

ISSN 2518-1726 (Online),  
ISSN 1991-346X (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің

# Х А Б А Р Л А Р Ы

---

---

## ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
Қазақстанның ұлттық ғылым академиясының  
әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің

## NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
al-Farabi Kazakh National University

**SERIES**  
**PHYSICO-MATHEMATICAL**

**5 (339)**

**SEPTEMBER – OKTOBER 2021**

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

*NAS RK is pleased to announce that News of NAS RK. Series physico-mathematical journal has been accepted for indexing in the Emerging Sources Citation Index, a new edition of Web of Science. Content in this index is under consideration by Clarivate Analytics to be accepted in the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index, and the Arts & Humanities Citation Index. The quality and depth of content Web of Science offers to researchers, authors, publishers, and institutions sets it apart from other research databases. The inclusion of News of NAS RK. Series of chemistry and technologies in the Emerging Sources Citation Index demonstrates our dedication to providing the most relevant and influential content of chemical sciences to our community.*

*Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы «ҚР ҰҒА Хабарлары. Физикалық-математикалық сериясы» ғылыми журналының Web of Science-тің жаңаланған нұсқасы Emerging Sources Citation Index-те индекстелуге қабылданғанын хабарлайды. Бұл индекстелу барысында Clarivate Analytics компаниясы журналды одан әрі the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index және the Arts & Humanities Citation Index-ке қабылдау мәселесін қарастыруда. Web of Science зерттеушілер, авторлар, баспашылар мен мекемелерге контент тереңдігі мен сапасын ұсынады. ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы Emerging Sources Citation Index-ке енуі біздің қоғамдастық үшін ең өзекті және беделді химиялық ғылымдар бойынша контентке адалдығымызды білдіреді.*

*НАН РК сообщает, что научный журнал «Известия НАН РК. Серия физико-математическая» был принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии Web of Science. Содержание в этом индексировании находится в стадии рассмотрения компанией Clarivate Analytics для дальнейшего принятия журнала в the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index и the Arts & Humanities Citation Index. Web of Science предлагает качество и глубину контента для исследователей, авторов, издателей и учреждений. Включение Известия НАН РК в Emerging Sources Citation Index демонстрирует нашу приверженность к наиболее актуальному и влиятельному контенту по химическим наукам для нашего сообщества.*

### **Бас редактор:**

**МҰТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы**, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан) Н=5

### **Редакция алқасы:**

**ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы** (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының кеңесшісі, зертхана меңгерушісі (Алматы, Қазақстан) Н=7

**БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жанабайұлы** (бас редактордың орынбасары), техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Сағпаев университетінің Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, (Алматы, Қазақстан) Н=3

**ВОЙЧИК Вальдемар**, техника ғылымдарының докторы (физика), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша) Н=23

**БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы**, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н-10

**QUEVEDO Hemando**, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика) Н=28

**ЖҮСПОВ Марат Абжанұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=7

**КОВАЛЕВ Александр Михайлович**, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина) Н=5

**МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович**, техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь ҰҒА академигі (Минск, Беларусь) Н=2

**РАМАЗАНОВ Тілекқабыл Сәбитұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан) Н=26

**ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=5

**ТИГИНЯНУ Ион Михайлович**, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова) Н=42

**ХАРИН Станислав Николаевич**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=10

**ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=12

**КАЛАНДРА Пьетро**, Ph.D (физика), Наноқұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия) Н=26

### **«ҚР ҰҒА Хабарлары.**

**Физика-математикалық сериясы».**

**ISSN 2518-1726 (Online),**

**ISSN 1991-346X (Print)**

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 14.02.2018 ж. берілген **№ 16906-Ж** мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *математика, информатика, механика, физика, ғарыштық зерттеулер, астрономия, ионосфера.*

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., тел.: 272-13-19

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2021

Типографияның мекен-жайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Мұратбаев көш., 75.

### Главный редактор:

**МУТАНОВ Галимкаир Мутанович**, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК (Алматы, Казахстан) Н=5

### Редакционная коллегия:

**КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович**, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, советник генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК, заведующий лабораторией (Алматы, Казахстан) Н=7

**БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич**, (заместитель главного редактора), доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, университет Сатпаева (Алматы, Казахстан) Н=3

**ВОЙЧИК Вальдемар**, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша) Н=23

**БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич**, доктор Ph.D, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=10

**QUEVEDO Hemando**, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика) Н=28

**ЖУСУПОВ Марат Абжанович**, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=7

**КОВАЛЕВ Александр Михайлович**, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина) Н=5

**МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович**, доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси (Минск, Беларусь) Н=2

**РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, проректор по научно-инновационной деятельности, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=26

**ТАКИБАЕВ Нургали Жабагаевич**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=5

**ТИГИНЯНУ Ион Михайлович**, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова) Н=42

**ХАРИН Станислав Николаевич**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстанско-Британский технический университет (Алматы, Казахстан) Н=10

**ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович**, доктор физико-математических наук, профессор, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=12

**КАЛАНДРА Пьетро**, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия) Н=26

«Известия НАН РК.

Серия физико-математическая».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № 16906-Ж выданное 14.02.2018 г.

Тематическая направленность: *математика, информатика, механика, физика, космические исследования, астрономия, ионосфера.*

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, оф. 219, тел.: 272-13-19

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2021

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.



#### **Editor in chief:**

**MUTANOV Galimkair Mutanovich**, doctor of technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, acting director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK (Almaty, Kazakhstan) H=5

#### **Editorial board:**

**KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich** (Deputy Editor-in-Chief), doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Advisor to the General Director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK, Head of the Laboratory (Almaty, Kazakhstan) H=7

**BAYGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabayevich**, (Deputy Editor-in-Chief), doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Institute of Cybernetics and Information Technologies, Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan) H=3

**WOICIK Waldemar**, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor, Lublin University of Technology (Lublin, Poland) H=23

**BOSHKAYEV Kuantai Avgazievich**, PhD, Lecturer, Associate Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=10

**QUEVEDO Hemando**, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico) H=28

**ZHUSSUPOV Marat Abzhanovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=7

**KOVALEV Alexander Mikhailovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Academician of NAS of Ukraine, Director of the State Institution «Institute of Applied Mathematics and Mechanics» DPR (Donetsk, Ukraine) H=5

**MIKHALEVICH Alexander Alexandrovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS of Belarus (Minsk, Belarus) H=2

**RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Vice-Rector for Scientific and Innovative Activity, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=26

**TAKIBAYEV Nurgali Zhabagaevich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=5

**TIGHINEANU Ion Mikhailovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Academician, Full Member of the Academy of Sciences of Moldova, President of the AS of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova) H=42

**KHARIN Stanislav Nikolayevich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan) H=10

**DAVLETOV Askar Erbulanovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=12

**CALANDRA Pietro**, PhD in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy) H=26

**News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.**  
**ISSN 2518-1726 (Online),**  
**ISSN 1991-346X (Print)**

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty). The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan No. 16906-Ж, issued 14.02.2018

Thematic scope: *mathematics, computer science, mechanics, physics, space research, astronomy, ionosphere.*

Periodicity: 6 times a year.

Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

---

---

# МАТЕМАТИКА

---

---

**NEWS****OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES****ISSN 1991-346X**

Volume 5, Number 339 (2021), 111–118

<https://doi.org/10.32014/2021.2518-1726.91>

УДК 539.17:539.141/.142

**Абдраманова Г.Б., Имамбек О., Белисарова Ф.Б.**

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

E-mail: [onlas@mail.ru](mailto:onlas@mail.ru)**МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФОРМАЛИЗМ ДЛЯ РАСЧЕТОВ СЕЧЕНИЯ УПРУГОГО  $p^7\text{Be}$ -  
РАССЕЯНИЯ В РАМКАХ ТЕОРИИ ГЛАУБЕРА**

**Аннотация.** В работе в рамках дифракционной теории многократного рассеяния Глаубера разработан математический формализм для расчета дифференциальных сечений упругого взаимодействия адронов (протонов, антипротонов, мезонов и т.д.) с ядром  $^7\text{Be}$  при промежуточных энергиях. Отличительной особенностью разработанного формализма является то, что он позволяет теоретически исследовать как структурные особенности ядра мишени (разные варианты волновых функции), так и динамику взаимодействия налетающей частицы с каждым из кластеров (разные кратности рассеяния). Вопрос об отсутствии в научной литературе параметризации для элементарных амплитуд рассеяния адронов на кластере  $\tau(^3\text{He})$  в данной работе решен на основе явного учета структуры  $^3\text{He}$  и использования известной параметризации адрон - нуклонного рассеяния. В работе выведены выражения для матричного элемента. В нем все интегралы берутся аналитически, что повышает точность теоретических расчетов сечения процесса. Разработанный формализм в дальнейшем может служить теоретической основой для его расширения на более общего случая – ядер с много кластерной структурой. На основе разработанного формализма планируется провести теоретический расчет характеристик конкретных процессов рассеяния адронов на ядре  $^7\text{Be}$  и их сравнения с имеющимися экспериментальными данными.

**Ключевые слова:** дифракционная теория Глаубера, кластерная структура легких ядер, адрон-нуклонная элементарная амплитуда, дифференциальное сечение, структура ядра  $^7\text{Be}$ , оператор рассеяния.

**Введение.** Для теоретического анализа упругого и неупругого рассеяния адронов на ядрах используются различные модели, такие как: метод связанных каналов, импульсное приближение с плоскими и искаженными волнами, релятивистское импульсное приближение, оптическая модель, теория многократного рассеяния Глаубера и т.д. Применение того или иного метода для анализа ядерных процессов зависит от многих факторов, в том числе от энергии налетающей частицы, от кинематики реакции и т.д. Рассеяния на ядре частицы, с энергией несколько сот МэВ на небольшие углы, очень хорошо описывается теорией многократного рассеяния Глаубера [1]. Теория Глаубера является признанным и надежным инструментом таких исследований и в настоящее время успешно используется для анализа различных упругих и неупругих процессов (см. например, одну из последних работ [2]). Преимущества ее по сравнению с другими феноменологическими моделями заключается вот в носительной простоте самой идеи модели, ясном физическом смысле используемых внешних параметров, в «микроскопичности» процесса рассеяния, позволяющем проследить за отдельными столкновениями налетающих частиц с нуклонами (или кластерами) ядра, возможности в рамках одной теории изучать процессы рассеяния разного типа частиц: протонов, антипротонов, мезонов и т.д.

Ранее данный метод нами был использован для теоретического исследования гало структуры таких экзотических ядер, как  $^6\text{He}$ ,  $^8\text{He}$ ,  $^8\text{Li}$  и  $^9\text{Li}$ [3,4]. В дальнейшем мы планируем применить эту теорию для

анализа недавнего эксперимента по рассеянию протонов на ядре  ${}^7\text{Be}$ , выполненной коллаборацией GSI-ПИЯФ (Германия-Россия) [5]. В связи с этим в данной работе разработан математический формализм для расчета дифференциальных сечений упругого  $p$ - ${}^7\text{Be}$ -рассеяния.

**Материалы и методы. Формализм.** Дифференциальное поперечное сечение в дифракционной теории определяется как квадрат модуля матричного элемента, просуммированного по всем проекциям спина ядра в начальном и конечном состояниях:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{2I+1} \sum_{M_i M_f} |M_{if}(q)|^2 \quad (1)$$

Здесь матричный элемент  $M_{if}(q)$  записывается следующим образом

$$M_{if}(\vec{q}) = \frac{ik}{2\pi} \int d\vec{\rho} d\vec{R}_{Be} \exp(i\vec{q}\vec{\rho}) \delta(\vec{R}_{Be}) \langle \Psi_f^{JM_f} | \Omega | \Psi_i^{JM_i} \rangle, \quad (2)$$

где  $\Psi_i^{JM_i}$  и  $\Psi_f^{JM_f}$  волновые функции ядра  ${}^7\text{Be}$  в начальных и конечных состояниях, в случае упругого рассеяния  $\Psi_i^{JM_i} = \Psi_f^{JM_f}$ ,  $\vec{R}_{Be}$  – координата центра масс ядра,  $\vec{\rho}$  – прицельный параметр, лежащий в плоскости, перпендикулярной к импульсу налетающей частицы,  $\vec{k}$  и  $\vec{k}'$  – импульсы налетающей и вылетевшей частицы в с.ц.м.,  $\vec{q} = \vec{k} - \vec{k}'$  переданный в реакции импульс, в случае упругого рассеяния  $q = 2k \sin(\frac{\theta}{2})$ , где  $\theta$  – угол рассеяния.

Ядро  ${}^7\text{Be}$  имеет ярко выраженную ( $\alpha$ - $\tau$ ) двух кластерную структуру. На это указывают многочисленные экспериментальные факты, в том числе небольшая энергия связи ( $E_{cb} = 1,59$  МэВ) в этом канале. В такой двух кластерной модели волновая функция имеет следующий вид

$$\Psi_{Be}^{JM} = (LM_L SM_S | JM_J) \Phi_\alpha \Phi_\tau \Phi_{\alpha\tau} X_{SM_S} \quad (3)$$

Здесь  $(LM_L SM_S | JM_J)$  – коэффициент Клебша-Гордана,  $\Phi_\alpha, \Phi_\tau, \Phi_{\alpha\tau}$  – внутренние волновые функции  $\alpha$ -частицы ит, и функция их относительного движения,  $X_{SM_S}$  – спиновая функция. В нашем рассмотрении  $\alpha$ -частицу считаем бесструктурной, а внутреннюю волновую функцию  $\tau$  брали из недавней работы [6]. Она имеет вид

$$\Phi_\tau(\vec{a}, \vec{b}) = \left( \frac{4\sqrt{3}\alpha}{\sqrt{\pi}} \right)^3 \exp \left[ -\alpha \left( \frac{3}{4} \vec{a}^2 + \vec{b}^2 \right) \right] \quad (4)$$

где  $\alpha = 0,383$  фм $^{-1}$ ,  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$  внутренние координаты Якоби. Расчеты, проведенные в [6] с этой функцией, хорошо воспроизводят экспериментальные данные по рассеянию протонов на  $\tau$  в интересующей нас кинематической области.

Для описания относительного движения двух кластеров в  ${}^7\text{Be}$  используем хорошо апробированную волновую функцию [7], полученную из решения уравнения Шредингера с потенциалом с запрещенными состояниями. Она разложена по гауссовому базису следующим образом

$$\Phi_{\alpha\tau}(\vec{R}) = R^L Y_{LM_L}(\hat{R}) \sum_i C_i \exp(-\alpha_i R^2), \quad (4)$$

где  $C_i$  и  $\alpha_i$  – вариационные параметры, которые приведены в [7],  $Y_{LM_L}(\hat{R})$  – сферическая функция,  $\vec{R}$  – координата относительного движения  $\alpha$  и  $\tau$  (Рис.1). Данная функция хорошо воспроизводит все статистические характеристики  ${}^7\text{Be}$  и она ранее была с успехом использована для анализа широкого класса ядерных задач с участием этого ядра.

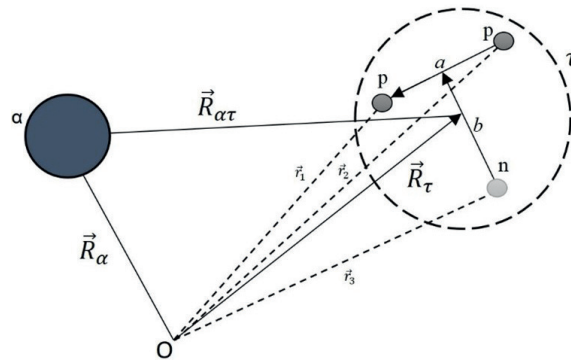


Рисунок 1. Координаты Якоби и одночастичные координаты ядра <sup>7</sup>Be.

Глауберовский оператор многократного рассеяния в общем виде записывается как знакопеременный ряд одно-, двух-, ..., A-кратных (где A-число нуклонов в ядре-мишени) соударений налетающей частицы с нуклонами ядра [1]:

$$\Omega = 1 - \prod_j^A ((1 - \omega_j(\vec{\rho} - \vec{\rho}_j))) =$$

$$= \sum_{j=1}^A \omega_j - \sum_{j<\mu} \omega_j \omega_\mu + \sum_{j<\mu<\nu} \omega_j \omega_\mu \omega_\nu + \dots (-1)^{A-1} \omega_1 \omega_2 \dots \omega_A$$

где  $\omega_j$  – функция «профиля» для нуклона, которая определена следующим образом:

$$\omega_j(\vec{\rho} - \vec{\rho}_j) = \frac{1}{2\pi i k} \int d^2 \vec{q} \exp[-i\vec{q}(\vec{\rho} - \vec{\rho}_j)] f_{pj}(q) \tag{6}$$

Здесь  $\vec{\rho}_j$  – двумерные (в плоскости перпендикулярной к импульсу налетающей частицы) координаты нуклонов ядра мишени. Элементарная амплитуда протон - нуклонного взаимодействия параметризуется гауссидой в стандартном виде [1]:

$$f_{pN}(q) = \frac{k\sigma_{pN}}{4\pi} (i + \varepsilon_{pN}) \exp\left(-\frac{\beta_{pN}}{2} q^2\right) \tag{7}$$

где  $\sigma_{pN}$  – полное сечение рассеяния протона с нуклонами,  $\beta_{pN}$  – параметр наклона конуса рассеяния,  $\varepsilon_{pN}$  – отношение действительной к мнимой части амплитуд элементарного pN-рассеяния. Их значения обычно подбирают из наилучшего описания независимых экспериментальных данных.

Так как мы используем ( $\alpha$ - $\tau$ ) двух кластерную волновую функцию для <sup>7</sup>Be, оператор рассеяния  $\Omega$  перепишем в альтернативной форме, в котором рассчитываются соударения с  $\alpha$ -кластером как бесструктурной частицей и с тремя нуклонами, входящими в состав виртуального  $\tau$ :

$$\Omega = \Omega_\alpha + \Omega_\tau - \Omega_\alpha \Omega_\tau \tag{8}$$

где  $\Omega_\alpha$  - оператор рассеяния на  $\alpha$ -кластере, как на бесструктурной частице,  $\Omega_\tau$  – на  $\tau$ -кластере,  $\Omega_\alpha \Omega_\tau$  – оператор двукратного рассеяния на обоих кластерах <sup>7</sup>Be.

В настоящее время в научной литературе отсутствует параметризация  $\tau$ -амплитуд, поэтому здесь мы рассеяние адронов на  $\tau$  будем рассматривать как рассеяние, происходящее на трех составляющих его нуклонах. В таком случае оператор рассеяния  $\Omega_\tau$  с учетом всех кратностей соударения запишется как:

$$\Omega_\tau = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 - \omega_1 \omega_2 - \omega_1 \omega_3 - \omega_2 \omega_3 + \omega_1 \omega_2 \omega_3, \tag{9}$$

где профильные функции  $\omega_i$  определены выражением (6). Подставив в (6) элементарную амплитуду (7) и проинтегрировав по  $d^2 \vec{q}$ , получим

$$\omega_j(\vec{\rho} - \vec{\rho}_j) = F_N \exp[-\alpha_N (\vec{\rho} - \vec{\rho}_j)^2] \tag{10}$$

Здесь  $F_N = \frac{k\sigma_{pN}}{4\pi ik\beta_{pN}}(i + \varepsilon_{pN})$ ,  $\alpha_N = \frac{1}{2\beta_{pN}}$

В настоящем формализме, как было сказано выше, мы рассматриваем виртуальную  $a$ -частицу как бесструктурную, поэтому  $pa$ -амплитуда записывается аналогично формуле (7) с заменой элементарной  $f_{pN}(q)$  амплитуды на  $f_{p\alpha}(q)$ . В работах [8, 9], в которых изучается рассеяние протонов на ядрах  $C^{12}$ ,  $O^{16}$ , волновые функции которых рассчитаны в  $a$ -частичных моделях, дается обоснование такой замены. В частности, там говорится, что данный подход имеет очевидные преимущества, поскольку можно считать, что ряд нетривиальных эффектов, связанных с учетом спинов нуклонов ядра-мишени, с различными нуклон-нуклонными корреляциями, ферми-движением нуклонов, многочастичными эффектами и т.д., которые трудно учесть в модели независимых частиц, «автоматически» включены в подогнанную под экспериментальные данные  $pa$ -амплитуду.

Тогда в соответствии с вышесказанным запишем:

$$\Omega_\alpha = \omega; (\vec{\rho} - \vec{\rho}_\alpha) = \frac{1}{2\pi ik} \int d^2\vec{q} \exp[-i\vec{q}(\vec{\rho} - \vec{\rho}_\alpha)] f_{p\alpha}(q) \quad (11)$$

Если мы хотим описать рассеяние протонов на  $a$ -частице в широком угловом и энергетическом диапазоне, то параметризация элементарной  $pa$ -амплитуды будет более сложной, чем  $pN$ , определяемой формулой (7). В этом случае более точной будет следующая параметризация:

$$f_{p\alpha}(q) = \frac{k\sigma_{p\alpha}}{4\pi} (i + \varepsilon_{p\alpha}) \left(1 - \frac{q^2}{t_1}\right) \left(1 - \frac{q^2}{t_2}\right) \exp\left(-\frac{\beta_{p\alpha}}{2} q^2\right), \quad (12)$$

где  $t_1$  и  $t_2$  комплексные числа, подгоняющая к экспериментальным данным положение минимумов и их глубину в упругом  $pa$ -рассеянии. Действительная часть этих чисел определяет положение, а мнимая часть – глубину минимумов.

Подставив в формулу (10) элементарную амплитуду (11) после интегрирования по  $d^2\vec{q}$ , получим

$$\Omega_\alpha = [A + B(\vec{\rho} - \vec{\rho})^2 + C(\vec{\rho} - \vec{\rho})^4] \exp\left[-\frac{(\vec{\rho} - \vec{\rho}_\alpha)^2}{2\beta_{p\alpha}}\right], \quad (12)$$

где

$$A = \frac{k\sigma_\alpha}{4\pi t_1 t_2 \beta_\alpha^3} (i + \gamma_\alpha) (t_1 t_2 \beta_\alpha^2 + 2(t_1 + t_2)\beta_\alpha + 8)$$

$$B = \frac{k\sigma_\alpha}{4\pi t_1 t_2 \beta_\alpha^4} (i + \gamma_\alpha) ((t_1 + t_2)\beta_\alpha + 8)$$

$$C = \frac{k\sigma_\alpha}{4\pi t_1 t_2 \beta_\alpha^5} (i + \gamma_\alpha)$$

Зная волновые функции (4), (5) и операторы рассеяния (9), (12), далее можно рассчитать матричные элементы (2). Так как волновые функции приведены в координатах Якоби, операторы также должны быть выражены в координатах Якоби. Для этого мы должны провести следующие преобразования координат в операторах

$$\{\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3, \vec{r}_4, \vec{r}_5, \vec{r}_6, \vec{r}_7\} \Rightarrow \{\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3; \vec{R}_\alpha\} \Rightarrow \{\vec{a}, \vec{b}, \vec{R}_\tau; \vec{R}_\alpha\} \Rightarrow \{\vec{a}, \vec{b}; \vec{R}_{\alpha\tau}; \vec{R}_{B\alpha}\}$$

В матричном элементе (2), благодаря присутствию  $\delta(\vec{R}_{B\alpha})$ - функции, интеграл по  $d\vec{R}_{B\alpha}$  берется тривиально. А в операторах рассеяния  $\Omega_\alpha$  и  $\Omega_\tau$  связь между одночастичными координатами и координатами Якоби следующий:

$$\vec{r}_1 = \frac{1}{2}\vec{a} + \frac{2}{3}\vec{b} - \frac{4}{7}\vec{R}_{\alpha\tau}$$

$$\vec{r}_2 = -\frac{1}{2}\vec{a} + \frac{2}{3}\vec{b} - \frac{4}{7}\vec{R}_{\alpha\tau}$$

$$\vec{r}_3 = -\frac{2}{3}\vec{b} - \frac{4}{7}\vec{R}_{\alpha\tau}$$



а также  $R_\alpha = \frac{3}{7} R_{\alpha\tau}$ . Далее для удобства обозначив  $R_{\alpha\tau} \equiv R$ , и подставив волновых функции (4) и (5) в (2) для матричного элемента, получим

$$M_{if}(\vec{q}) = C_0 \sum_{ij} C_{ij} \int d\vec{\rho} \exp(i\vec{q}\vec{\rho}) \exp(-\alpha_a \vec{a}^2 - \alpha_b \vec{b}^2 - \alpha_{ij} \vec{R}^2) \Omega \times \\ \sum_{M_L M_S M'_L M'_S} \left( 1M_L \frac{1}{2} M_S \left| \frac{3}{2} M_J \right. \right) \left( 1M'_L \frac{1}{2} M'_S \left| \frac{3}{2} M'_J \right. \right) \left\langle R Y_{1M_L}(\hat{R}) \left| R Y_{1M'_L}(\hat{R}) \right. \right\rangle \left\langle X_{\frac{1}{2}M_S} \left| X_{\frac{1}{2}M'_S} \right. \right\rangle d\vec{R} d\vec{a} d\vec{b}$$

В этом выражении, разложив сферические функции по гармоническим полиномам [10]:

$$r^l Y_{lm}(\theta, \varphi) = \sqrt{\frac{2l+1}{4\pi} (l+m)! (l-m)!} \sum_{p,q,r} \frac{1}{p!q!r!} \left(-\frac{x+iy}{2}\right)^p \left(\frac{x-iy}{2}\right)^q z^r \quad (13)$$

и производя суммирование по проекциям моментов, получим

$$\sum_{M_L M_S M'_L M'_S} \left( 1M_L \frac{1}{2} M_S \left| \frac{3}{2} M_J \right. \right) \left( 1M'_L \frac{1}{2} M'_S \left| \frac{3}{2} M'_J \right. \right) \left\langle R Y_{1M_L}(\hat{R}) \left| R Y_{1M'_L}(\hat{R}) \right. \right\rangle \left\langle X_{\frac{1}{2}M_S} \left| X_{\frac{1}{2}M'_S} \right. \right\rangle = \\ = \frac{1}{2\pi} (t_x R_x^2 + t_y R_y^2 + t_z R_z^2), \quad (14)$$

где  $t_x = 2 - \sqrt{3}$ ,  $t_y = 2 + \sqrt{3}$ ,  $t_z = 2$ .

Тогда для матричного элемента окончательно имеем

$$M_{if}(\vec{q}) = \frac{C_0}{2\pi} \sum_{ij} C_{ij} \int d\vec{\rho} \exp(i\vec{q}\vec{\rho}) \exp(-\alpha_a \vec{a}^2 - \alpha_b \vec{b}^2 - \alpha_{ij} \vec{R}^2) \times \\ \times (t_x R_x^2 + t_y R_y^2 + t_z R_z^2) (\Omega_\alpha + \Omega_\tau - \Omega_\alpha \Omega_\tau) d\vec{R} d\vec{a} d\vec{b} \quad (15)$$

Здесь все интегралы по  $d\vec{R}$ ,  $d\vec{a}$  и  $d\vec{b}$  берутся аналитически. Все аналитические вычисления в (15) были выполнены на основе программного пакета MAPLE. Мы здесь не приводим их из-за громоздкости.

**Результаты.** Основным результатом, полученной в данной работе, является разработанный математический формализм, который позволяет теоретически рассчитать характеристику упругого рассеяния протонов на ядре  ${}^7\text{Be}$  при промежуточных энергиях. Разработанный формализм позволил в расчетах использовать современные реалистические кластерные волновые функции, хорошо описывающие все статистические свойства данного ядра-мишени. В этих результатах также важными являются то, что все интегралы в матричном элементе берутся аналитически созданный формализм позволяет выделить вклады в сечение процесса от разных кратностей рассеяния.

**Обсуждение.** На основе разработанного формализма в дальнейшем в отдельной работе будет выполнен численный расчет сечения упругого  $p$  ${}^7\text{Be}$ -рассеяния, где будут тестироваться различные варианты волновых функции ядра-мишени, разные кратности рассеяния на  $\alpha$ - и  $\tau$ -кластерах в ядре и различные параметризации элементарных  $pN$ -,  $p\tau$ - и  $p\alpha$ -амплитуд. Результаты этих численных расчетов и их сравнения с данными эксперимента будут обсуждаться.

**Заключение.** В данной работе разработан математический формализм, позволяющий провести анализ и теоретический расчет дифференциальных поперечных сечений взаимодействия адронов с ядром  ${}^7\text{Be}$  с использованием ( $\alpha$ - $\tau$ )-двухкластерной волновой функции, полученной из численного решения уравнений Шредингера с глубокими реалистическими потенциалами с запрещенными состояниями. В матричном элементе рассеяния адронов на кластерах явно учтена внутренняя трех нуклонная структура  $\tau$ ( ${}^3\text{He}$ ). Это позволило обойти известную проблему, связанную с отсутствием в научной литературе параметризации элементарной адрон- $\tau$ ( ${}^3\text{He}$ ) амплитуды. Разработанный формализм очень гибкий и удобный для использования. Он позволяет исследовать все особенности как адрон-ядерного взаимодействия, так и структуры исследуемого ядра. Все интегралы в матричном элементе берутся аналитически, что существенно сокращает время численного расчета дифференциальных сечений.



Данная работа выполнена при поддержке гранта AP08855589 «Исследование взаимодействия адронов с легкими экзотическими ядрами в рамках теории Глаубера» Министерства образования и науки Республики Казахстан.

**Абдраманова Г.Б., Имамбек О., Белисарова Ф.Б.**

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: [onlas@mail.ru](mailto:onlas@mail.ru)

## **р<sup>7</sup>В СЕРПІМДІ ШАШЫРАУ ҚИМАСЫНЫҢ ЕСЕПТЕУЛЕРІ ҮШІН ГЛАУБЕР ТЕОРИЯНЫҢ НЕГІЗІНДЕГІ МАТЕМАТИКАЛЫҚ ФОРМАЛИЗМ**

**Аннотация:** бұл жұмыста Глаубердің көпретті шашырау дифракциялық теориясы шеңберінде аралық энергиялардағы адрондар (протондар, антипротондар, мезондар және т.б.) мен <sup>7</sup>Ве ядросының серпімді әсерлесудегі дифференциялық қимасын есептеуге арналған математикалық формализм құрылған. Құрылған формализмнің айрықша ерекшелігі – нысана ядроның (толқындық функцияның әр түрлі нұсқалары) құрылымдық ерекшеліктерін, сондай-ақ әр кластермен (әр түрлі шашырау еселіктері) атқылайтын бөлшектің өзара әрекеттесу динамикасын теориялық тұрғыдан зерттеуге мүмкіндік береді. Ғылыми әдебиетте τ(<sup>3</sup>He) кластерінде адрондардың шашырауының қарапайым амплитудасы үшін параметрлеудің жоқтығы туралы мәселе бұл жұмыста <sup>3</sup>He құрылымын нақты ескере отырып және адрон-нуклондық шашыраудың белгілі параметризациясын қолдану арқылы шешілген. Жұмыста матрицалық элемент үшін өрнектер шығарылды. Онда барлық интегралдар аналитикалық түрде алынады, бұл процесс қимасының теориялық есептеулерінің дәлдігін арттырады. Құрылған формализм кейінірек оны жалпы жағдайға – көп кластерлік құрылымы бар ядроларға кеңейтудің теориялық негізі бола алады. Әзірленген формализм негізінде адрондардың <sup>7</sup>Ве ядросында шашырауының нақты процестерінің сипаттамаларының теориялық есебін жүргізу және оларды қолда бар тәжірибелік мәліметтермен салыстыру жоспарлануда.

**Түйінді сөздер:** Глаубердің дифракциялық теориясы; жеңіл ядроларының кластерлік құрылымы; адрон-нуклондық элементар амплитудасы; дифференциалды қима; <sup>7</sup>Ве ядро құрылымы, шашырау операторы

**Abdramanova G.B., Imambek O., Belisarova F.B.**

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: [onlas@mail.ru](mailto:onlas@mail.ru)

## **MATHEMATICAL FORMALISM FOR CALCULATIONS OF THE ELASTIC p<sup>7</sup>Be SCATTERING CROSS SECTION IN THE FRAMEWORK OF GLAUBER THEORY**

**Abstract.** In this work, within the framework of the Glauber diffraction theory of multiple scattering, a mathematical formalism was developed for calculating the differential cross sections for the elastic interaction of hadrons (protons, antiprotons, mesons, etc.) with a <sup>7</sup>Be nucleus at intermediate energies. A distinctive feature of the developed formalism is that it allows one to theoretically investigate both the structural features of the target nucleus (different versions of the wave functions) and the dynamics of the interaction of an incident particle with each of the clusters (different scattering multiplicities). The question of the absence in the scientific literature of parametrization for the elementary amplitudes of hadron scattering on the τ(<sup>3</sup>He) cluster is solved in this work by explicitly taking into account the <sup>3</sup>He structure and using the well-known parametrization of hadron-nucleon scattering. In the work, expressions for the matrix element are derived. In it, all integrals are taken analytically, which increases the accuracy of theoretical calculations of the process cross section. The developed formalism can later serve as a theoretical basis for its extension to a more general case - nuclei with a multicluster structure. On the basis of the developed formalism, it is planned to carry out a theoretical calculation of the characteristics of specific processes of hadron scattering by a <sup>7</sup>Be nucleus and their comparison with the available experimental data.

**Key words:** Glauber's diffraction theory, cluster structure of light nuclei, hadron-nucleon elementary amplitude, differential section,  ${}^7\text{Be}$  nucleus structure, scattering operator.

**Information about authors:**

**Abdramanova G.B.** – PhD student of the Department of Theoretical and Nuclear Physics of Al-Farabi Kazakh National University. E-mail: gulbanua1995@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4722-141X>;

**Imambek O.** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Acting Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics of Al-Farabi Kazakh National University. Experience of scientific and pedagogical work over 40 years. Has 3 textbooks recommended by the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan for universities and more than 100 scientific papers published in rating journals. E-mail: onlas@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9207-7192>;

**Belisarova F.B.** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Acting Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics of Al-Farabi Kazakh National University. Experience of scientific and pedagogical work over 20 years. Has more than 30 scientific works, including one monograph and 4 textbooks in the kazakh languages. Farida.Belisarova@kaznu.kz; <https://orcid.org/0000-0003-0531-3818>.

## ЖИТЕПАТЫПА

[1] Glauber R.J. (1959) in Lecture in Theoretical Physics, ed. by W.E. Brittin, L.G. Dunham. Interscienc., New York, 1:315.

[2] Hatakeyama S., Horiuchi W. (2019) Complete Glauber calculations for proton-nucleus inelastic cross sections, Nuclear Physics A, 985:20-37. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2019.02.004> (in Eng.).

[3] Ibraeva E.T., Dhazairov-Kahramanov A.V., Imambekov O. (2013) Rescattering effects in proton interaction with light neutron rich nuclei, Nuclear Physics A, 915:142-157. DOI: [10.1016 / j.nuclphysa.2013.07.006](https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2013.07.006) (in Eng.).

[4] Ibraeva E., Imambekov O., Dhazairov-Kahramanov A. (2013) Calculation of the elastic  $p^6\text{He}$  and  $p^8\text{H}$  scattering in Glauber approximation, International Journal of Modern Physics E, 22:4:1350017. <https://doi.org/10.1142/S0218301313500171> (in Eng.).

[5] Dobrovolsky A.V., Korolev G.A., Inglessi A.G. (2019) Nuclear-matter distribution in the proton-rich nuclei  ${}^7\text{Be}$  and  ${}^8\text{B}$  from intermediate energy proton elastic scattering in inverse kinematics, Nuclear Physics A, 989:40-58. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2019.05.012> (in Eng.).

[6] Hassan M.A., Salama T.N.E., Yassan Z.S., Ismael A.M. (2019) Time-ordering effect in proton-nucleus elastic scattering, Indian J. Phys., 93:1069-1080. <https://doi.org/10.1007/s12648-018-01368-5> (in Eng.).

[7] Dubovichenko S.B. (2011) *Thermonuclear processes of the Universe*. Almaty, Fessenkov V.G. Astrophysical Institute "NCSRT" NSA RK, 402. ISBN 978-601-278-331-5 (in Russ.).

[8] Berezhnoy Yu.A., Mikhailyuk V.P., Pilipenko V.V. (1992) Elastic and inelastic intermediate-energy proton multiple scattering on  ${}^{12}\text{C}$  and  ${}^{16}\text{O}$  nuclei. Nuclear Physics, 55:7:1885-1894. <https://doi.org/10.1088/0954-3899/18/1/008> (in Russ.).

[9] Li Qing-Run, Zhou Jin-Li (1991) Proton-carbon elastic scattering in the intermediate energy range based on the  $\alpha$  particle model, Journ of Phys., 17:663-674. <https://doi.org/10.1088/0954-3899/17/5/013> (in Eng.).

[10] Varshalovich D.A., Moskalev A.N., Khersonskii V.K. (1975) Quantum Theory of Angular Momentum. Science, 439. ISBN 9789814415491 (in Russ.).

## REFERENCES

1. Glauber R.J. (1959) in Lecture in Theoretical Physics, ed. by W.E. Brittin, L.G. Dunham. Interscienc., New York, 1:315.
2. Hatakeyama S., Horiuchi W. (2019) Complete Glauber calculations for proton-nucleus inelastic cross sections, Nuclear Physics A, 985:20-37. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2019.02.004> (in Eng.).
3. Ibraeva E.T., Dhazairov-Kahramanov A.V., Imambekov O. (2013) Rescattering effects in proton interaction with light neutron rich nuclei, Nuclear Physics A, 915:142-157. DOI: [10.1016 / j.nuclphysa.2013.07.006](https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2013.07.006) (in Eng.).

4. Ibraeva E., Imambekov O., Dhazairov-Kahramanov A. (2013) Calculation of the elastic  $p^6\text{He}$  and  $p^8\text{H}$  scattering in Glauber approximation, *International Journal of Modern Physics E*, 22:4:1350017. <https://doi.org/10.1142/S0218301313500171> (in Eng.).
5. Dobrovolsky A.V., Korolev G.A., Inglessi A.G. (2019) Nuclear-matter distribution in the proton-rich nuclei  $^7\text{Be}$  and  $^8\text{B}$  from intermediate energy proton elastic scattering in inverse kinematics, *Nuclear Physics A*, 989:40-58. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2019.05.012> (in Eng.).
6. Hassan M.A., Salama T.N.E., Yassan Z.S., Ismael A.M. (2019) Time-ordering effect in proton-nucleus elastic scattering, *Indian J. Phys*, 93:1069-1080. <https://doi.org/10.1007/s12648-018-01368-5> (in Eng.).
7. Dubovichenko S.B (2011) *Thermonuclear processes of the Universe*. Almaty, Fessenkov V.G. Astrophysical Institute "NCSRT" NSA RK, 402. ISBN 978-601-278-331-5 (in Russ.).
8. Berezhnoy Yu.A., Mikhailyuk V.P., Pilipenko V.V.(1992) Elastic and inelastic intermediate-energy proton multiple scattering on  $^{12}\text{C}$  and  $^{16}\text{O}$  nuclei. *Nuclear Physics*, 55:7:1885-1894. <https://doi.org/10.1088/0954-3899/18/1/008>(in Russ.).
9. Li Qing-Run, Zhou Jin-Li (1991) Proton-carbon elastic scattering in the intermediate energy range based on the  $\alpha$  particle model, *Journ of Phys.*, 17:663-674. <https://doi.org/10.1088/0954-3899/17/5/013> (in Eng.).
10. Varshalovich D.A., Moskalev A.N., Khersonskii V.K.(1975) *Quantum Theory of Angular Momentum*. Science, 439. ISBN 9789814415491 (in Russ.).

## МАЗМҰНЫ

### ФИЗИКА

<b>Абуова Ф.У., Инербаев Т.М., Абуова А.У., Қаптағай Г.Ә., Мерәлі Н.</b> ВАНАДИЙМЕН ЛЕГИРЛЕНГЕН $Mn_2CoZ(Al/Ga)$ ҚОСПАСЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ, ЭЛЕКТРОНДЫҚ ЖӘНЕ МАГНИТТІК ҚАСИЕТТЕРІ.....	6
<b>Алдақұлов Е., Темірбек Ә.М., Муратов М.М., Молдабеков Ж., Рамазанов Т.С.</b> КРИОГЕНДІК ЖАҒДАЙДАҒЫ ТОЗАҢДЫ ПЛАЗМА БӨЛШЕКТЕРДІҢ ЖҰПТЫҚ КОРРЕЛЯЦИЯЛЫҚ ФУНКЦИЯСЫНА ТЕРМОФОРЕТИКАЛЫҚ КҮШНІҢ ӘСЕРІ.....	17
<b>Калжигитов Н.К., Василевский В.С., Такибаев Н.Ж., Курмангалиева В.О.</b> ${}^6Li$ ЯДРОСЫНДАҒЫ КЛАСТЕРЛІК ПОЛЯРИЗАЦИЯ ЭФФЕКТІЛЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	25
<b>Курбаниязов А.К., Сырлыбекқызы С., Джаналиева Н.Ш., Аккенжеева А.Ш., Кабылова А.Р.</b> ОРТА КАСПИЙДІҢ ТЕҢІЗ АҒЫНЫН МЕН ТЕРМОХАЛИН ҚҰРЫЛЫМЫН ТІКЕЛЕЙ ӨЛШЕУ...33	
<b>Мейрамбекұлы Н., Карибаев А.В., Темирбаев А.А.</b> ЖЕРДІ БАРЛАУШЫ КІШІ ҒАРЫШ АППАРАТТАРЫНА АРНАЛҒАН АНИЗАТРОПТЫ ФРАКТАЛДЫҢ ЕКІНШІ БУЫНЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН КӨПДИАПАЗОНДЫ АНТЕННА.....	42
<b>Мұсабек Г.Қ., Садықов Ғ.Қ., Бақтыгерей С.З., Задерко А.Н., Лесняк В.В.</b> ТЕРМОМЕТРИЯҒА АРНАЛҒАН ФОТО ЛЮМИНЦЕНЦИЯЛЫҚ НАНОМАТЕРИАЛДАР: КРЕМНИЙ ЖӘНЕ КӨМІРТЕКТІ НАНОБӨЛШЕКТЕР.....	54

### ИНФОРМАТИКА

<b>Джусупбекова Г.Т., Жидебаева А.Н., Изтаев Ж.Д., Шаймерденова Г.С., Тастанбекова Б.О.</b> DELPHI ОРТАСЫНДА «БАНК ЖҮЙЕСІНДЕГІ НЕСИЕЛЕР МЕН ДЕПОЗИТТЕРДІ АВТОМАТТАНДЫРУ» ЖҰМЫС ОРЫНДАРЫН ҚҰРУ.....	61
<b>Ерасыл К., Ахметов И., Джаксылықова А.</b> KASPI ӨНІМДЕРІ ТУРАЛЫ ПІКІРЛЕРДЕГІ КӨҢІЛ-КҮЙДІ ТАЛДАУ.....	68
<b>Мауленов Қ.С., Кудубаева С.А.</b> НААР, НОГ, CNN БЕТ ДЕТЕКТОРЛАРЫН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ.....	74
<b>Сейлова Н.А., Журынтаев Ж.З., Мамырбаев О.Ж., Батыргалиев А.Б., Тұрдалыұлы М.</b> ПСЕВДО КЕЗДЕЙСОҚ ИМПУЛЬСТАР ТІЗБЕГІНІҢ САНДЫҚ ГЕНЕРАТОРЛАРЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ CAD QUARTUS II ОРТАСЫНДА FPGA КӨМЕГІМЕН МОДЕЛЬДЕУ.....	83
<b>Сымагулов А., Кучин Я., Елис М., Жумабаев А., Абдуразаков А.</b> МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫҢ ҚАРА ЖӘШІКТЕРІН ТҮСІНДІРУ ӘДІСТЕРІ ЖӘНЕ ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУДЫ ҚОЛДАУ ЖҮЙЕЛЕРІН ҚҰРУ ҮШІН ОЛАРДЫ ҚОЛДАНУ.....	91
<b>Усатова О.А., Бегимбаева Е.Е., Нысанбаева С.Е., Усатов Н.С.</b> ХЕШ ФУНКЦИЯ ӘДІСТЕРІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ПРАКТИКАЛЫҚ ҚОЛДАНУ.....	100

### МАТЕМАТИКА

<b>Абдраманова Г.Б., Имамбек О., Белисарова Ф.Б.</b> $p^7B$ СЕРПИМДІ ШАШЫРАУ ҚИМАСЫНЫҢ ЕСЕПТЕУЛЕРІ ҮШІН ГЛАУБЕР ТЕОРИЯНЫҢ НЕГІЗІНДЕГІ МАТЕМАТИКАЛЫҚ ФОРМАЛИЗМ.....	111
<b>Адилова А.Қ., Жүзбаев С.С., Ахметжанова Ш.Е.</b> КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ МАТЕРИАЛДАР ҚҰРЫЛЫМЫ ЖӘНЕ КОМПОЗИТТЕР МЕХАНИКАСЫНЫҢ ЕСЕПТЕРІ.....	119
<b>Иванов К.С., Тулекенова Т.Д.</b> ТҮЙІСУ МЕХАНИЗІМІНІҢ БЕЙІМДЕЛГЕН ЖЕТЕГІНІҢ ДИНАМИКАСЫ.....	131
<b>Исраилова С.Т., Муханова А.А., Сатыбалдиева А.Ж.</b> ТЕҢГЕРІМДІ КӨРСЕТКІШТЕР ЖҮЙЕСІ БОЙЫНША КӘСІПОРЫННЫҢ БИЗНЕС ПРОЦЕСТЕРІНІҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ АЛГОРИТМІ.....	137
<b>Оразбаев Б.Б., Жумадилаева А.К., Дюсекеев К.А., Сантеева С.Ә., Xiao-Guang Yue</b> ЖҮЙЕЛІК ТӘСІЛДЕМЕ НЕГІЗІНДЕ ЛГ-35-11/300-95 ҚОНДЫРҒЫСЫНЫҢ БЕНЗИНДІ РИФОРМИНГТЕУ РЕАКТОРЛАРЫНЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРІН ҚҰРУ.....	145

## СОДЕРЖАНИЕ

### ФИЗИКА

<b>Абуова Ф.У., Инербаев Т.М., Абуова А.У., Каптагай Г.А., Мерәлі Н.</b> СТРУКТУРНЫЕ, ЭЛЕКТРОННЫЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА $Mn_2CoZ(Al/Ga)$ ПРИ ЛЕГИРОВАНИИ ВАНАДИЕМ.....	6
<b>Алдакулов Е., Темірбек Ә.М., Муратов М.М., Молдабеков Ж., Рамазанов Т.С.</b> ВЛИЯНИЕ СИЛЫ АТОМНОГО УВЛЕЧЕНИЯ НА ПАРНУЮ КОРРЕЛЯЦИОННУЮ ФУНКЦИЮ ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЫ В КРИОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....	17
<b>Калжигитов Н.К., Василевский В.С., Такибаев Н.Ж., Курмангалиева В.О.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ КЛАСТЕРНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ В ЯДРЕ ${}^6Li$ .....	25
<b>Курбаниязов А.К., Сырлыбеккызы С., Джаналиева Н.Ш., Аккенжеева А.Ш., Кабулова А.</b> ПРЯМОЕ ИЗМЕРЕНИЕ МОРСКОГО ТЕЧЕНИЯ И ТЕРМОХАЛИНОВОЙ СТРУКТУРЫ СРЕДНЕГО КАСПИЯ.....	33
<b>Мейрамбекұлы Н., Карибаев Б.А., Темирбаев А.А.</b> МНОГОДИАПАЗОННАЯ АНТЕННА НА БАЗЕ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ АНИЗОТРОПНОГО ФРАКТАЛА ДЛЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ.....	42
<b>Мусабек Г.К., Садыков Г.К., Бактыгерей С.З., Задерко А.Н., Лесняк В.В.</b> ФОТОЛЮМИНЦЕНТНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕРМОМЕТРИИ: КРЕМНИЙ И УГЛЕРОДНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ.....	54

### ИНФОРМАТИКА

<b>Джусупбекова Г.Т., Жидебаева А.Н., Изтаев Ж.Д., Шаймерденова Г.С., Тастанбекова Б.О.</b> СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ ДЛЯ «КРЕДИТОВАНИЕ И ДЕПОЗИТЫ В БАНКОВСКОЙ СИСТЕМЕ» В СРЕДЕ DELPHI.....	61
<b>Ерасыл К., Ахметов И., Джаксылыкова А.</b> ТОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОТЗЫВОВ О ТОВАРАХ KASPI.....	68
<b>Мауленов Қ.С., Кудубаева С.А.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДЕТЕКТОРОВ ЛИЦ HAAR, HOG, CNN.....	74
<b>Сейлова Н.А., Джурунтаев Д.З., Мамырбаев О.Ж., Батыргалиев А.Б., Тұрдалыұлы М.</b> ЦИФРОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСОВ И ИХ МОДЕЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛИС В СРЕДЕ САПР QUARTUSII.....	83
<b>Сымагулов А., Кучин Я., Елис М., Жумабаев А., Абдуразаков А.</b> МЕТОДЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЧЕРНЫХ ЯЩИКОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ.....	91
<b>Усатова О.А., Бегимбаева Е.Е., Нысанбаева С.Е., Усатов Н.С.</b> АНАЛИЗ МЕТОДОВ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ХЕШ-ФУНКЦИЙ.....	100

### МАТЕМАТИКА

<b>Абдраманова Г.Б., Имамбек О., Белисарова Ф.Б.</b> МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФОРМАЛИЗМ ДЛЯ РАСЧЕТОВ СЕЧЕНИЯ УПРУГОГО $p^7Be$ -РАССЕЯНИЯ В РАМКАХ ТЕОРИИ ГЛАУБЕРА.....	111
<b>Адилова А.К., Жузбаев С.С., Ахметжанова Ш.Е.</b> СТРУКТУРА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА И ЗАДАЧИ МЕХАНИКИ КОМПОЗИТОВ..	119
<b>Иванов К.С., Тулекенова Т.Д.</b> ДИНАМИКА АДАПТИВНОГО ПРИВОДА СТЫКОВОЧНОГО МЕХАНИЗМА.....	131
<b>Исраилова С.Т., Муханова А.А., Сатыбалдиева А.Ж.</b> СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СБАЛАНСИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ.....	137
<b>Оразбаев Б.Б., Жумадилаева А.К., Дюсекеев К.А., Сантеева С.А., Xiao-Guang Yue</b> РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РЕАКТОРОВ РИФОРМИНГА БЕНЗИНА УСТАНОВКИ ЛГ-35-11/300-95 НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА.....	145



## CONTENTS

### PHYSICS

<b>Abuova F., Inerbaev T., Abuova A., Kaptagay G., Merali N.</b> STRUCTURAL, ELECTRONIC AND MAGNETIC PROPERTIES OF VANADIUM DOPED Mn <sub>2</sub> CoZ(Al/Ga).....	6
<b>Aldakulov Ye., Temirbek A.M., Muratov M.M., Moldabekov Z., Ramazanov T.S.</b> INFLUENCE OF THE NEUTRAL SHADOWING FORCE ON THE PAIR CORRELATION FUNCTION OF THE DUSTY PLASMA UNDER CRYOGENIC CONDITIONS.....	17
<b>Kalzhitov N., Vasilevsky V.S., Takibayev N. Zh., Kurmangaliyeva V.O.</b> A STUDY OF THE EFFECTS OF CLUSTER POLARIZATION IN THE 6Li NUCLEUS.....	25
<b>Kurbaniyazov A.K., Syrlybekkyzy S., Janaliyeva N.Sh., Akkenzheyeva A., Kabylova A.</b> DIRECT MEASUREMENT OF SEA CURRENTS AND THERMOHALINE STRUCTURE OF THE MIDDLE CASPIAN.....	33
<b>Meirambekuly N., Karibayev B.A., Temirbayev A.A.</b> MULTI-BAND ANTENNA BASED ON THE SECOND GENERATION OF ANISOTROPIC FRACTAL FOR SMALL REMOTE SENSING AND EARTH OBSERVING SPACECRAFTS.....	42
<b>Mussabek G.K., Sadykov G.K., Baktygeray S.Z., Zaderko A.N. Lisnyak V.V.</b> PHOTOLUMINESCENT NANOMATERIALS FOR THERMOMETRY: SILICON AND CARBON NANOPARTICLES.....	54

### COMPUTER SCIENCE

<b>Jussupbekova G.T., Zhidebayeva A.N., Iztayev Zh.D., Shaimerdenova G.S., Tastanbekova B.O.</b> CREATION OF AUTOMATED JOBS FOR "LOANS AND DEPOSITS IN THE BANKING SYSTEM" IN THE DELPHI ENVIRONMENT.....	61
<b>Yerassyl K., Akhmetov I, Jaxylykova A.</b> SENTIMENT ANALYSIS OF KASPI PRODUCT REVIEWS.....	68
<b>Maulenov K.S., Kudubaeva S.A.</b> COMPARATIVE ANALYSIS OF FACE DETECTORS HAAR, HOG, CNN.....	74
<b>Seilova N.A., Dzhuruntaev D.Z., Mamyrbayev O.Zh., Batyrgaliev A.B., Turdalyuly M.</b> DIGITAL GENERATORS OF A PSEUDORANDOM PULSES SEQUENCE AND THEIR MODELING WITH USE OF FPGA IN THE ENVIRONMENT CAD QUARTUS II.....	83
<b>Symagulov A., Kuchin Ya., Yelis M., Zhumabayev A., Abdurazakov A.</b> METHODS FOR INTERPRETING MACHINE LEARNING BLACK BOXES AND THEIR APPLICATION TO DECISION SUPPORT SYSTEMS.....	91
<b>Ussatova O., Begimbayeva Ye., Nyssanbayeva S., Ussatov N.</b> ANALYSIS OF METHODS AND PRACTICAL APPLICATION OF HASH FUNCTIONS.....	100

### MATHEMATICS

<b>Abdramanova G.B., Imambek O., Belisarova F.B.</b> MATHEMATICAL FORMALISM FOR CALCULATIONS OF THE ELASTIC p <sub>7</sub> Be SCATTERING CROSS SECTION IN THE FRAMEWORK OF GLAUBER THEORY.....	111
<b>Adilova A.K., Zhuzbayev S.S., Akhmetzhanova S.E.</b> COMPOSITE MATERIAL STRUCTURE AND PROBLEMS OF COMPOSITE MECHANICS.....	119
<b>Ivanov K.S., Tulekenova T.D.</b> DYNAMICS OF THE ADAPTIVE DRIVE OF THE DOCKING MECHANISM.....	131
<b>Israilova S., Mukhanova A., Satybaldiyeva A.</b> MODERN METHODS FOR EVALUATING BUSINESS PROCESSES OF AN ENTERPRISE USING A BALANCED SCORECARD.....	137
<b>Orazbayev B., Zhumadillayeva A., Dyussekeyev K., Santeyeva S., Xiao-Guang Yue</b> DEVELOPMENT MATHEMATICAL MODELS OF PETROL REFORMING REACTORS OF THE LG-35-11 / 300-95 INSTALLATION BASED ON A SYSTEM APPROACH.....	145



**Publication Ethics and Publication Malpractice in  
the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

**[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)**

**<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>**

**ISSN 2518-1726 (Online),  
ISSN 1991-346X (Print)**

Редакторы: *М.С. Ахметова, А. Ботанқызы, Д.С. Аленов, Р.Ж. Мрзабаева*  
Верстка на компьютере *Г.Д. Жадыранова*

Подписано в печать 15.10.2021.  
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.  
4,6 п.л. Тираж 300. Заказ 5.