

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**

№1(130)/2020

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, 2020**

**Nur-Sultan, 2020**

**Нур-Султан, 2020**

*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*

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

**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, 102 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*

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

**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*

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

**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

№1(130)/2020

МАЗМҰНЫ

<i>Сарсенова С.М., Сүлейменов Т.Б., Жумадилов К.Ш.</i> Ақмола облысы аумағында дозиметриялық зерттеулер жүргізу үшін үлгілерді дайындау әдістемесі	8
<i>Кайнарбай А.Ж., Нуразметов Т.Н., Салиходжа Ж.М., Балабеков К.Н., Ахметова А.С., Юсупбекова Б.Н., Жунусбеков А.М., Дауренбеков Д.Х., Какимшишов Е.А.</i> Полимер матрицасындағы CdSe және CdSe/CdS жоғарылюминесцентті нанокристалдар негізіндегі гибриді композиттердің оптикалық қасиеттері	16
<i>Нуразметов Т.Н., Садықова Б.М., Жаңылысов К.Б., Юсупбекова Б.Н., Әлбай Т., Таймуратова Л.У., Әділ Б., Досполов А., Төлеков Д.А.</i> CaSO <sub>4</sub> және K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> кристалдарындағы меншікті люминесценция табиғаты	26
<i>Ажылбекова А., Шаяманов Б., Усеинов А., Даулетбекова А., Баймуханов З., Козловский А., Гиниятова Ш., Попов А.И., Байжуманов М.</i> ZnSe <sub>2</sub> O <sub>5</sub> нанокристалдарының эксперименттік және теориялық зерттеулері	34
<i>Инербаев Т.М., Базарбек А.Б., Сағатов Н.Е., Ажылбеков А.Т.</i> Жер ядросының қысымындағы темір фосфидтерінің жай-күйі теңдеулерінің алғашқы ретті есептері	44
<i>Мендибаев К.О., Уразбеков Б.А., Лукьянов С.М., Кутербеков К.А., Джансейтов Д.М., Исатаев Т.Г., Жолдыбаев Т.К., Азнабаев Д., Валиолда Д.С., Кроха В., Мразек Д., Пеннионжеквич Ю.Э., Кабышев А.М., Мұхамбетжан А.М.</i> Дейтрондардың <sup>9</sup> Be ядросымен өзара әрекеттесуі кезінде түрлі теориялық модельдер шеңберінде бір нуклонды берілістерді зерттеу	50
<i>Опахай С., Кутербеков К.А., Соловьев А.А., Нуркенов С.А., Нығыманова А.С.</i> Жұқа пленкалы материалдар негізіндегі төмен температурадағы қатты оксидті отын элементтерінің дамуы	64
<i>Ракишев Ж.Б., Аппазова Ш.Т., Бейсембаева Б.С.</i> Ғарыш ашпараттының қозғалысын сипаттау нұсқалары туралы	74
<i>Амангелді Н., Солдатхан Д., Ергалиұлы Ғ.</i> <sup>16</sup> O+ <sup>12</sup> O ядролық жүйе үшін 20, 24 МэВ энергияларындағы серпінді шашыраудың оптикалық потенциалының параметрлерін анықтау	78
<i>Дәтей А.М., Амангалиева Р.Ж., Гиниятова Ш.Г.</i> Термоядролық реакторда қабырға маңындағы плазмалы-тозанды құрылымдардың қасиеттерін зерттеу	84
<i>Усеинов А.Б., Усеинов Б.М., Ажылбеков А.Т., Бекжанов Е.С.</i> Мырыш оксиді кристалдарының электр өткізгіштігі. «Алғашқы принциптер» зерттеу	90
<i>Балахаева Р., Кәрім Қ., Ажылбеков А., Баймуханов З., Гиниятова Ш., Байжуманов М., Даулетбекова А.</i> Температура мен тұндыру әдістерінің CdTe нанокристалдарының құрылымдық қасиеттеріне әсері	100

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

№1(130)/2020

CONTENTS

<i>Sarsenova S.M., Suleimenov T.B., Zhumadilov K.Sh.</i> Methodology of sample preparation for conducting dosimetric research on the territory of Akmola region	8
<i>Kainarbay A.Z., Nurakhmetov T.N., Ussipbekova B., Salikhodzha Z.M., Balabekov K.N., Akhmetova A.S., Yussupbekova B.N., Zhunusbekov A.M., Daurenbekov D.H., Kakimishov E.A.</i> Optical properties of hybrid composites based on highly luminescent CdSe and CdSe / CdS nanocrystals in the polymer matrix	16
<i>Nurakhmetov T.N., Sadykova B.M., Zhangylyssov K.B., Yussupbekova B.N., Alibay T.T., Taimuratova L.U., Adil B., Dospolov A., Tolekov D.A.</i> The nature of intrinsic luminescence in CaSO <sub>4</sub> and K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> crystals	26
<i>Akylbekova A., Shayamanov B., Usseinov A., Dauletbekova A., Baimukhanov Z., Kozlovskiy A., Giniyatova Sh., Popov A., Baizhumanov M.</i> Experimental and theoretical studies of ZnSe <sub>2</sub> O <sub>5</sub> nanocrystals	34
<i>Inerbaev T.M., Bazarbek A.B., Sagatov N.E., Akilbekov A.T.</i> First principle calculations of iron phosphide state equations at earth core pressures	44
<i>Mendibayev K.O., Urazbekov B.A., Lukyanov S.M., Kuterbekov K.A., Janseitov D.M., Isataev T., Zholdybayev T., Aznabayev D., Valiolda D.S., Kroha V., Mrazek D., Penionzhkevich Yu.E., Kabyshev A.M., Mukhambetzhana A.M.</i> Study of one-nucleon transfer reaction for the interaction of deuterons with the <sup>9</sup> Be nuclei within various theoretical models	50
<i>Opakhai S., Kuterbekov K.A., Solovyev A.A., Nurkenov S.A., Nygmanova A.S.</i> Development in low-temperature solid oxide fuel cells based on thin-film materials	64
<i>Rakishev Zh.B., Appazova Sh.T., Beisembayeva B.S.</i> About some options of the probability theory of description of motion of space vehicle	74
<i>Amangeldi N., Soldatkhan D., Yergaliuly G.</i> Determination of elastic scattering potential parameter at energies of 20, 24 MeV for the nuclear system <sup>16</sup> O+ <sup>12</sup> C	78
<i>Datey A.M., Amangaliyeva R.Zh., Giniyatova Sh.G.</i> Investigation of plasma-dust structures properties formed near the walls of a thermonuclear reactor	84
<i>Usseinov A.B., Useinov B.M., Akilbekov A.T., Bekzhanov E.S.</i> The electrical conductivity of zinc oxide crystals. First principles study	90
<i>Balakhayeva R., Karim K., Akilbekov A., Baymukhanov Z., Giniyatova Sh., Baizhumanov M., Dauletbekova A.</i> Influence of temperature and deposition methods on the structural properties of CdTe nanocrystals	100

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Сарсенова С.М., Сулейменов Т.Б., Жумадилов К.Ш.</i> Методика подготовки образцов для проведения дозиметрических исследований на территории Акмолинской области	8
<i>Кайнарбай А.Ж., Нуралиметов Т.Н., Салиходжа Ж.М., Балабеков К.Н., Ахметова А.С., Юсупбекова Б.Н., Жунусбеков А.М., Дауренбеков Д.Х., Какимишов Е.А.</i> Оптические свойства гибридных композитов на основе высоколюминесцирующих нанокристаллов CdSe и CdSe/CdS в матрице полимеров	16
<i>Нуралиметов Т.Н., Садыкова Б.М., Жанылысов К.Б., Юсупбекова Б.Н., Алибай Т.Т., Таймуратова Л.У., Адиль Б., Досполов А., Толеков Д.А.</i> Природа собственной люминесценции в кристаллах CaSO <sub>4</sub> и K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	26
<i>Акылбекова А., Шаяманов Б., Усеинов А., Даулетбекова А., Баймуханов З., Козловский А., Гиниятова Ш., Попов А.И., Байжуманов М.</i> Экспериментальные и теоретические исследования нанокристаллов ZnSe <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	34
<i>Инербаев Т.М., Базарбек А.Б., Сагатов Н.Е., Акилбеков А.Т.</i> Первопринципные расчеты уравнений состояния фосфидов железа при давлениях ядра Земли	44
<i>Мендибаев К.О., Уразбеков Б.А., Лукьянов С.М., Кутербек К.А., Джансейтов Д.М., Исатаев Т.Г., Жолдыбаев Т.К., Азнабаев Д., Валиолда Д.С., Кроха В., Мразек Д., Пеннионжскевич Ю.Э., Кабышев А.М., Мухамбетжан А.М.</i> Исследование однонуклонных передач при взаимодействии дейтронов с ядром <sup>9</sup> Be в рамках различных теоретических моделей	50
<i>Опахай С., Кутербек К.А., Соловьев А.А., Нуркенов С.А., Ныгыманова А.С.</i> Развитие низкотемпературных твердооксидных топливных элементов на основе тонкопленочных материалов	64
<i>Ракишев Ж.Б., Аптазова Ш.Т., Бейсембаева Б.С.</i> О некоторых вариантах описания движения космического аппарата	74
<i>Амангелди Н., Солдатхан Д., Ергалиұлы Ф.</i> Определение параметров потенциала упругого рассеяния при энергиях 20, 24 МэВ для ядерной системы <sup>16</sup> O+ <sup>12</sup> C	78
<i>Датей А.М., Амангалиева Р.Ж., Гиниятова Ш.Г.</i> Исследование свойств плазменно-пылевых структур, образующихся вблизи стенок термоядерного реактора	84
<i>Усеинов А.Б., Усеинов Б.М., Акилбеков А.Т., Бекжанов Е.С.</i> Электропроводность кристаллов оксида цинка. Исследования из первых принципов	90
<i>Балахаева Р.К., Карим К.Б., Акилбеков А.Т., Баймуханов З.К., Гиниятова Ш.Г., Байжуманов М.Ж., Даулетбекова А.К.</i> Влияние температуры и способов осаждения на структурные свойства нанокристаллов CdTe	100

**МРНТИ: 29.19.01**

К.О. Мендибаев<sup>1,2,3</sup>, Б.А. Уразбеков<sup>2,3,4,5</sup>, С.М. Лукьянов<sup>3</sup>, К.А. Кутербеков<sup>1</sup>,  
Д.М. Джансейтов<sup>2,3,6</sup>, Т.Г. Исатаев<sup>1,3</sup>, Т.К. Жолдыбаев<sup>1,2</sup>, Д. Азнабаев<sup>3</sup>,  
Д.С. Валиолда<sup>3,6</sup>, В. Кроха<sup>7</sup>, Д. Мразек<sup>7</sup>, Ю.Э. Пенионжкевич<sup>3</sup>, А.М. Кабышев<sup>1</sup>,  
А.М. Мухамбетжан<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup> Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup> Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

<sup>4</sup> Университет Кампанья им. Луиджи Ванвители, Касерта, Италия

<sup>5</sup> Государственный университет Дубна, Дубна, Россия

<sup>6</sup> Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>7</sup> Институт ядерной физики, Ржеж, Чехия

<sup>8</sup> Кызылординский государственный университет им. Коржыт Ата, Кызылорда, Казахстан  
(E-mail: kayrat1988@bk.ru, kkuterbekov@gmail.com, janseit.daniar@gmail.com,  
talgat\_136@mail.ru, daur\_is101@mail.ru, pyuer@bk.ru, assetenu@gmail.com,  
aisulumuhankyzy@mail.ru)

**Исследование однонуклонных передач при взаимодействии дейтронов с ядром  
<sup>9</sup>Be в рамках различных теоретических моделей**

**Аннотация:** Измерены угловые распределения протонов, дейтронов, тритонов и альфа-частиц, испускаемых в реакции  $d + {}^9\text{Be}$  при энергии  $E_{lab}(d) = 19.5$  и  $35.0$  МэВ. Проведен анализ упругого рассеяния в рамках оптической модели и метода связанных каналов. Потенциал взаимодействия системы  $d + {}^9\text{Be}$  рассчитывался в рамках модели двойной свертки с использованием волновой функции трех тел  $\alpha + \alpha + n$  для ядра  ${}^9\text{Be}$ . Проведен анализ реакции однонуклонной передачи  $(d, p)$  и  $(d, t)$  в рамках метода связанных каналов. Рассчитаны спектроскопические амплитуды для различных конфигураций ядерных кластеров.

**Ключевые слова:** кластерная структура, оптическая модель, CRC, DWBA, спектроскопические амплитуды, модель двойной свертки, упругое и неупругое рассеяние.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2020-130-1-50-63>

Поступила: 04.02.2020 / Доработана: 21.02.2020 / Допущена к опубликованию: 4.03.2020

**Введение.** Рассеяние самых простых ядер-снарядов, таких как  ${}^1,2\text{H}$  или  ${}^{3,4}\text{He}$  на мишенях, является стандартным инструментом для фундаментального изучения структуры ядер. Этот метод включает измерение угловых распределений продуктов ядерных реакций. Хорошо известно, что энергии и угловые распределения частиц подобных снарядов дают информацию о внутренней структуре ядер-мишеней.

Кластерная структура ядер возникает в результате коррелированного движения нуклонов внутри ядра. В этом случае простую подгруппу нуклонов можно рассматривать как одну частицу. Такое поведение нуклонов может дать лучшее понимание определенных характеристик ядра, а также повлиять на процессы ядерных реакций. Исследование структуры кластеров в ядрах по-прежнему является приоритетом в современной ядерной физике, в значительной степени обусловленным интенсивными разработками экспериментальных устройств.

Имеется много стабильных ядер  $p$ ,  $sd$  и  $pf$  оболочек с кластерной структурой, но ядро  ${}^9\text{Be}$  особенно заслуживает внимания по следующим причинам:

- это стабильное ядро с малой энергией связи нейтрона  $S_n = 1.666$  МэВ и  $\alpha$ -частицы  $S_\alpha = 2.462$  МэВ [1];



- имеет деформированную форму, что отражается в значении ядерного квадрупольного момента  $Q = + 52.9$  мб [2];
- Борромеевское строение основного состояния.

Эти аспекты привели к тому, что ядро  ${}^9\text{Be}$  стало предметом фундаментальных и прикладных исследований.

Что касается ядерных технологий,  ${}^9\text{Be}$  является хорошим материалом для стенок в термоядерных устройствах [3, 4]. Ядро  ${}^9\text{Be}$  было выбрано, поскольку оно представляет собой наилучший интерес, основанный на его характеристике расщепления с помощью  $\gamma$  и  $e^-$  на две энергичные  $\alpha$ -частицы, которые являются эффективными промоторами термоядерного горения, поскольку они могут быть ограничены электромагнитными полями, и их энергия влияет на температуру зоны горения.

В наших предыдущих работах [5-7] было изучено взаимодействие  ${}^3\text{He}$  с  ${}^9\text{Be}$  путем измерения угловых распределений продуктов реакции в следующих выходных каналах:  ${}^3\text{He} + {}^9\text{Be}$ ,  ${}^5\text{He} + {}^7\text{Be}$ ,  ${}^5\text{Li} + {}^7\text{Li}$ ,  ${}^6\text{Be} + {}^6\text{He}$  и  ${}^6\text{Li} + {}^6\text{Li}$ . Полученные данные были проанализированы в рамках оптической модели (ОМ), метода связанных каналов (CRC) и метода искаженных волн (DWBA). Проведенный анализ экспериментальных данных показал чувствительность сечений к потенциальным параметрам в выходных каналах. Кроме того, эти эксперименты были предназначены для изучения реакций развала  ${}^9\text{Be}$ , чтобы определить вклад каналов со структурой  ${}^8\text{Be}+n$  и  ${}^5\text{He}+\alpha$ . Было установлено, что эти два канала вносят вклад в соотношении 2.7 к 1 соответственно. Полученное значение подтверждает то, что канал развала  ${}^5\text{He}+\alpha$  также играет важную роль.

Основываясь на борромеевской структуре  ${}^9\text{Be}$ , особое внимание было уделено процессам развала, возникающим в результате ядерной реакции  ${}^9\text{Be}({}^6\text{Li}, {}^6\text{Li}'){}^9\text{Be}^*$  [8, 9]. Возбужденное ядро  ${}^9\text{Be}^*$  может распадаться либо непосредственно в систему трех тел  $\alpha + \alpha + n$ , либо через одно из нестабильных ядер, таких как  ${}^5\text{He}$  и  ${}^8\text{Be}$ . Эти сравнительно недавние экспериментальные исследования однозначно подтверждают кластерную структуру  ${}^9\text{Be}$ . Рассчитанные коэффициенты ветвления показывают, что низколежащие возбужденные состояния при  $E_x < 4.0$  МэВ в основном заполнены конфигурацией  ${}^8\text{Be}+n$ . В других условиях существенную роль играет конфигурация  ${}^5\text{He}+\alpha$ .

Другим аспектом поиска кластерной структуры является ее влияние на механизмы ядерной реакции. Действительно, начиная с работ Detraz et al. [10, 11], многочастичные структуры ожидалось при довольно низких энергиях возбуждения в ядрах. В таком случае можно понять, что коррелированные нуклоны передаются как целый сильно коррелированный кластер, который имеет внутренние квантовые числа свободной частицы.

Взаимодействие дейтрона и альфа-частиц с  ${}^9\text{Be}$  изучалось с учетом структуры кластеров в работах [12, 13]. Потенциал взаимодействия сталкивающихся ядер строился в рамках модели двойного фолдинга с использованием волновой функции трех тел. Расчеты с потенциалом двойного фолдинга проводились в ОМ и DWBA при энергии в лабораторной системе 10-30 МэВ/нуклон. Полученное хорошее согласие теоретических сечений с экспериментальными данными привело к применению потенциала двойного фолдинга, основанного на волновой функции трех тел, для изучения реакций с  ${}^9\text{Be}$ .

Настоящая работа посвящена исследованию кластерной структуры ядра  ${}^9\text{Be}$  путем изучения ядерных реакций, вызванных пучком дейтронов при энергиях 19 и 35 МэВ. В выходном канале были зарегистрированы самые простые частицы, такие как  $p$ ,  $d$ ,  $t$  и  $\alpha$ -частицы, и были получены их угловые распределения. Проведен сравнительный анализ экспериментальных данных и теоретические расчеты.

## 1. Экспериментальный метод

Эксперимент проводился в ИЯФ (Ржеж, Чехия) на физическом факультете университета Ювяскуля (Ювяскуль, Финляндия). Энергия пучка ионов  ${}^2\text{H}$ , полученных на циклотроне, составляла 19.5 и 35 МэВ. Средний ток пучка в течение эксперимента поддерживался на уровне 20 нА. Самонесущая мишень  ${}^9\text{Be}$  была приготовлена из тонкой бериллиевой фольги с чистотой 99%. Набор из четырех телескопов был использован для регистрации частиц из выходных

каналов. Каждый телескоп содержал детекторы  $\Delta E_0$ ,  $\Delta E$ ,  $E_r$  с толщинами 12 мкм, 100 мкм и 3 мм соответственно. Для регистрации продуктов реакции с высоким угловым разрешением телескопы устанавливались на расстоянии около 25 см от мишени. Каждый телескоп был защищен коллиматором Cu-Pb толщиной 3 мм и отверстием диаметром 3 мм. Телескопы были установлены на вращающихся опорах, что позволяло получать данные при углах  $\theta_{lab} = 20^\circ - 107^\circ$  с шагом  $1-2^\circ$ .

Частицы идентифицировали на основании измерений потерь энергии  $\Delta E$  и остаточной энергии  $E_r$ , то есть так называемым методом  $\Delta E-E_r$ . Пример двумерных графиков (выход в зависимости от потерь энергии  $\Delta E$  и остаточной энергии  $E_r$ ) показан на рисунке 1.

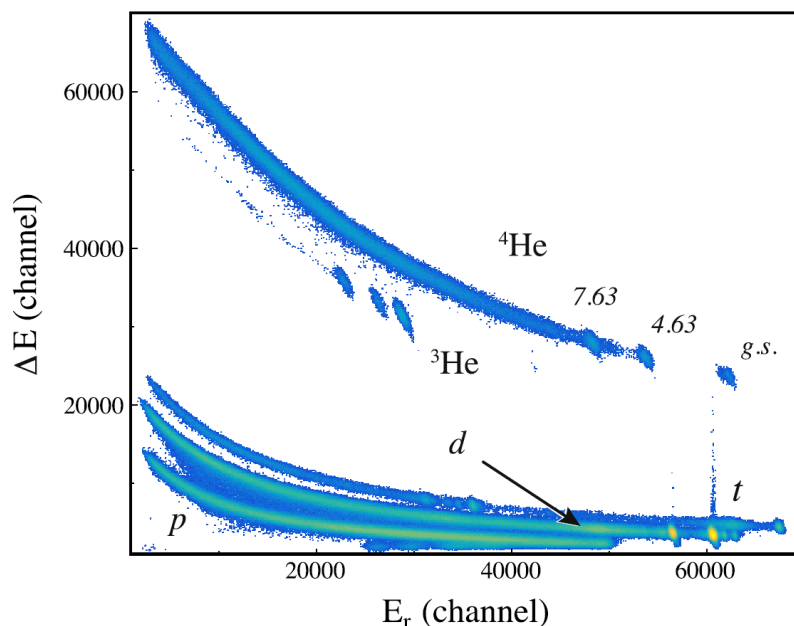


Рисунок 1 – Графики идентификации частиц для продуктов реакции  $d + {}^9\text{Be}$  при энергии падающего пучка 35 МэВ:  $p$ ,  $d$ ,  $t$  и  ${}^{3,4}\text{He}$ .  $\Delta E$  - потеря энергии, а  $E_r$  - остаточная энергия. Указаны возбужденные состояния  ${}^7\text{Li}$  в канале реакции  ${}^7\text{Li} + \alpha$

Современная методика эксперимента позволяет идентифицировать частицы  $p$ ,  $d$ ,  $t$  и  $\alpha$  и определять их энергии. Спектры полных энергокладов приведены на рисунке 2. Все пики на рисунке 2 идентифицированы и отнесены к основному и возбужденному состояниям ядер  ${}^{10}\text{Be}$ ,  ${}^9\text{Be}$ ,  ${}^8\text{Be}$  и  ${}^7\text{Li}$  в качестве комплементарных продуктов для обнаруженных частиц  $p$ ,  $d$ ,  $t$ ,  $\alpha$  соответственно.

## 2. Анализ данных и результаты

**2.1. Упругое рассеяние.** Теоретические расчеты упругого рассеяния дейтрона на  ${}^9\text{Be}$  при энергиях 19.5 и 35 МэВ были выполнены в рамках ОМ с потенциалом:

$$U(R) = -V^V(R) - iW^V(R) + V^{SO}(R)(l\sigma) + V^C(R), \quad (1)$$

где  $V^V$ ,  $W^V$ ,  $V^{SO}$  и  $V^C$  – реальный объемный, мнимый объемный, спин-орбитальный и кулоновский потенциалы соответственно. В этой работе реальная часть ОМ потенциала была получена с помощью модели двойного фолдинга (DF)

$$V^V(R) = N_R V^{DF}(R) \quad (2)$$

с нормировочным коэффициентом  $N_R$ . Для удобства при расчетах ОМ и СС/СРС потенциал можно определить с помощью суммы трех потенциалов Вудса-Саксона:

$$V^V(R) = \sum_{i=1}^3 V^i f^{R_i, a_i}(R), \quad (3)$$

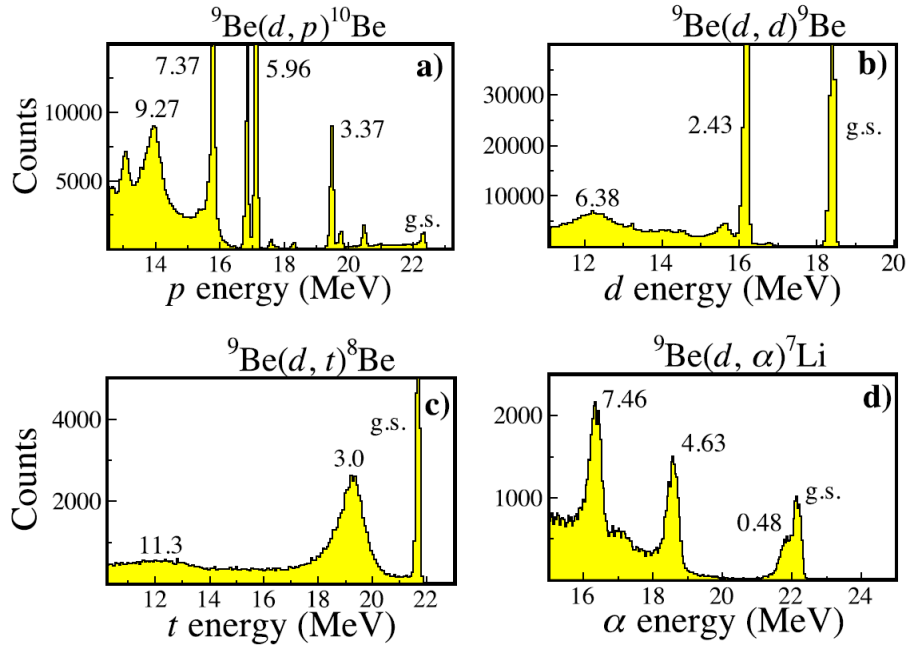


Рисунок 2 – Спектры полной выделенной энергии, измеренные при  $\theta_{lab} = 32^\circ$  для обнаруженных p (a), d (b), t (c) и  $\alpha$  (d). Основное и возбужденное состояния  ${}^7\text{Li}$  для обнаруженного комплементарного продукта  $\alpha$ , а также основные состояния и возбужденные состояния для  ${}^8\text{Be}$ ,  ${}^9\text{Be}$  и  ${}^{10}\text{Be}$  в случае обнаруженных t, d и p в качестве комплементарных продуктов, соответственно, представляют собой однозначно идентифицированные

$$f^{Rv,av}(R) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{R-R_V}{av}\right)} \quad (4)$$

Потенциал DF рассчитывался с использованием эффективного нуклон-нуклонного потенциала МЗУ-Paris и плотностей ядерной материи ядра-снаряда и ядер-мишеней. Для расчета распределения материи ядра  ${}^9\text{Be}$  мы применили модель трех тел  $\alpha + \alpha + n$  (более подробно см. [12]), а распределение плотности материи ядра-снаряда дейтрона было выбрано в виде

$$\rho\left(\frac{1}{2}r\right) = \int |\psi(r)|^2 d\Omega_r, \quad (5)$$

Спин-орбитальный член потенциала ОМ имеет стандартную форму

$$V^{SO}(R) = V_0^{SO} \left(\frac{\hbar}{m_\pi c}\right)^2 \frac{1}{R} \frac{d}{dR} f^{Rsoaso}(R), \quad (6)$$

Кулоновский член был принят как взаимодействие точечного заряда с равномерно заряженной сферой

$$\frac{Z_1 Z_2 e^2}{2R_C} \left(3 - \frac{R^2}{R_C^2}\right), R \leq R_C \quad (7)$$

Параметры мнимой части оптического потенциала были получены путем подгонки теоретических сечений к экспериментальным данным при энергиях ядра-снаряда 19.5 и 35 МэВ. В качестве отправной точки были использованы те же параметризации реальной части. Полученные параметры потенциала приведены в таблице 1 для энергий ядра-снаряда 19.5, так и для 35.0 МэВ.

Сравнение результатов теоретических расчетов с данными измерений упругого рассеяния при энергиях 19.5 и 35.0 МэВ приведено на рисунке 3. Сечения, полученные в рамках ОМ с потенциалом DF, показаны сплошными кривыми. Теоретические результаты, полученные

с помощью ОМ, дают превосходное согласие ( $\chi^2 \approx 2.5$ ) с экспериментальными данными. Параметры параметризованного потенциала двойного фолдинга приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметризованный двойной фолдинг-потенциал для системы  $d+{}^9\text{Be}$ , используемый в расчетах в рамках ОМ, СС и DWBA

$E_d$ , MeV	i	$V_0$ , MeV	$r_v^a$ , fm	$a_v$ , fm	$W_0$ , MeV	$r_w^a$ , fm	$a_w$ , fm	$V_o^{SO}$ , MeV	$N_R$	$r_C^a$ , fm	$\chi^2/N$
19.5	1	6.18	0.328	0.308	3.99	0.328	0.127	3.275	1.22	0.809	2.490
	2	70.97	0.746	0.831	25.50 (17.5 <sup>b</sup> )	0.746	0.766				
	3	0.605	1.491	1.724	0.924	1.491	2.238				
35.0	1	5.941	0.328	0.308	7.07	0.612	0.108	3.275	1.17	0.809	2.503
	2	68.68	0.746	0.831	22.50 (17.5 <sup>b</sup> )	0.838	0.731				
	3	0.58	1.491	1.724	0.999	1.377	1.856				

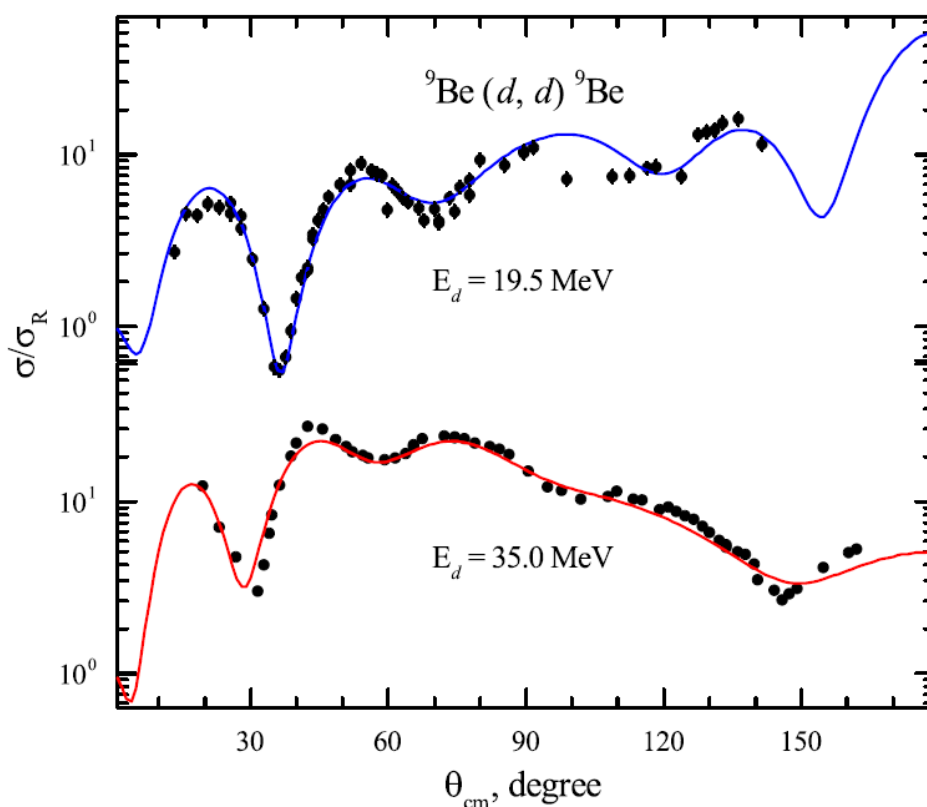


Рисунок 3 – Угловое распределение упругого рассеяния d на  ${}^9\text{Be}$  при лабораторной энергии 19.5 МэВ в сравнении с теоретическими расчетами в ОМ (сплошная кривая)

**2.2. Неупругое рассеяние.** Подходы СС и DWBA были применены для анализа измеренных данных неупругого рассеяния, соответствующих возбуждению  ${}^9\text{Be}(5/2^-, 2.43 \text{ МэВ})$ . Расчеты проводились с использованием кода FRESKO [14] и кода DWUCK5 [15], которые доступны в базе знаний NRV [16].

Для описания измеренных экспериментальных данных необходимо рассмотреть мишень  ${}^9\text{Be}$ , имеющую квадрупольную деформацию. Таким образом, спектр  ${}^9\text{Be}$  состоит из полосы вращения, включающей основное состояние  $3/2^-$ , состояние  $5/2^-$  при 2.43 МэВ и состояние  $7/2^-$  при 6.38 МэВ. Связи с этими состояниями были учтены в рамках СС подхода. Спиновые переориентации также были приняты во внимание. Связующее взаимодействие имеет обычный вид:

$$V_\lambda(R) = -\beta_\lambda R_V \left| \frac{dV^V}{dR} \right| - i\beta_\lambda R_W \left| \frac{dW^D}{dR} \right|, \quad (8)$$

где  $\beta_\lambda$  – параметр деформации мультиполя  $\lambda$ , описывающий форму ядра-мишени. Здесь мы, как обычно, пренебрегаем вкладом кулоновского взаимодействия.

Расчитанные сечения неупругого рассеяния в состоянии  $5/2^-$  при 2.43 МэВ показаны на рисунке 4. Сплошные кривые соответствуют результатам, полученным в рамках подхода СС, а пунктирные и точечные кривые были получены в рамках подхода DWBA с использованием различных значений параметра деформации  $\beta_2$ . Используемые параметры потенциала перечислены в таблице 1.

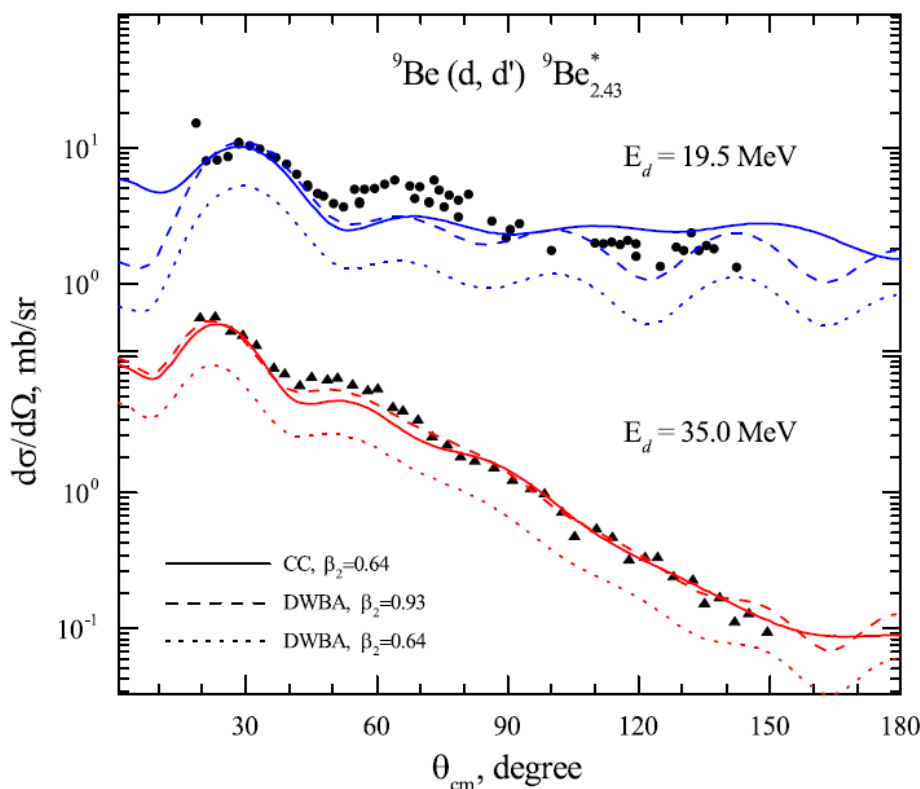


Рисунок 4 – Сечения неупругого рассеяния  ${}^9\text{Be}(d, d'){}^9\text{Be}^*$  ( $E_{exc} = 2.43$  МэВ) при лабораторных энергиях 19.5 МэВ (кружки) и 35 МэВ (треугольники). Теоретические кривые описаны в тексте

Все результаты на рисунке 4 хорошо согласуются с экспериментальными данными, за исключением сечений вблизи  $60^\circ$  при энергии ядра-снаряда 19.5 МэВ. Параметр квадрупольной деформации  $\beta_2 = 0.64$ , полученный в рамках СС модели, согласуется с предыдущими исследованиями [5, 17].

В случае расчетов DWBA используется потенциал DF (см. таблицу 1) как для входного, так и для выходного каналов. Угловые распределения DWBA очень хорошо воспроизводят структуру экспериментальных данных, но явно недооценивают их, когда используется параметр деформации  $\beta_2 = 0,64$  (см. пунктирные кривые на рисунке 4). Чтобы получить лучшее описание, параметр деформации должен быть увеличен до  $\beta_2 = 0.93$ , что довольно близко к значениям, полученным в предыдущих исследованиях (см., например, [18, 19]).

Таким образом, можно подтвердить, что связывание каналов и эффекты спиновой переориентации увеличивают сечение, что приводит к уменьшению параметра деформации. Однако в подходе DWBA учитываются только вклады первого порядка в амплитуду перехода. В частности, он также описывает только общие особенности угловых распределений и переоценивает параметр деформации, чтобы компенсировать разницу между экспериментальными данными и сечениями DWBA.

**2.3. Однонуклонные реакции передачи.** Одно-нейтронные реакции  ${}^9\text{Be}(d,t){}^8\text{Be}$  и срыва  ${}^9\text{Be}(d,p){}^{10}\text{Be}$  были проанализированы в рамках метода связанных каналов (CRC). Потенциал двойного фолдинга, приведенный в таблице 1, использовался в расчетах CRC для входного канала, а глобальные оптические параметры из работ [20, 21] использовались для выходных каналов. Схемы взаимодействия ядер-мишеней и дочерних ядер для реакций  ${}^9\text{Be}(d,p){}^{10}\text{Be}$  и  ${}^9\text{Be}(d,t){}^8\text{Be}$  показаны на рисунке 5. Состояния  ${}^{10}\text{Be}$ ,  $2_1^+$  и  $2_2^+$ , а также низколежащие возбужденные состояния  ${}^8\text{Be}$ ,  $2^+$  и  $4^+$ , были включены в схему связи. Также схемы учитывают спиновую переориентацию состояний при условии  $J \neq 0$ .

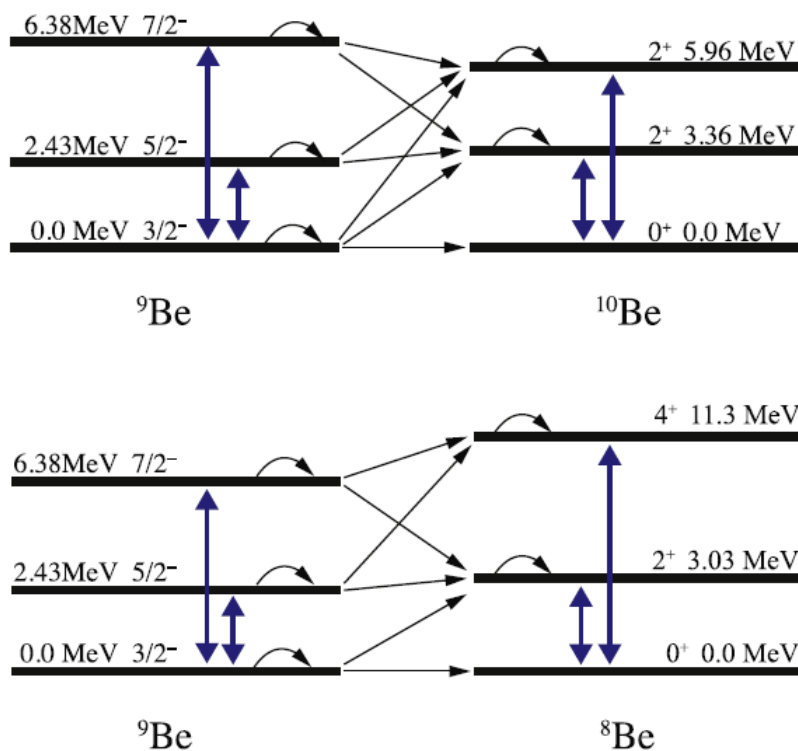


Рисунок 5 – Схемы взаимодействия мишеней в ядерных реакциях  ${}^9\text{Be}(d,p){}^{10}\text{Be}$  (сверху) и  ${}^9\text{Be}(d,t){}^8\text{Be}$  (снизу). Жирные двуглавые стрелки указывают переходы E.L. Эффекты переориентации спина обозначены обратными стрелками

Чтобы построить волновые функции связанного состояния перенесенной частицы во входном и выходном каналах, был использован общий метод, то есть подгонка глубины соответствующего потенциала Вудса-Саксона к известной энергии связи. Приведенный радиус и диффузность в этом случае устанавливаются равными  $r = 1.25$  фм и  $a = 0.65$  фм соответственно. Если передача приходит в окончательное несвязанное состояние, глубина потенциала для этого состояния должна быть скорректирована, чтобы дать энергию связи, равную  $-0.1$  МэВ в соответствии с процедурой, использованной в [17].

Спектроскопическая амплитуда  $S$  для добавления частицы к ядру с угловым моментом  $J_{core}$  для формирования композита с  $J_{com}$  связана с матричным элементом оператора создания  $\hat{a}_{Nlj}^\dagger$ :

$$S_{Nlj} = \frac{\langle J_{com} || \hat{a}_{Nlj}^\dagger || J_{core} \rangle}{\sqrt{2J_{com} + 1}} \quad (9)$$

где  $Nlj$  – квантовые числа частиц. Спектроскопические амплитуды для одночастичных состояний были рассчитаны с помощью кода ANTOINE [22] с использованием эффективного взаимодействия Коэна-Курата для ядер р-оболочки [23]. Рассчитанные спектроскопические амплитуды для реакций однонуклонного переноса приведены в таблице 2.

Таблица 2

Спектроскопические амплитуды, используемые в расчетах CRC для системы Composite = Core + Cluster. Однонуклонные спектроскопические амплитуды были рассчитаны с помощью кода ANTOINE [22]. Альфа-спектроскопические амплитуды были взяты из [24, 25]

Comp osite	2J <sub>com</sub>	Core	2J <sub>core</sub>	Clus ter	2J	SA	Comp osite	2J <sub>com</sub>	Core	2J <sub>core</sub>	Clus ter	2J	SA
<sup>9</sup> Be	3	<sup>8</sup> Be	0	n	3	-0.761	<sup>9</sup> Be	3	<sup>8</sup> Li	2 <sub>1</sub>	p	1	-0.444
<sup>9</sup> Be	3	<sup>8</sup> Be	4	n	3	0.816	<sup>9</sup> Be	3	<sup>8</sup> Li	6	p	3	-0.592
<sup>9</sup> Be	3	<sup>8</sup> Be	4	n	1	-0.242	<sup>9</sup> Be	3	<sup>8</sup> Li	2 <sub>2</sub>	p	3	-0.236
<sup>9</sup> Be	5	<sup>8</sup> Be	4	n	3	0.986	<sup>9</sup> Be	3	<sup>8</sup> Li	2 <sub>2</sub>	p	1	0.036
<sup>9</sup> Be	5	<sup>8</sup> Be	4	n	1	-0.417	<sup>9</sup> Be	5	<sup>8</sup> Li	4	p	3	0.593
<sup>9</sup> Be	5	<sup>8</sup> Be	8	n	3	-0.374	<sup>9</sup> Be	5	<sup>8</sup> Li	4	p	1	0.515
<sup>9</sup> Be	7	<sup>8</sup> Be	4	n	3	-0.457	<sup>9</sup> Be	5	<sup>8</sup> Li	2 <sub>1</sub>	p	3	-0.672
<sup>9</sup> Be	7	<sup>8</sup> Be	8	n	3	0.919	<sup>9</sup> Be	5	<sup>8</sup> Li	6	p	3	-0.571
<sup>9</sup> Be	7	<sup>8</sup> Be	8	n	1	-0.429	<sup>9</sup> Be	5	<sup>8</sup> Li	6	p	1	-0.171
<sup>9</sup> Be	0	<sup>7</sup> Li	3	p	3	-1.204	<sup>9</sup> Be	5	<sup>8</sup> Li	2 <sub>2</sub>	p	3	0.200
<sup>9</sup> Be	0	<sup>7</sup> Li	1	p	1	0.736	<sup>9</sup> Be	7	<sup>8</sup> Li	4	p	3	-0.323
<sup>9</sup> Be	4	<sup>7</sup> Li	3	p	3	-0.748	<sup>9</sup> Be	7	<sup>8</sup> Li	6	p	3	-0.899
<sup>9</sup> Be	4	<sup>7</sup> Li	3	p	1	-0.612	<sup>9</sup> Be	7	<sup>8</sup> Li	6	p	1	-0.564
<sup>9</sup> Be	4	<sup>7</sup> Li	1	p	3	0.667	<sup>7</sup> Li	3	<sup>6</sup> Li	2	n	3	0.657
<sup>9</sup> Be	4	<sup>7</sup> Li	7	p	3	0.624	<sup>7</sup> Li	3	<sup>6</sup> Li	2	n	1	-0.538
<sup>9</sup> Be	4	<sup>7</sup> Li	5 <sub>2</sub>	p	3	0.079	<sup>7</sup> Li	3	<sup>6</sup> Li	6	n	3	0.744
<sup>9</sup> Be	4	<sup>7</sup> Li	5 <sub>2</sub>	p	3	-0.146	<sup>7</sup> Li	3	<sup>6</sup> Li	4	n	3	-0.032
<sup>9</sup> Be	8	<sup>7</sup> Li	7	p	3	0.864	<sup>7</sup> Li	3	<sup>6</sup> Li	4	n	1	0.399
<sup>9</sup> Be	8	<sup>7</sup> Li	7	p	1	0.687	<sup>7</sup> Li	1	<sup>6</sup> Li	2	n	3	-0.925
<sup>9</sup> Be	8	<sup>7</sup> Li	5 <sub>2</sub>	p	3	0.374	<sup>7</sup> Li	1	<sup>6</sup> Li	2	n	1	0.197
<sup>8</sup> Li	4	<sup>7</sup> Li	3	n	3	-0.988	<sup>7</sup> Li	1	<sup>6</sup> Li	4	n	3	-0.555
<sup>8</sup> Li	4	<sup>7</sup> Li	3	n	1	0.237	<sup>7</sup> Li	7	<sup>6</sup> Li	6	n	3	-0.936
<sup>8</sup> Li	4	<sup>7</sup> Li	1	n	3	0.430	<sup>7</sup> Li	7	<sup>6</sup> Li	6	n	1	0.645
<sup>8</sup> Li	4	<sup>7</sup> Li	7	n	3	-0.496	<sup>7</sup> Li	7	<sup>6</sup> Li	4	n	3	-0.456
<sup>8</sup> Li	4	<sup>7</sup> Li	5	n	3	-0.665	<sup>7</sup> Li	5 <sub>2</sub>	<sup>6</sup> Li	2	n	3	-0.650
<sup>8</sup> Li	4	<sup>7</sup> Li	5 <sub>2</sub>	n	1	-0.275	<sup>7</sup> Li	5 <sub>2</sub>	<sup>6</sup> Li	6	n	3	0.732
<sup>8</sup> Li	2 <sub>1</sub>	<sup>7</sup> Li	3	n	3	0.567	<sup>7</sup> Li	5 <sub>2</sub>	<sup>6</sup> Li	6	n	1	0.549
<sup>8</sup> Li	2 <sub>1</sub>	<sup>7</sup> Li	3	n	1	0.351	<sup>7</sup> Li	5 <sub>2</sub>	<sup>6</sup> Li	4	n	3	0.200
<sup>8</sup> Li	2 <sub>1</sub>	<sup>7</sup> Li	1	n	3	0.905	<sup>7</sup> Li	5 <sub>2</sub>	<sup>6</sup> Li	4	n	1	-0.114
<sup>8</sup> Li	2 <sub>1</sub>	<sup>7</sup> Li	1	n	1	0.331	<sup>6</sup> Li	2	d	2	a	0	0.907
<sup>8</sup> Li	2 <sub>1</sub>	<sup>7</sup> Li	5 <sub>2</sub>	n	3	0.767	<sup>6</sup> Li	2	d	2	a	4	0.077
<sup>8</sup> Li	6	<sup>7</sup> Li	3	n	3	0.581	<sup>6</sup> Li	6	d	2	a	4	0.943
<sup>8</sup> Li	6	<sup>7</sup> Li	5 <sub>2</sub>	n	3	-0.660	<sup>6</sup> Li	6	d	2	a	8	0.028
<sup>8</sup> Li	6	<sup>7</sup> Li	5 <sub>2</sub>	n	1	-0.541	<sup>6</sup> Li	4	d	2	a	4	0.929
<sup>8</sup> Li	6	<sup>7</sup> Li	7	n	3	0.973	<sup>9</sup> Be	3	<sup>5</sup> He	3	a	0	-0.925
<sup>8</sup> Li	6	<sup>7</sup> Li	7	n	1	-0.404	<sup>9</sup> Be	3	<sup>5</sup> He	3	a	4	0.784
<sup>8</sup> Li	2 <sub>2</sub>	<sup>7</sup> Li	3	n	3	-0.617	<sup>9</sup> Be	5	<sup>5</sup> He	3	a	4	0.974
<sup>8</sup> Li	2 <sub>2</sub>	<sup>7</sup> Li	3	n	1	-0.841	<sup>9</sup> Be	5	<sup>5</sup> He	3	a	8	-0.260
<sup>8</sup> Li	2 <sub>2</sub>	<sup>7</sup> Li	1	n	3	0.178	<sup>9</sup> Be	7	<sup>5</sup> He	3	a	4	0.882
<sup>8</sup> Li	2 <sub>2</sub>	<sup>7</sup> Li	1	n	1	0.331	<sup>9</sup> Be	7	<sup>5</sup> He	3	a	8	-0.737
<sup>8</sup> Li	2 <sub>2</sub>	<sup>7</sup> Li	5	n	3	0.231	<sup>7</sup> Li	3	t	1	a	1	0.970
<sup>9</sup> Be	3	<sup>8</sup> Li	4	p	3	-0.947	<sup>7</sup> Li	1	t	1	a	1	0.961
<sup>9</sup> Be	3	<sup>8</sup> Li	4	p	1	-0.319	<sup>7</sup> Li	7	t	1	a	3	0.952
<sup>9</sup> Be	3	<sup>8</sup> Li	2 <sub>1</sub>	p	3	0.454	<sup>7</sup> Li	5 <sub>2</sub>	t	1	a	3	0.223

Угловые распределения ядерной реакции  ${}^9\text{Be}(d, p){}^{10}\text{Be}$  при  $E_d = 19.5$  МэВ показаны в сравнении с теоретическими кривыми, рассчитанными в рамках метода CRC на рисунке 6.

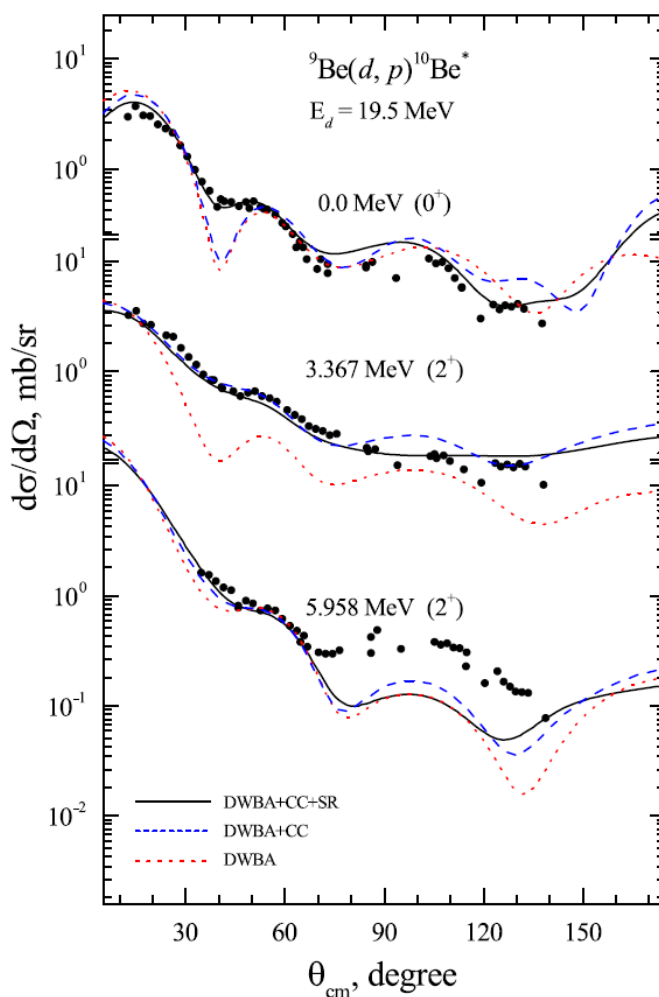


Рисунок 6 – Дифференциальные сечения для реакции  ${}^9\text{Be}(d, p){}^{10}\text{Be}^*$  при 19.5 МэВ, приводящие к различным конечным состояниям (обозначенным на рисунке) ядра  ${}^{10}\text{Be}$ . Экспериментальные данные приведены в сравнении с теоретическими результатами, полученными в рамках метода CRC

Для изучения связей входных каналов выходные фиксировали с использованием параметра деформации  ${}^8\text{Be}$  из работы [26] и для  ${}^{10}\text{Be}$  из работы [17]. Прямой переход из основного состояния обозначен пунктирной линией (DWBA). Вклады переходов из возбужденных состояний (CC) и из спиновых переориентаций обозначены пунктирной и сплошной линиями соответственно. В ходе анализа было обнаружено, что спиновая переориентация имеет значительный вклад в канал  $p + {}^{10}\text{Be}_{gs}$ , особенно в диапазоне углов  $40^\circ - 60^\circ$ . Интересно отметить, что нам удалось описать в рамках метода CRC дифференциальные сечения реакции  ${}^9\text{Be}(d, p){}^{10}\text{Be}_{gs}$  при всех углах рассеяния, включая диапазон  $40^\circ - 60^\circ$ , где они не были рассмотрены в [18, 27].

Заметный вклад переходов  $3/2^- \rightarrow 2_1^+$ ,  $5/2^- \rightarrow 2_1^+$ ,  $7/2^- \rightarrow 2_1^+$  наблюдается в канале  $p + {}^{10}\text{Be}_{3.37}$  во всем диапазоне углов рассеяния. В сечении канала  $p + {}^{10}\text{Be}_{5.96}$  теоретический расчет занижает экспериментальные данные, начиная с  $70^\circ$ . Возможно, следует принять во внимание другие высшие возбужденные состояния  ${}^9\text{Be}$ .

На рисунке 7 показаны сечения ядерной реакции  ${}^9\text{Be}(d, t){}^8\text{Be}$  при энергиях падения как 19.5, так и 35 МэВ. Как и в случае реакций (d, p), реакции (d, t) также показывают сильные эффекты канальной связи. Мы наблюдаем проявление эффектов спиновой переориентации в каналах  $t + {}^8\text{Be}_{gs}$  и значительный вклад переходов  $3/2^- \rightarrow 2^+$ ,  $5/2^- \rightarrow 2^+$ ,  $7/2^- \rightarrow 2^+$



$2^+$  в канал  $t + {}^8\text{Be}_{3.03}$ . Разногласия вблизи  $30^\circ$  в канале  $t + \text{Be}_{gs}$  при энергиях ядер-снаряда 19.5 и 35 МэВ и вблизи  $60^\circ$  в канале  $t + {}^8\text{Be}_{3.03}$  при энергии ядер-снаряда 19.5 МэВ, возможно, обусловлены неопределенностью потенциала взаимодействия  $t + {}^8\text{Be}$ .

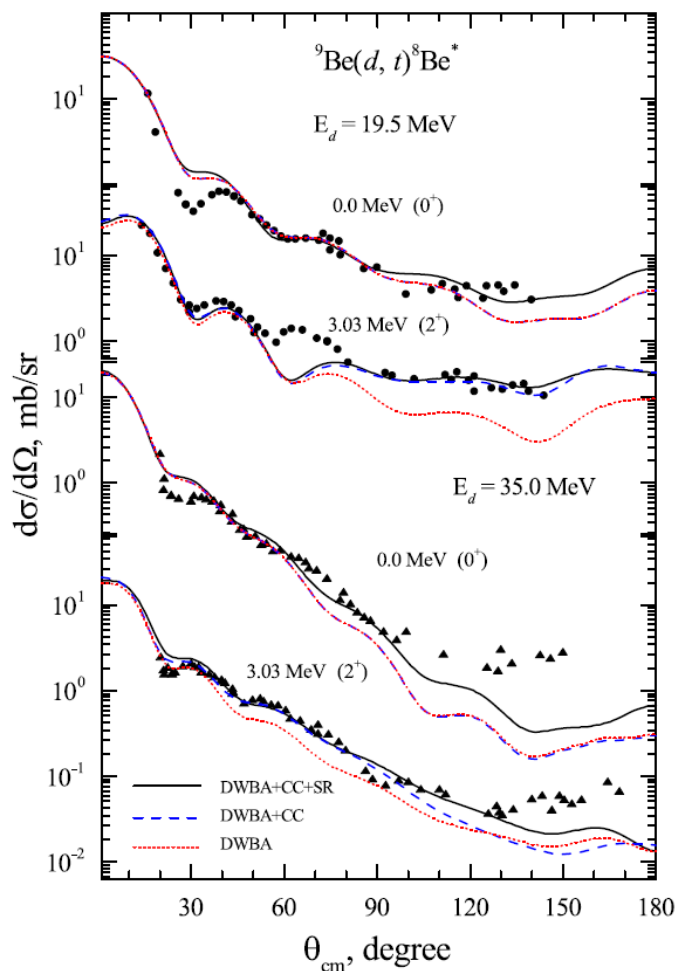


Рисунок 7 – Дифференциальные сечения для реакции  ${}^9\text{Be}(d, t){}^8\text{Be}^*$  при 19.5 и 35 МэВ, приводящие к различным конечным состояниям (обозначенным на рисунке) ядра  ${}^8\text{Be}$ . Экспериментальные данные приведены в сравнении с теоретическими результатами, полученными в рамках метода CRC

Теоретические расчеты, сделанные в рамках метода CRC, в целом, показывают хорошее согласие с экспериментальными данными для реакций  $(d, p)$  и  $(d, t)$ . Анализ показал сильные эффекты связи во входном и выходном каналах. Эффекты таких связей были также подчеркнуты в работах [17, 28].

**Закключение.** В настоящей работе дейтрон-индуцированные реакции на мишени  ${}^9\text{Be}$  изучались при энергиях 19.5 и 35 МэВ. Рассчитанный потенциал двойного фолдинга был успешно применен при описании сечений упругого и неупругого рассеяния, а также однонуклонной передачи. Определен параметр деформации для перехода  $3/2^- \rightarrow 5/2^-$  из  ${}^9\text{Be}$ . Эффекты сильной связи были показаны для ядерных реакций с передачей одного нуклона  $(d, p)$  и  $(d, t)$ . На основании этих наблюдений, полученных при изучении взаимодействия дейтрона с  ${}^9\text{Be}$ , можно сделать вывод, что ядро  ${}^9\text{Be}$  имеет кластерную структуру.

### Список литературы

- 1 Wang M, Audi G, Wapstra A H, Kondev F G, MacCormick M, Xu X, Pfeiffer B. The AME2012 atomic mass evaluation (II). Tables, graphs and references // Chin. Phys. C. - 2012. - Vol. 36. - P. 1603.
- 2 Sundholm D., Olsen J. Large MCHF Calculations on the Hyperfine Structure of Be: The nuclear quadrupole moment of  ${}^9\text{Be}$  // Chem. Phys. Lett. - 1991. - Vol. 177. - P. 91.

- 3 Kukulin V.I., Voronchev V.T. Pinch-based thermonuclear D3He fusion driven by a femtosecond laser // *Phys. At. Nucl.* - 2010. - Vol. 73. - P. 1376.
- 4 Seksembayev Zh., Kukulin V., Sakhiyev S. Study of a dense hot plasma's burning in Z-pinch devices with inertial-magnetic confinement // *Phys. Scr.* - 2018. - Vol. 93. - P. 085602.
- 5 Lukyanov S.M. Study of internal structures of 9,10Be and 10B in scattering of 4He from 9Be // *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* - 2014. - Vol. 41. - P. 035102.
- 6 Lukyanov S.M. Study of internal structures of 9,10Be and 10B in scattering of 4He from 9Be // *World J. Nucl. Sci. Technol.* - 2015. - Vol. 5. - P. 265.
- 7 Janseitov D.M. Investigation of the elastic and inelastic scattering of 3He from 9Be in the energy range 30-60MeV // *Int. J. Mod. Phys. E.* - 2018. - Vol. 27. - P. 1850089.
- 8 Brown T.A.D. Decay studies for states in 9Be up to 11 MeV: Insights into the n+8Be and ?+5He cluster structure // *Phys. Rev. C.* - 2007. - Vol. 76. - P. 054605.
- 9 Papka P. Decay path measurements for the 2.429 MeV state in 9Be: Implications for the astrophysical ? + ? + n reaction // *Phys. Rev. C.* - 2007. - Vol. 75. - P. 045803.
- 10 Detraz C., Duhm H.H., Hafner H. The (3He, 7Be) Reaction on Light Nuclei // *Nucl. Phys. A.* - 1970. - Vol. 147. - P. 488.
- 11 Detraz C., Pougheon F., Bernas M., Langevin M., Roussel P., Vernotte J. Selectivity in the 11B(3He, 6Li)8Be Reaction // *Nucl. Phys. A.* - 1974. - Vol. 228. - P. 39.
- 12 Urazbekov B.A., Denikin A.S., Sakhiev S.K., Burtebaev N.T. Manifestation of the cluster structure of the 9Be nucleus in direct nuclear reactions // *Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.* - 2016. - Vol. 247. - P. 26.
- 13 Urazbekov B.A., Denikin A.S., Sakhiev S.K., Lukyanov S.M. Studying the reactions of deuteron interaction with 9Be nuclei at low energies // *Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.* - 2017. - P. 690.
- 14 Thompson I.J. // *Comput. Phys. Rep.* - 1988. - Vol. 7. - P. 167-212
- 15 Kunz P.D. Computer code DWUCK5. [Electronic resource] -URL: <https://www.oecd-neo.org/tools/abstract/detail/nesc9872> (Accessed: 05.12.2019).
- 16 Karpov A., Denikin A., Naumenko M., Alekseev A., Rachkov V., Samarin V., Saiko V., Zagrebaev V. // *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A.* - 2017. - Vol. 859. - P. 112
- 17 Harakeh M.N., van Popta J., Saha A., Siemssen R.H. Strong Coupled-Channels Effects in the 9Be(? , t)10B Reaction // *Nucl. Phys. A.* - 1980. - Vol. 344. - P. 15.
- 18 Szczurek A. Z. Polar Light Charged Particles Accompanying Spontaneous Fission // *Phys. A.* - 1989. - Vol. 333. - P. 271.
- 19 Votava H.J., Clegg T.B., Ludwig E., Thompson W.J. Proton Scattering from 9Be between 6 and 30 MeV and the Structure of 9Be // *Nucl. Phys. A.* - 1973 - Vol. 204. - P. 529.
- 20 Koning A.J., Delaroche J.P. Local and global nucleon optical models from 1 keV to 200 MeV // *Nucl. Phys. A.* - 2003. - Vol. 713. - P. 231.
- 21 Li X., Liang C., Cai C. Global triton optical model potential // *Nucl. Phys. A.* - 2007. - Vol. 789. - P. 103.
- 22 Caurier E., Martinez-Pinedo G., Nowacki F., Poves A., Zuker A.P. The shell model as a unified view of nuclear structure // *Rev. Mod. Phys.* - 2005. - Vol. 77. - P. 427.
- 23 Cohen S., Kurath D. Effective Interactions for the 1p Shell // *Nucl. Phys.* - 1965. - Vol. 73. - P. 1.
- 24 Kravvaris K., Volya A. Study of clustering in isotopes of beryllium, AIP Conference Proceedings.- 2018. - Vol.2038. - P.020026.
- 25 Kravvaris K., Volya A. Study of Nuclear Clustering from an Ab Initio Perspective // *Phys. Rev. Lett.* - 2017. - Vol. 119. - P. 062501.
- 26 Della Rocca V., Iachello F. Cluster shell model: I. Structure of 9Be, 9B // *Nucl. Phys. A.* - 2018. - Vol. 973. - P. 1.
- 27 Galanina L.I., Zelenskaya N.S. Mechanisms of sequential particle transfer and characteristics of light neutron-excess and oriented nuclei // *Phys. Part. Nucl.* - 2012. - Vol. 43. - P. 147.
- 28 Rudchik A.T. Elastic and inelastic scattering of 15N ions by 9Be at 84 MeV // *Nucl. Phys. A.* - 2016. - Vol. 947. - P. 161.

К.О. Мендибаев<sup>1,2,3</sup>, Б.А. Уразбеков<sup>2,3,4,5</sup>, С.М. Лукьянов<sup>3</sup>, К.А. Кутербеков<sup>1</sup>,  
 Д.М. Джансейтов<sup>2,3,6</sup>, Т.Г. Исатаев<sup>1,3</sup>, Т.К. Жолдыбаев<sup>1,2</sup>, Д. Азнабаев<sup>3</sup>, Д.С. Валиолда<sup>3,6</sup>,  
 В. Кроха<sup>7</sup>, Д. Мразек<sup>7</sup>, Ю.Э. Пенионжкевич<sup>3</sup>, А.М. Кабышев<sup>1</sup>, А.М. Мұхамбетжан<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>2</sup> Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

<sup>3</sup> Біріккен ядролық зерттеулер институты, Дубна, Ресей

<sup>4</sup> Луиджи Ванвительли атындағы Кампанья университеті, Касерта, Италия

<sup>5</sup> Дубна мемлекеттік университеті, Дубна, Ресей

<sup>6</sup> Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>7</sup> Ядролық физика институты, Ржеж, Чехия

<sup>8</sup> Қорқыт Ата атындағы Қызылорда мемлекеттік университеті, Қызылорда, Қазақстан

Дейтрондардың<sup>9</sup> Ве ядросымен өзара әрекеттесуі кезінде түрлі теориялық модельдер шеңберінде бір нуклонды берілістерді зерттеу

**Аннотация.**  $E_{lab}(d) = 19.5$  және  $35.0$  МэВ энергиялары кезінде  $d + {}^9\text{Be}$  реакциясына шығарылатын протондардың, дейтрондардың, тритондардың және альфа-бөлшектердің бұрыштық таралуы өлшенген. Оптикалық модель және біріккен каналдар әдісі шеңберінде серпімді шашырауға талдау жүргізілді.  $d + {}^9\text{Be}$  жүйесінің өзара әрекеттесу потенциалы  ${}^9\text{Be}$  ядросы  $\alpha + \alpha + n$  үш дененің толқындық функциясын пайдалана отырып, қос орама моделі бойынша есептелді. Біріккен канал әдісі шеңберінде бірнуклонды беру реакциясына (d, p) және (d, t) талдау жүргізілді. Ядролық кластерлердің әр-түрлі конфигурациялары үшін спектроскопиялық амплитудалары есептелген.

**Түйін сөздер:** кластерлік құрылым, оптикалық модель, CRC, DWBA, спектроскопиялық амплитудалар, қос орама моделі, серпімді және серпімсіз шашырау.

К.О. Mendibayev<sup>1,2,3</sup>, Б.А. Urazbekov<sup>2,3,4,5</sup>, S.M. Lukyanov<sup>3</sup>, К.А. Kuterbekov<sup>1</sup>, D.M. Jansetov<sup>2,3,6</sup>,  
 T. Isataev<sup>1,3</sup>, T. Zholdybayev<sup>1,2</sup>, D. Aznabayev<sup>3</sup>, D.S. Valiolda<sup>3,6</sup>, V. Kroha<sup>7</sup>, D. Mrazek<sup>7</sup>,  
 Yu.E. Penionzhkevich<sup>3</sup>, A.M. Kabyshev<sup>1</sup>, A.M. Mukhambetzhan<sup>8</sup>

<sup>1</sup> L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>2</sup> Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup> Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

<sup>4</sup> University of Campania Luigi Vanvitelli, Caserta, Italy

<sup>5</sup> Dubna State University, Dubna, Russia

<sup>6</sup> Al Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<sup>7</sup> Institute of Nuclear Physics, Rzierz, Czech Republic

<sup>8</sup> Korkyt Ata Kyzylorda State University, Kyzylorda, Kazakhstan

Study of one-nucleon transfer reaction for the interaction of deuterons with the  ${}^9\text{Be}$  nuclei within various theoretical models

**Abstract.** The angular distributions of protons, deuterons, tritons, and alpha particles emitted in the  $d + {}^9\text{Be}$  reaction at energies  $E_{lab}(d) = 19.5$  and  $35.0$  MeV were measured. The elastic scattering analysis is carried out in the framework of the optical model and the coupled channel method. The interaction potential of the  $d + {}^9\text{Be}$  system was calculated using the double folding model using the three-body wave function  $\alpha + \alpha + n$  for the  ${}^9\text{Be}$  nucleus. The analysis of the single-nucleon transfer reaction (d, p) and (d, t) in the framework of the coupled channel method is carried out. Spectroscopic amplitudes are calculated for various configurations of nuclear clusters.

**Keywords:** cluster structure, optical model, CRC, DWBA, spectroscopic amplitudes, double folding model, elastic and inelastic scattering.

## References

- 1 Wang M., Audi G, Wapstra A. H., Kondev F. G., MacCormick M, Xu X., Pfeiffer B. The AME 2012 atomic mass evaluation (II), Tables, graphs and references, Chin. Phys. C., 36,1603 (2012).
- 2 Sundholm D., Olsen J. Large MCHF Calculations on the Hyperfine Structure of Be: The nuclear quadrupole moment of  ${}^9\text{Be}$ , Chem. Phys. Lett., 177, 91 (1991).
- 3 Kukulin V.I., Voronchev V.T. Pinch-based thermonuclear  $\text{D}^3\text{He}$  fusion driven by a femtosecond laser, Phys. At. Nucl., 73,1376 (2010).
- 4 Seksembayev Zh., Kukulin V., Sakhiyev S. Study of a dense hot plasma's burning in Z-pinch devices with inertial-magnetic confinement, Phys. Scr., 93, 085602 (2018).
- 5 Lukyanov S.M. Study of internal structures of  ${}^{9,10}\text{Be}$  and  ${}^{10}\text{B}$  in scattering of  ${}^4\text{He}$  from  ${}^9\text{Be}$ , J. Phys. G: Nucl. Part. Phys., 41, 035102 (2014).
- 6 Lukyanov S.M. Study of internal structures of  ${}^{9,10}\text{Be}$  and  ${}^{10}\text{B}$  in scattering of  ${}^4\text{He}$  from  ${}^9\text{Be}$ , World J. Nucl. Sci. Technol., 5, 265 (2015).
- 7 Jansetov D.M. Investigation of the elastic and inelastic scattering of  ${}^3\text{He}$  from  ${}^9\text{Be}$  in the energy range 30–60 MeV, Int. J. Mod. Phys. E., 27, 1850089 (2018).
- 8 Brown T.A.D. Decay studies for states in  ${}^9\text{Be}$  up to 11 MeV: Insights into the  ${}^8\text{Be}+n$  and  ${}^5\text{He}+\alpha$  cluster structure, Phys. Rev. C., 76, 054605 (2007).

- 9 Papka P. Decay path measurements for the 2.429 MeV state in  $^9\text{Be}$ : Implications for the astrophysical  $\alpha + \alpha + n$  reaction, *Phys. Rev. C.*, 75, 045803 (2007).
- 10 Detraz C., Duhm H.H., Hafner H. The ( $^3\text{He}$ ,  $^7\text{Be}$ ) Reaction on Light Nuclei, *Nucl. Phys. A.*, 147, 488 (1970).
- 11 Detraz C., Pougheon F., Bernas M., Langevin M., Roussel P., Vernotte J. Selectivity in the  $^{11}\text{B}(\text{}^3\text{He}, \text{}^6\text{Li})\text{}^8\text{Be}$  Reaction, *Nucl. Phys. A.*, 228, 39 (1974).
- 12 Urazbekov B.A., Denikin A.S., Sakhiev S.K., Burtebaev N.T. Manifestation of the cluster structure of the  $^9\text{Be}$  nucleus in direct nuclear reactions, *Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.*, 247, 26 (2016).
- 13 Urazbekov B.A., Denikin A.S., Sakhiev S.K., Lukyanov S.M. Studying the reactions of deuteron interaction with  $^9\text{Be}$  nuclei at low energies, *Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.*, 690 (2017).
- 14 Thompson I.J. Coupled reaction channels calculations in nuclear physics, *Comput. Phys. Rep.*, 7, 167-212 (1988).
- 15 Kunz P.D. Computer code DWUCK5. [Electronic resource] -URL: <https://www.oecd-neutron.org/tools/abstract/detail/nesc9872> (Accessed: 05.12.2019).
- 16 Karpov A., Denikin A., Naumenko M., Alekseev A., Rachkov V., Samarina V., Saiko V., Zagrebaev V. NRV web knowledge base on low-energy nuclear physics, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A.*, 859, 112 (2017).
- 17 Harakeh M.N., van Popta J., Saha A., Siemssen R.H. Strong Coupled-Channels Effects in the  $^9\text{Be}(\alpha, t)^{10}\text{B}$  Reaction, *Nucl. Phys. A.*, 344, 15 (1980).
- 18 Szczyrek A. Z. Polar Light Charged Particles Accompanying Spontaneous Fission, *Phys. A.*, 333, 271 (1989).
- 19 Votava H.J., Clegg T.B., Ludwig E., Thompson W.J. Proton Scattering from  $^9\text{Be}$  between 6 and 30 MeV and the Structure of  $^9\text{Be}$ , *Nucl. Phys. A.*, 204, 529 (1973).
- 20 Koning A.J., Delaroche J.P. Local and global nucleon optical models from 1 keV to 200 MeV, *Nucl. Phys. A.*, 713, 231 (2003).
- 21 Li X., Liang C., Cai C. Global triton optical model potential, *Nucl. Phys. A.*, 789, 103 (2007).
- 22 Caurier E., Martnez-Pinedo G., Nowacki F., Poves A., Zuker A.P. The shell model as a unified view of nuclear structure, *Rev. Mod. Phys.*, 77, 427 (2005).
- 23 Cohen S., Kurath D. Effective Interactions for the 1p Shell, *Nucl. Phys.*, 73, 1 (1965).
- 24 Kravvaris K., Volya A. Study of clustering in isotopes of beryllium, *AIP Conference Proceedings*, 2038, 020026 (2018).
- 25 Kravvaris K., Volya A. Study of Nuclear Clustering from an Ab Initio Perspective, *Phys. Rev. Lett.*, 119, 062501 (2017).
- 26 Della Rocca V., Iachello F. Cluster shell model: I. Structure of  $^9\text{Be}$ ,  $^9\text{B}$ , *Nucl. Phys. A.*, 973, 1 (2018).
- 27 Galanina L.I., Zelenskaya N.S. Mechanisms of sequential particle transfer and characteristics of light neutron-excess and oriented nuclei, *Phys. Part. Nucl.*, 43, 147 (2012).
- 28 Rudchik A.T. Elastic and inelastic scattering of  $^{15}\text{N}$  ions by  $^9\text{Be}$  at 84 MeV, *Nucl. Phys. A.*, 947, 161 (2016).

#### Сведения об авторах:

*Мендибаев К.О.* – PhD докторант 3 курса специальности «Ядерная физика», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

*Уразбеков Б.А.* – младший научный сотрудник Объединенного института ядерных исследований, Дубна, Россия.

*Лукьянов С.М.* – старший научный сотрудник Объединенного института ядерных исследований, Дубна, Россия.

*Кутербеков К.А.* – д.ф.-м.н., профессор Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

*Джансейтов Д.М.* – старший научный сотрудник Объединенного института ядерных исследований, Дубна, Россия.

*Исатаев Т.Г.* – PhD докторант 2 курса специальности «Ядерная физика», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

*Жолдыбаев Т.К.* – к.ф.-м.н., и.о. ассоциированного профессора, начальник лаборатории Института ядерной физики, Алматы, Казахстан.

*Азнабаев Д.Т.* – младший научный сотрудник Объединенного института ядерных исследований, Дубна, Россия.

*Валиолда Д.С.* – старший преподаватель кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

*Кроха В.* – научный сотрудник, Институт ядерной физики, Ржеж, Чехия

*Мразек Д.* – научный сотрудник, Институт ядерной физики, Ржеж, Чехия

*Пенюшкиевич Ю.Э.* – главный научный сотрудник Объединенного института ядерных исследований, Дубна, Россия.

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

*Мухамбетжан А.М.* – к.ф.-м.н., и.о. ассоциированного профессора кафедры электроэнергетики и безопасности жизнедеятельности, начальник отдела планирования учебного процесса и академической мобильности Кызылординского государственного университета имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан.

*Mendibayev K.O.* – 3<sup>rd</sup> year PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Urazbekov B.A.* – Junior Researcher, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia.

*Lukyanov S.M.* – Senior Researcher, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia.

*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.

*Janseitov D.M.* – Senior Researcher, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia.

*Issatayev T.G.* – 2<sup>nd</sup> year PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Zholdybaev T.K.* – Ph.D., Head of Laboratory, Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan.

*Aznabayev D.T.* – Junior Researcher, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia.

*Valiolda D.S.* – Senior Lecturer, Department of Theoretical and Nuclear Physics, Kazakh National University. Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan.

*Kroha V.* – Researcher, Institute of Nuclear Physics, Rzhesh, Czech Republic.

*Mrazek D.* – Researcher, Institute of Nuclear Physics, Rzhesh, Czech Republic.

*Penionzhkevich Yu.E.* – Senior Researcher, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia.

*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.

*Mukhambetzhan 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.

«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы»  
журналында мақала жариялау ережесі

Журнал редакциясы авторларға осы нұсқаулықпен толық танысып, журналға мақала әзірлеу мен дайын мақаланы журналға жіберу кезінде басшылыққа алуды ұсынады. Бұл нұсқаулық талаптарының орындалмауы сіздің мақалаңыздың жариялануын кідіртеді.

1. **Журнал мақсаты.** Физика мен астрономия салаларының теориялық және эксперименталды зерттелулері бойынша мұқият тексеруден өткен ғылыми құндылығы бар мақалалар жариялау.

2. Баспаға (барлық жариялаушы авторлардың қол қойылған қағаз нұсқасы және электронды нұсқа) журналдың түпнұсқалы стильдік файлының міндетті қолданысымен LaTeX баспа жүйесінде дайындалған Tex- пен Pdf-файлындағы жұмыстар ұсынылады. Стильдік файлды және шаблонды *bulphysast.enu.kz* журнал сайтынан жүктеп алуға болады. Сонымен қатар, автор(лар) ілеспе хат ұсынуы керек.

3. Автордың қолжазбаны редакцияға жіберуі мақаланың Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысында басуға келісімін, шетел тіліне аударылып қайта басылуына келісімін білдіреді. Автор мақаланы редакцияға жіберу арқылы автор туралы мәліметтің дұрыстығына, мақала көшірілмегендігіне (плагиаттың жоқтығына) және басқа да заңсыз көшірмелердің жоқтығына кепілдеме береді.

4. Мақаланың көлемі 18 беттен аспауға тиіс (6 беттен бастап).

ГТАМРК <http://grmti.ru/>

Автор(лар)дың аты-жөні

Мекеменің толық атауы, қаласы, мемлекеті (егер авторлар әртүрлі мекемеде жұмыс жасайтын болса, онда әр автор мен оның жұмыс мекемесі қасында бірдей белгі қойылу керек)

Автор(лар)дың E-mail-ы

Мақала атауы

Аңдатпа (100-200 сөз; күрделі формулаларсызсыз, мақаланың атауын мейлінше қайталамауы қажет; әдебиеттерге сілтемелер болмауы қажет; мақаланың құрылысын (кіріспе мақаланың мақсаты/ міндеттері /қарастырылып отырған сұрақтың тарихы /зерттеу /әдістері нәтижелер/талқылау, қорытынды) сақтай отырып, мақаланың қысқаша мазмұны берілуі қажет).

Түйін сөздер (6-8 сөз не сөз тіркесі. Түйін сөздер мақала мазмұнын көрсетіп, мейлінше мақала атауы мен аннотациядағы сөздерді қайталамай, мақала мазмұнындағы сөздерді қолдану қажет. Сонымен қатар, ақпараттық-ізвестіру жүйелерінде мақаланы жеңіл табуға мүмкіндік беретін ғылым салаларының терминдерін қолдану қажет).

Негізгі мәтін мақаланың мақсаты/ міндеттері/ қарастырылып отырған сұрақтың тарихы, зерттеу әдістері, нәтижелер/талқылау, қорытынды бөлімдерін қамтуы қажет.

5. **Таблица, суреттер** – Жұмыстың мәтінінде кездесетін таблицалар мәтіннің ішінде жеке нөмірленіп, мәтін көлемінде сілтемелер түрінде көрсетілуі керек. Суреттер мен графиктер PS, PDF, TIFF, GIF, JPEG, BMP, PCX форматындағы стандарттарға сай болуы керек. Нүктелік суреттер кеңейтілімі 600 dpi кем болмауы қажет. Суреттердің барлығы да айқын әрі нақты болуы керек.

Мақаладағы **формулалар** тек мәтінде оларға сілтеме берілсе ғана номерленеді.

Жалпы қолданыста бар **аббревиатуралар** мен **қысқартулардан** басқалары міндетті түрде алғаш қолданғанда түсіндірілуі берілуі қажет. **Қаржылай көмек туралы** ақпарат бірінші бетте көрсетіледі.

6. Жұмыста қолданылған әдебиеттер тек жұмыста сілтеме жасалған түпнұсқалық көрсеткішке сай (сілтеме беру тәртібінде немесе ағылшын әліпбиі тәртібі негізінде толтырылады) болуы керек. Баспадан шықпаған жұмыстарға сілтеме жасауға тыйым салынады.

Сілтемені беруде автор қолданған әдебиеттің бетінің нөмірін көрсетпей, келесі нұсқаға сүйеніңіз дұрыс: тараудың номері, бөлімнің номері, тармақтың номері, теораманың (лемма, ескерту, формуланың және т.б.) номері көрсетіледі. Мысалы: қараңыз [3; § 7, лемма 6]», «...қараңыз [2; 5 теорамандағы ескерту]». Бұл талап орындалмаған жағдайда мақаланы ағылшын тіліне аударғанда сілтемелерде қателіктер туындауы мүмкін.

#### Әдебиеттер тізімін рәсімдеу мысалдары

1 Воронин С. М., Карацуба А. А. Дзета-функция Римана. –М: Физматлит, –1994, –376 стр. – **кітап**

2 Баилов Е. А., Сихов М. Б., Темиргалиев Н. Об общем алгоритме численного интегрирования функций многих переменных // Журнал вычислительной математики и математической физики –2014. –Т.54. № 7. –С. 1059-1077. - **мақала**

3 Жубанышева А.Ж., Абикенова Ш. О нормах производных функций с нулевыми значениями заданного набора линейных функционалов и их применения к поперечниковым задачам // Функциональные пространства и теория приближения функций: Тезисы докладов Международной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика С.М.Никольского, Москва, Россия, 2015. – Москва, 2015. –С.141-142. – **конференция еңбектері**

4 Нургазина К. Рыцарь математики и информатики. –Астана: Каз.правда, 2017. 19 апреля. –С.7. – **газеттік мақала**

5 Кыров В.А., Михайличенко Г.Г. Аналитический метод вложения симплектической геометрии // Сибирские электронные математические известия –2017. –Т.14. –С.657-672. doi: 10.17377/semi.2017.14.057. – URL: <http://semr.math.nsc.ru/v14/p657-672.pdf>. (дата обращения: 08.01.2017). - **электронды журнал**

7. Әдебиеттер тізімінен соң автор өзінің библиографиялық мәліметтерін орыс және ағылшын тілінде (егер мақала қазақ тілінде орындалса), қазақ және ағылшын тілінде (егер мақала орыс тілінде орындалса), орыс және қазақ тілінде (егер мақала ағылшын тілінде орындалса) жазу қажет. Соңынан транслиттік аударма мен ағылшын тілінде берілген әдебиеттер тізімінен соң әр автордың жеке мәліметтері (қазақ, орыс, ағылшын тілдерінде – ғылыми атағы, қызметтік мекенжайы, телефоны, e-mail-ы) беріледі.

8. Редакцияға түскен мақала жабық (анонимді) тексеруге жіберіледі. Барлық рецензиялар авторларға жіберіледі. Автор (рецензент мақаланы түзетуге ұсыныс берген жағдайда) он күн аралығында қайта қарап, қолжазбаның түзетілген нұсқасын редакцияға қайта жіберуі керек. Рецензент жарамсыз деп таныған мақала қайтара қарастырылмайды. Мақаланың түзетілген нұсқасы мен автордың рецензентке жауабы редакцияға жіберіледі.

**9. Төлемақы.** Басылымға рұқсат етілген мақала авторларына төлем жасау туралы ескертіледі. Төлем көлемі 4500 тенге – ЕҰУ қызметкерлері үшін және 5500 тенге басқа ұйым қызметкерлеріне.

Реквизиты:

1)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК

АО "Банк ЦентрКредит"

БИК банка: КСЖВКЗКХ

ИИК: KZ978562203105747338

Кбе 16

Кпн 859- за статью

2)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Bank RBK"

Бик банка: КІНСКЗКА

ИИК: KZ498210439858161073

Кбе 16

Кпн 859 - за статью

3)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "ForteBank"

БИК Банка: ІРТҮКЗКА

ИИК: KZ599650000040502847

Кбе 16

Кпн 859 - за статью

4)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Народный Банк Казахстан"

БИК Банка: НСВККЗКХ

ИИК: KZ946010111000382181

Кбе 16

Кпн 859.

"За публикацию в Вестнике ЕНУ ФИО автора"

**Provision on articles submitted to the journal "Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University. Physics. Astronomy series"**

*The journal editorial board asks the authors to read the rules and adhere to them when preparing the articles, sent to the journal. Deviation from the established rules delays the publication of the article.*

**1. Purpose of the journal.** Publication of carefully selected original scientific.

2. The scientific publication office accepts the article (in electronic and printed, signed by the author) in Tex- and Pdf-files, prepared in the LaTeX publishing system with mandatory use of the original style log file. The style log file and template can be downloaded from the journal website *bulphysast.enu.kz*. And you also need to provide the **cover letter** of the author(s).  
Language of publications: Kazakh, Russian, English.

**3. Submission of articles to the scientific publication office means the authors' consent to the right of the Publisher, L.N. Gumilyov Eurasian National University, to publish articles in the journal and the re-publication of it in any foreign language. Submitting the text of the work for publication in the journal, the author guarantees the correctness of all information about himself, the lack of plagiarism and other forms of improper borrowing in the article, the proper formulation of all borrowings of text, tables, diagrams, illustrations.**

4. The volume of the article should not exceed 18 pages (from 6 pages).

**5. Structure of the article**

**GRNTI** <http://grnti.ru/>

**Initials and Surname of the author (s)**

**Full name of the organization, city, country** (if the authors work in different organizations, you need to put the same icon next to the name of the author and the corresponding organization)

**Author's e-mail (s)**

**Article title**

**Abstract** (100-200 words, it should not contain a big formulas, the article title should not repeat in the content, it should not contain bibliographic references, it should reflect the summary of the article, preserving the structure of the article - introduction/ problem statement/ goals/ history, research methods, results /discussion, conclusion).

**Key words** (6-8 words/word combination. Keywords should reflect the main content of the article, use terms from the article, as well as terms that define the subject area and include other important concepts that make it easier and more convenient to find the article using the information retrieval system).

**The main text of the article** should contain an introduction/ problem statement/ goals/ history, research methods, results / discussion, conclusion. Tables, figures should be placed after the mention. Each illustration should be followed by an inscription. Figures should be clear, clean, not scanned.

Tables are included directly in the text of the article; it must be numbered and accompanied by a reference to them in the text of the article. Figures, graphics should be presented in one of the standard formats: PS, PDF, TIFF, GIF, JPEG, BMP, PCX. Bitmaps should be presented with a resolution of 600 dpi. All details must be clearly shown in the figures.

In the article, only those **formulas** are numbered, to which the text has references.

All **abbreviations**, with the exception of those known to be generally known, must be deciphered when first used in the text.

Information on **the financial** support of the article is indicated on the first page in the form of a footnote.

**6.** The list of literature should contain only those sources (numbered in the order of quoting or in the order of the English alphabet), which are referenced in the text of the article. References to unpublished issues, the results of which are used in evidence, are not allowed. Authors are recommended to exclude the reference to pages when referring to the links and guided by the following template: chapter number, section number, paragraph number, theorem number (lemmas, statements, remarks to the theorem, etc.), number of the formula. For example, "... , see [3, § 7, Lemma 6]"; "... , see [2], a remark to Theorem 5". Otherwise, incorrect references may appear when preparing an English version of the article.

#### **Template**

1 Воронин С. М., Карацуба А. А. Дзета-функция Римана. -М: Физматлит, -1994, -376 стр.-**book**

2 Баилов Е. А., Сихов М. Б., Темиргалиев Н. Об общем алгоритме численного интегрирования функций многих переменных // Журнал вычислительной математики и математической физики -2014. -Т.54. № 7. -С. 1059-1077. - **journal article**

3 Жубанышева А.Ж., Абикинова Ш. О нормах производных функций с нулевыми значениями заданного набора линейных функционалов и их применения к поперечниковым задачам // Функциональные пространства и теория приближения функций: Тезисы докладов Международной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика С.М.Никольского, Москва, Россия, 2015. - Москва, 2015. -С.141-142. - - **Conferences proceedings**

4 Нуртазина К. Рыцарь математики и информатики. -Астана: Каз.правда, 2017. 19 апреля. -С.7. **newspaper articles**

5 Кыров В.А., Михайличенко Г.Г. Аналитический метод вложения симплектической геометрии // Сибирские электронные математические известия -2017. -Т.14. -С.657-672. doi: 10.17377/semi.2017.14.057. - URL: <http://semr.math.nsc.ru/v14/p657-672.pdf>. (дата обращения: 08.01.2017). - **Internet resources**

**7.** At the end of the article, after the list of references, it is necessary to indicate bibliographic data in Russian and English (if the article is in Kazakh), in Kazakh and English (if the article is in Russian) and in Russian and Kazakh languages (if the article is English language). Then a combination of the English-language and transliterated parts of the references list and information about authors (scientific degree, office address, telephone, e-mail - in Kazakh, Russian and English) is given.

**8. Work with electronic proofreading.** Articles received by the Department of Scientific Publications (editorial office) are sent to anonymous review. All reviews of the article are sent to the author. The authors must send the proof of the article within ten days. Articles that receive a negative review for a second review are not accepted. Corrected versions of articles and the author's response to the reviewer are sent to the editorial office. Articles that have positive reviews are submitted to the editorial boards of the journal for discussion and approval for publication.



**Periodicity of the journal:** 4 times a year.

**9. Payment.** Authors who have received a positive conclusion for publication should make payment on the following requisites (for ENU employees - 4,500 tenge, for outside organizations - 5,500 tenge):

Реквизиты:

1) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК

АО "Банк ЦентрКредит"

БИК банка: КСJBKZKX

ИИК: KZ978562203105747338

Кбе 16

Кпн 859- за статью

2) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Bank RBK"

Бик банка: KINCKZKA

ИИК: KZ498210439858161073

Кбе 16

Кпн 859 - за статью

3) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "ForteBank"

БИК Банка: IRTYKZKA

ИИК: KZ599650000040502847

Кбе 16

Кпн 859 - за статью

4) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Народный Банк Казахстан"

БИК Банка: HSBKKZKX

ИИК: KZ946010111000382181

Кбе 16

Кпн 859.

"За публикацию в Вестнике ЕНУ ФИО автора"

**Положение о рукописях, представляемых в журнал «Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева. Серия: Физика. Астрономия»**

Редакция журнала просит авторов ознакомиться с правилами и придерживаться их при подготовке работ, направляемых в журнал. Отклонение от установленных правил задерживает публикацию статьи.

1. **Цель журнала.** Публикация тщательно отобранных оригинальных научных работ по актуальным проблемам теоретических и экспериментальных исследований в области физики и астрономии.

2. В редакцию (в бумажном виде, подписанном всеми авторами и в электронном виде) представляются Tex- и Pdf-файлы работы, подготовленные в издательской системе LaTeX, с обязательным использованием оригинального стилевого файла журнала. Стилиевой файл и шаблон можно скачать со сайта журнала *bulphysast.enu.kz*. Автору (авторам) необходимо предоставить **сопроводительное письмо**.

**Язык публикаций:** казахский, русский, английский.

3. Отправление статей в редакцию означает согласие авторов на право Издателя, Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, издания статей в журнале и переиздания их на любом иностранном языке. Представляя текст работы для публикации в журнале, автор гарантирует правильность всех сведений о себе, отсутствие плагиата и других форм неправомерного заимствования в рукописи, надлежащее оформление всех заимствований текста, таблиц, схем, иллюстраций.

4. Объем статьи не должен превышать 18 страниц (от 6 страниц).

5. **Схема построения статьи**

**ГРНТИ** <http://grnti.ru/>

**Инициалы и фамилия автора(ов)**

**Полное наименование организации, город, страна** (если авторы работают в разных организациях, необходимо поставить одинаковый значок около фамилии автора и соответствующей организации)

**E-mail** автора(ов)

**Название статьи**

**Аннотация** (100-200 слов; не должна содержать громоздкие формулы, по содержанию повторять название статьи; не должна содержать библиографические ссылки; должна отражать краткое содержание статьи, сохраняя структуру статьи – введение/ постановка задачи/ цели/ история, методы исследования, результаты/обсуждение, заключение/выводы).

**Ключевые слова** (6-8 слов/словосочетаний. Ключевые слова должны отражать основное содержание статьи, использовать термины из текста статьи, а также термины, определяющие предметную область и включающие другие важные понятия, позволяющие облегчить и расширить возможности нахождения статьи средствами информационно-поисковой системы).

**Основной текст статьи** должен содержать введение/ постановку задачи/ цели/ историю, методы исследования, результаты/обсуждение, заключение/выводы.

Таблицы включаются непосредственно в текст работы, они должны быть пронумерованы и сопровождаться ссылкой на них в тексте работы. Рисунки, графики должны быть представлены в одном из стандартных форматов: PS, PDF, TIFF, GIF, JPEG, BMP, PCX. Точечные рисунки необходимо выполнять с разрешением 600 dpi. На рисунках должны быть ясно переданы все детали.

В статье нумеруются лишь те **формулы**, на которые по тексту есть ссылки.

Все **аббревиатуры и сокращения**, за исключением заведомо общеизвестных, должны быть расшифрованы при первом употреблении в тексте.

Сведения о **финансовой поддержке** работы указываются на первой странице в виде сноски.

6. Список литературы должен содержать только те источники (пронумерованные в порядке цитирования или в порядке английского алфавита), на которые имеются ссылки в тексте работы. Ссылки на неопубликованные работы, результаты которых используются в доказательствах, не допускаются.

Авторам рекомендуется при оформлении ссылок исключать упоминание страниц и руководствоваться следующим шаблоном: номер главы, номер параграфа, номер пункта, номер теоремы (леммы, утверждения, замечания к теореме и т.п.), номер формулы. Например, "... см. [3; § 7, лемма 6]"; "... см. [2; замечание к теореме 5]". В противном случае при подготовке англоязычной версии статьи могут возникнуть неверные ссылки.

**Примеры оформления списка литературы**

1 Воронин С. М., Карацуба А. А. Дзета-функция Римана. -М: Физматлит, -1994, -376 стр. - **книга**

2 Баилов Е. А., Сихов М. Б., Темиргалиев Н. Об общем алгоритме численного интегрирования функций многих переменных // Журнал вычислительной математики и математической физики -2014. -Т.54. № 7. -С. 1059-1077. - **статья**

3 Жубанышева А.Ж., Абикенова Ш. О нормах производных функций с нулевыми значениями заданного набора линейных функционалов и их применения к поперечниковым задачам // Функциональные пространства и теория приближения функций: Тезисы докладов Международной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика С.М.Никольского, Москва, Россия, 2015. - Москва, 2015. -С.141-142. - **труды конференции**

4 Нургазина К. Рыцарь математики и информатики. -Астана: Каз.правда, 2017. 19 апреля. -С.7. - **газетная статья**

5 Кыров В.А., Михайличенко Г.Г. Аналитический метод вложения симплектической геометрии // Сибирские электронные математические известия -2017. -Т.14. -С.657-672. doi: 10.17377/semi.2017.14.057. - URL: <http://semi.math.nsc.ru/v14/p657-672.pdf>. (дата обращения: 08.01.2017). - **электронный журнал**

7. После списка литературы, необходимо указать библиографические данные на русском и английском языках (если статья оформлена на казахском языке), на казахском и английском языках (если статья оформлена на русском языке) и на русском и казахском языках (если статья оформлена на английском языке). Затем приводится комбинация англоязычной и транслитерированной частей списка литературы и сведения по каждому из авторов (научное звание, служебный адрес, телефон, e-mail - на казахском, русском и английском языках).

**8. Работа с электронной корректурой.** Статьи, поступившие в Отдел научных изданий (редакция), отправляются на анонимное рецензирование. Все рецензии по статьям отправляются автору. Авторам в течение десяти дней необходимо отправить корректуру статьи. Статьи, получившие отрицательную рецензию, к повторному рассмотрению не принимаются. Исправленные варианты статей и ответ автора рецензенту присылаются в редакцию. Статьи, имеющие положительные рецензии, представляются редколлегии журнала для обсуждения и утверждения для публикации.

**Периодичность журнала:** 4 раза в год.

**9. Оплата.** Авторам, получившим положительное заключение к опубликованию, необходимо произвести оплату по следующим реквизитам (для сотрудников ЕНУ – 4500 тенге, для сторонних организаций – 5500 тенге): Реквизиты:

Реквизиты:

1) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК

АО "Банк ЦентрКредит"

БИК банка: KСJBKZKX

ИИК: KZ978562203105747338

Кбе 16

Кпн 859- за статью

2) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Bank RBK"

Бик банка: KINCKZKA

ИИК: KZ498210439858161073

Кбе 16

Кпн 859 - за статью

3) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "ForteBank"

БИК Банка: IRTYKZKA

ИИК: KZ599650000040502847

Кбе 16

Кпн 859 - за статью

4) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Народный Банк Казахстан"

БИК Банка: HSBKCKZKX

ИИК: KZ946010111000382181

Кбе 16

Кпн 859.

"За публикацию в Вестнике ЕНУ ФИО автора"

### СОПРОВОДИТЕЛЬНОЕ ПИСЬМО

Настоящим письмом авторы гарантируют, что размещение научной статьи "НАЗВАНИЕ СТАТЬИ" (Произведение) авторов ФИО АВТОРА(ОВ) в журнале "Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева. Серия Физика. Астрономия" не нарушает ничьих авторских прав. Авторы предоставляют издателю журнала, Евразийскому национальному университету имени Л.Н. Гумилева исключительные права на неограниченный срок:

- право на воспроизведение Произведения (опубликование, обнародование, дублирование, тиражирование или иное размножение Произведения) без ограничения тиража экземпляров, право на распространение Произведения любым способом. При этом каждый экземпляр произведения должен содержать имя автора (ов) Произведения;

- право на включение в составное произведение;

- право на доведение до всеобщего сведения;

- право на использование метаданных (название, имя автора (правообладателя), аннотации, библиографические материалы, полный текст Произведения и пр.) Произведения путем распространения и доведения до всеобщего сведения, обработки и систематизации, а также включения в различные базы данных и информационные системы, в том числе полнотекстовых версий опубликованного Произведения.

Территория, на которой допускается использование прав на Произведения, не ограничена.

**Автор(ы)** также предоставляют издателю журнала право хранения и обработки своих персональных данных без ограничения по сроку (фамилия, имя, отчество, сведения об образовании, сведения о месте работы и занимаемой должности). Персональные данные предоставляются для их хранения и обработки в различных базах данных и информационных системах, включения их в аналитические и статистические отчетности, создания обоснованных взаимосвязей объектов произведений науки, литературы и искусства с персональными данными и т.п.

**Автор(ы)** в полном объеме несут ответственность за неправомерное использование в научной статье объектов интеллектуальной собственности, объектов авторского права в соответствии с действующим законодательством Республики Казахстан.

Настоящим письмом автор(ы) дают свое согласие на проверку Произведения на предмет плагиата издателем журнала.

**Автор(ы)** подтверждают, что направляемое Произведение нигде ранее не было опубликовано, не направлялось и не будет направляться для опубликования в другие научные издания.

*\*Сопроводительное письмо оформляется на официальном бланке организации и подписывается руководителем организации (для вузов - курирующим проректором по научно-исследовательской работе).*

*\*\* Сопроводительное письмо авторов, являющихся сотрудниками ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, заверяется деканом факультета.*

Исп.: ФИО автора(ов)

Редакторы: А.Т. Ақылбеков  
Шығарушы редактор, дизайн: Г. Мендыбаева

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің  
Хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы.  
-2020 - 1(130) - Нұр-Сұлтан: ЕҰУ. 117-б.  
Шартты б.т. - 9,375 Таралымы - 25 дана.

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

Мазмұнына типография жауап бермейді.

Редакция мекен-жайы: 010008, Нұр-Сұлтан қ.,  
Сәтбаев көшесі, 2.  
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті  
Тел.: +7(7172) 70-95-00(ішкі 31-428)

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің баспасында басылды