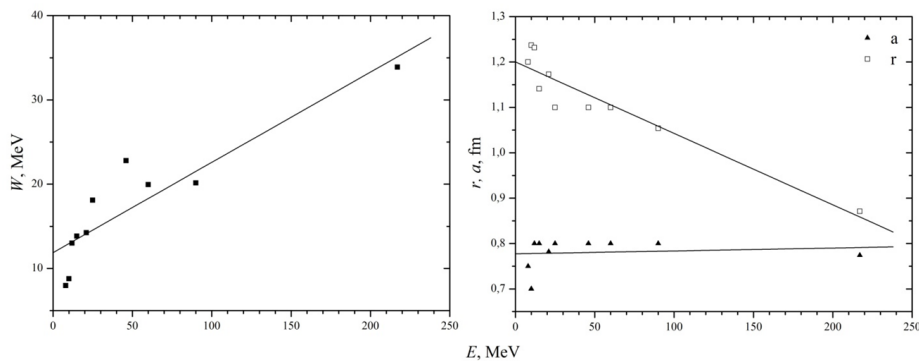


Рисунок 8 – Энергетические зависимости параметров ОП для системы (${}^3\text{He} + {}^{28}\text{Si}$)

Ниже представлены коэффициенты линейных зависимостей параметров мнимой части ОП от энергии ${}^3\text{He}$: $W = 11.87427 + 0.10713 E$; $r = 1.20015 - 0.00157 E$; $a = 0.774 + 6.35431 \cdot 10^{-5} E$.

Заключение. В настоящей работе был выполнен анализ экспериментальных данных по дифференциальным сечениям упругого рассеяния ионов ${}^3\text{He}$ на ядре ${}^{28}\text{Si}$ при энергиях от 8 до 217 МэВ в рамках двойной фолдинг-модели с использованием МЗУ-Reid эффективного нуклон-нуклонного потенциала.

Расчитаны величины объемных интегралов оптического потенциала. Величина $J_R/A_p A_t$ для действительной части ОП испытывает скачок при энергии 10 – 15 МэВ, затем уменьшается с ростом энергии. Величина $J_W/A_p A_t$ для мнимой части ОП, наоборот, плавно увеличивается до энергии 40 МэВ, а затем постепенно уменьшается.

Получены энергетические зависимости величин ПСР для (${}^3\text{He} + {}^{28}\text{Si}$) и проведено их сравнение с имеющимися экспериментальными данными. Наблюдается заметное превышение величины экспериментального ПСР для (${}^3\text{He} + {}^{27}\text{Al}$) над величинами ПСР для (${}^3\text{He} + {}^{28}\text{Si}$).

Причиной этого расхождения может быть влияние кулоновского поля на сечение (${}^3\text{He} + {}^{27}\text{Al}$) при энергии 28.9 МэВ, а также это может быть связано с применением двух разных экспериментальных методик по измерению σ_R на разных ядрах мишени.

Полученные параметры потенциала, описывающие экспериментальные данные, как УРДС упругого рассеяния, так и величины ПСР, позволяют говорить об их реалистичности.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках проекта грантового финансирования на 2018–2020 годы «Экспериментальные и теоретические исследования взаимодействия легких слабосвязанных ядер при низких энергиях – для астрофизических приложений» (договор №303 от 29.03.2018 г.).

Список литературы

- 1 Satchler G.R., Love W.G. Folding model potentials from realistic interactions for heavy-ion scattering // *Phys. Reports.* – 1979. – Vol. 55. – P. 183.
- 2 Cook J. DFPOТ - A program for the calculation of double folded potentials // *Comput. Phys. Comm.* – 1982. – Vol. 25. – P. 125.
- 3 Chwieroth F.S., Tang Y.C., Thompson D.R. Microscopic Coupled-Channel Study of the Five-Nucleon System with the Resonating-Group Method // *Phys. Rev. C.* – 1974. – Vol. 9. – P. 56.
- 4 Knyazkov O.M., Hefter E.F. An analytical folding potential for deformed nuclei // *Z. Phys. A.* – 1981. – Vol. 301. – P. 277.
- 5 Cook J., Griffiths R. J. Folding model analysis of triton and ${}^3\text{He}$ elastic scattering // *Nuclear Physics A.* – 1981. – Vol. 366. – P. 27.
- 6 Thompson I. Coupled reaction channels calculations in nuclear physics // *Computer Physics Reports.* – 1988. – Vol. 7. – P. 167.
- 7 McQueen J.E., Joyce J.M., Ludwig E.J. The (${}^3\text{He}, \alpha$) Reaction with Nuclei in the s-d Shell // *Nuclear Physics A.* – 1970. – Vol. 151. – P. 295.
- 8 Wildenthal B.H., Glaudemans P.W.M. The ${}^{28}\text{Si}({}^3\text{He}, {}^4\text{He}){}^{27}\text{Si}$ reaction // *Nuclear Physics A.* – 1967. – Vol. 92. – P. 353.
- 9 Bray K.H., Nurzyński J. The Reaction ${}^{28}\text{Si}({}^3\text{He}, \alpha){}^{27}\text{Si}$ at $E = 12$ MeV // *Nuclear Physics A.* – 1969. – Vol. 130. – P. 41.
- 10 Zurmühl R.W., Fou C.M. Optical-Potential Parameters for ${}^3\text{He}$ // *Nuclear Physics A.* – 1969. – Vol. 129. – P. 502.
- 11 Ludwig E.J., Clegg T.B., Walter R.L. The Polarization of ${}^3\text{He}$ Elastically Scattered from ${}^{27}\text{Al}$ and ${}^{28}\text{Si}$ at 21 MeV // *Nuclear Physics A.* – 1973. – Vol. 211. – P. 559.
- 12 Vernotte J., Berrier-ronsin G., Kalifa J., Tamisier R. Optical Model Analysis of ${}^3\text{He}$ Elastic Scattering from $s-d$ Shell Nuclei at 25 MeV // *Nuclear Physics A.* – 1982. – Vol. 390. – P. 285.
- 13 Fulmer C.B. Scattering of 41-MeV α Particles and 46-MeV ${}^3\text{He}$ from ${}^{27}\text{Al}$, ${}^{28}\text{Si}$, ${}^{29}\text{Si}$, and ${}^{30}\text{Si}$ // *Physical Review.* – 1978. – Vol. 18. – P. 621.
- 14 Адодин В.В. и др. Радужноподобные эффекты в реакции (${}^3\text{He}, \alpha$) на ядрах ${}^{24}\text{Mg}$, ${}^{28,30}\text{Si}$ при энергии 60 МэВ // *Изв. РАН сер.физ.* – 1994. – Т. 58(11). – С. 74.
- 15 Matsuoka N. et al. DWBA Analysis of (${}^3\text{He}, d$) Reactions at 90 MeV and Contributions from the Nuclear Interior // *Nuclear Physics A.* – 1982. – Vol. 373. – P. 377.
- 16 Willis N. et al. Elastic Scattering of 217 MeV ${}^3\text{He}$ Particles // *Nuclear Physics A.* – 1973. – Vol. 204. – P. 454.
- 17 Ingemarsson A. et al. Reaction Cross Sections of Intermediate Energy ${}^3\text{He}$ -Particles on Targets from ${}^9\text{Be}$ to ${}^{208}\text{Pb}$ // *Nuclear Physics A.* – 2001. – Vol. 696. – P. 3.
- 18 Немец О.Ф. Полные сечения реакций для заряженных частиц в диапазоне энергий до 100 МэВ // *ЭЧАЯ.* – 1975. – Т. 6(4). – С. 827.

А.М. Кабышев¹, К.А. Кутербеков¹, А.М. Мұхамбетжан², А.Б. Нуржанов¹, Д.Т. Уәлшерев¹,
К.Ж. Бекмырза¹, И.Т. Рахимғалиева¹, Р.М. Сарсенов¹, И.У. Махамбаева²

¹ Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

² Қорқыт Ата атындағы Қызылорда мемлекеттік университеті, Қызылорда, Қазақстан

8-217 МэВ энергиясы кезінде ${}^{28}\text{Si}$ ядросында ${}^3\text{He}$ серпімді шашырауды зерттеу

Аңдатпа: Осы жұмыста 8-ден 217 МэВ-ге дейін шашырайтын ядроның энергиялары кезінде ${}^{28}\text{Si}$ ядросымен ${}^3\text{He}$ иондарының өзара әрекеттесуі эксперименталдық деректерді (серпімді шашыраудың дифференциалды қималары және реакциялардың толық қималары бойынша) талдау нәтижелері ұсынылған. Есептеулер тиімді нуклон-нуклондық әлеуетті МЗU-Reid пайдалана отырып, қос фолдинг-модель шеңберінде жүргізілді. Дифференциалдық және толық қималардың алынған шамалары эксперименталды деректермен жақсы үйлесімде болады.

Түйін сөздер: серпімді шашыраудың дифференциалды қималары, реакциялардың толық қималары, қос фолдинг-модель, оптикалық потенциал.

А.М. Kabyshev¹, К.А. Kuterbekov¹, А.М. Mukhambetzhan², А.Б. Nurzhanov¹, Д.Т. Ualsherov¹,
К.Ж. Bekmyrza¹, I.T. Rakhimgaliyeva¹, R.M. Sarsenov¹, I.U. Makhambayeva²

¹ L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

² Korkyt Ata Kyzylorda State University, Kyzylorda, Kazakhstan

Study of the elastic scattering of ^3He on the ^{28}Si nucleus at the energy of 8 -217 MeV

Abstract: This paper presents the results of an analysis of experimental data (elastic scattering differential cross sections and total reaction cross sections) for the interaction of ^3He ions with a ^{28}Si nucleus at incident energies from 8 to 217 MeV. The calculations were carried out in the framework of the double folding model using the M3Y-Reid effective nucleon-nucleon potential. The obtained values of the differential and total reaction cross sections are in good agreement with the experimental data.

Keywords: elastic scattering differential cross sections, total reaction cross sections, double folding model, optical potential.

References

- 1 Satchler G.R., Love W.G. Folding model potentials from realistic interactions for heavy-ion scattering // Phys. Reports. – 1979. – Vol. 55. – P. 183.
- 2 Cook J. DFPOI - A program for the calculation of double folded potentials // Comput. Phys. Comm. – 1982. – Vol. 25. – P. 125.
- 3 Chwieroth F.S., Tang Y.C., Thompson D.R. Microscopic Coupled-Channel Study of the Five-Nucleon System with the Resonating-Group Method // Phys. Rev. C. – 1974. – Vol. 9. – P. 56.
- 4 Knyazkov O.M., Hefter E.F. An analytical folding potential for deformed nuclei // Z. Phys. A. – 1981. – Vol. 301. – P. 277.
- 5 Cook J., Griffiths R. J. Folding model analysis of triton and ^3He elastic scattering // Nuclear Physics A. – 1981. – Vol. 366. – P. 27.
- 6 Thompson I. Coupled reaction channels calculations in nuclear physics // Computer Physics Reports. – 1988. – Vol. 7. – P. 167.
- 7 McQueen J.E., Joyce J.M., Ludwig E.J. The ($^3\text{He}, \alpha$) Reaction with Nuclei in the s-d Shell // Nuclear Physics A. – 1970. – Vol. 151. – P. 295.
- 8 Wildenthal B.H., Glaudemans P.W.M. The $^{28}\text{Si}(^3\text{He}, ^4\text{He})^{27}\text{Si}$ reaction // Nuclear Physics A. – 1967. – Vol. 92. – P. 353.
- 9 Bray K.H., Nurzyński J. The Reaction $^{28}\text{Si}(^3\text{He}, \alpha)^{27}\text{Si}$ at $E = 12$ MeV // Nuclear Physics A. – 1969. – Vol. 130. – P. 41.
- 10 Zurmühle R.W., Fou C.M. Optical-Potential Parameters for ^3He // Nuclear Physics A. – 1969. – Vol. 129. – P. 502.
- 11 Ludwig E.J., Clegg T.B., Walter R.L. The Polarization of ^3He Elastically Scattered from ^{27}Al and ^{28}Si at 21 MeV // Nuclear Physics A. – 1973. – Vol. 211. – P. 559.
- 12 Vernotte J., Berrier-ronsin G., Kalifa J., Tamisier R. Optical Model Analysis of ^3He Elastic Scattering from s-d Shell Nuclei at 25 MeV // Nuclear Physics A. – 1982. – Vol. 390. – P. 285.
- 13 Fulmer C.B. Scattering of 41-MeV α Particles and 46-MeV ^3He from ^{27}Al , ^{28}Si , ^{29}Si , and ^{30}Si // Physical Review. – 1978. – Vol. 18. – P. 621.
- 14 Adodin V.V. et al. Raduzhnopodobnye jeffekty v reakcii ($^3\text{He}, \alpha$) na jadrach ^{24}Mg , $^{28,30}\text{Si}$ pri jenergii 60 MeV [Rainbow-like effects in the reaction ($^3\text{He}, \alpha$) on the nuclei ^{24}Mg , $^{28,30}\text{Si}$ at an energy of 60 MeV] // Izv. RAN ser.fiz. [Bulletin of RAS Physical Series] – 1994. – Vol. 58(11). – P. 74. [in Russian]
- 15 Matsuoka N. et al. DWBA Analysis of ($^3\text{He}, d$) Reactions at 90 MeV and Contributions from the Nuclear Interior // Nuclear Physics A. – 1982. – Vol. 373. – P. 377.
- 16 Willis N. et al. Elastic Scattering of 217 MeV ^3He Particles // Nuclear Physics A. – 1973. – Vol. 204. – P. 454.
- 17 Ingemarsson A. et al. Reaction Cross Sections of Intermediate Energy ^3He -Particles on Targets from ^9Be to ^{208}Pb // Nuclear Physics A. – 2001. – Vol. 696. – P. 3.
- 18 Nemeč O.F. Polnye sečenija reakcij dlja zarjazhennyh chastic v diapazone jenergij do 100 MeV [Complete reaction cross sections for charged particles in the energy range up to 100 MeV] // JeChAJa [Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei]. – 1975. – Vol. 6(4). – P. 827. [in Russian]

Сведения об авторах:

Кабышев А.М. – PhD, старший преподаватель международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

Кутербек К.А. – д.ф.-м.н., старший профессор международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

Мұхамбетжан А.М. – к.ф.-м.н., ассоциированный профессор кафедры электроэнергетики и безопасности жизнедеятельности, начальник отдела планирования учебного процесса и академической мобильности Кызылординского государственного университета имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан.

Нуржанов А.Б. – магистрант 2 курса международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

Уәлшерев Д.Т. – магистрант 2 курса международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

Бекмырза К. – PhD, и.о. доцента кафедры технической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

Рахимгалиева И.Т.– магистр технических наук, МНС, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

Сарсенов Р.М.– магистрант 2 курса международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

Махамбаева И.У. – к.ф.-м.н., ассоциированный профессор Кызылординского государственного университета имени Кorkyt Ata, Кызылорда, Казахстан.

Kabyshev A.M. – PhD, Senior Lecturer of the International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Kuterbekov K.A. – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Mukhambetzhana A.M. – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Electricity and Life Safety, Head of the educational process and academic mobility planning department of the of Korkyt Ata Kyzylorda State University, Kyzylorda, Kazakhstan.

Nurzhanov A.B. – 2nd year master’s degree student of the International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Ualsheroev D.T. – 2nd year master’s degree student of the International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Bekmyrza K.Zh. – PhD, Associate Professor of the Department of Technical Physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Rakhimgaliyeva I.T. – Master of technical sciences, Junior Researcher, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Sarsenov R.M. – 2nd year master’s degree student of the International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Makhambayeva I.U. – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of Korkyt Ata Kyzylorda State University, Kyzylorda, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 25.04.2019