

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
Қазақстан Республикасының Ғылым Академиясы
Қазақ ұлттық университетінің
әл-Фараби атындағы

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/>

NEWS

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

Volume 5, Number 339 (2021), 25–32

<https://doi.org/10.32014/2021.2518-1726.81>

УДК 539.141/.142

МРНТИ 29.15.03; 29.15.19

Калжигитов Н.К.^{1*}, Василевский В.С.², Такибаев Н.Ж.¹, Курмангалиева В.О.¹

¹Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

²Институт теоретической физики им.Н.Н. Боголюбова НАН Украины, Киев, Украина.

E-mail: knurto1@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ КЛАСТЕРНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ В ЯДРЕ ${}^6\text{Li}$

Аннотация. Цель данной работы – исследование природы резонансных состояний в ядре ${}^6\text{Li}$, а также изучение эффектов кластерной поляризации на спектр связанных и резонансных состояний. Кластерная поляризация связана с изменением размеров и формы кластеров (взаимодействующих ядер) при их сближении. Для достижения поставленных целей привлекается микроскопическая трех кластерная модель. В этой модели учтены две трех кластерные конфигурации: ${}^4\text{He}+p+n$ и ${}^3\text{H}+d+p$, которые затем были спроектированы на четыре бинарных канала: ${}^4\text{He}+d$, ${}^5\text{He}+p$, ${}^5\text{Li}+n$ и ${}^3\text{H}+{}^3\text{He}$. Указанные трех кластерные конфигурации позволили более точно описать внутреннюю структуру исследуемых кластеров: d , ${}^5\text{He}$, ${}^5\text{Li}$ и ${}^3\text{He}$, а также учесть их поляризуемость. Расчеты спектра ядра ${}^6\text{Li}$ выполнены с парным, полуреалистичным нуклон-нуклонным потенциалом Миннесоты, который содержит центральную и спин-орбитальную компоненты. Главными достоинствами используемой модели является: учет принципа Паули, более точное описание внутренней структуры взаимодействующих двух кластерных подсистем и сведение уравнения Шредингера к системе линейных алгебраических уравнений.

В результате, было показано, что используемая модель хорошо воспроизводит спектр низколежащих состояний атомного ядра ${}^6\text{Li}$. Установлено, что кластерная поляризация сильно влияет на структуру связанного и резонансных состояний, заметно изменяет их энергию и ширину. Определена иерархия учитываемых каналов по степени их влияния на энергию связанного состояния, а также на энергию и ширину узкого 3^+ резонансного состояния. На примере взаимодействия ${}^4\text{He}$ и d , явно показана поляризуемость дейтрона (т.е. изменение его размеров) при его приближении к ядру ${}^4\text{He}$.

Ключевые слова: кластерная модель, поляризация, резонансные состояния, амплитуда Фаддеева.

Введение. Рассматриваемое в данной работе ядро ${}^6\text{Li}$ является крайне интересным объектом для экспериментальных и теоретических методов. В различных экспериментах установлено, что ${}^6\text{Li}$ имеет одно связанное состояние и несколько резонансных состояний как положительной, так и отрицательной четности. Удивительный факт – резонансы положительной четности имеют малую энергию и сконцентрированы близко к порогу развала ядра на альфа-частицу и дейтрон, а состояния отрицательной четности имеют большую энергию (более 17 МэВ над основным состоянием), и находятся выше порога развала ${}^6\text{Li}$ по каналу ${}^3\text{H} + {}^3\text{He}$. Интерес к ядру ${}^6\text{Li}$, его изотопам и к реакциям с их участием вызван также, и так называемой космологической проблемой лития. Эта проблема как и проблема солнечных нейтрино вызвана большим отличием теоретических оценок от экспериментальных данных. Полученные со спутников и телескопов современные экспериментальные данные [1] для количества ядер ${}^7\text{Li}$ в бедных металлами звездах оказались в 3 раза ниже, чем предполагает теория первичного нуклеосинтеза [2].

Эти факты служат мощным стимулом для развития экспериментальных и теоретических методов и их применения для исследования свойств легких ядер и различных ядерных реакций. Эти факты также стимулировали нас модифицировать микроскопический метод [3] исследования много кластерных и многоканальных систем, а также применить её для теоретического анализа резонансных

состояний ядра ${}^6\text{Li}$ и ядерных реакций, протекающих через него. Модифицированный метод – это трех кластерная версия метода резонирующих групп, которая привлекает квадратично-интегрируемые базисы функций (гауссовский и осцилляторный) для разложения волновых функций относительного движения кластеров. Главная особенность этого метода состоит в том, что, стартуя с трехкластерных конфигураций, он приходит к системе бинарных каналов, а один из фрагментов бинарного канала рассматривается как двухкластерная система. Это позволяет, с одной стороны, более точно описывать внутреннюю структуру такого фрагмента и, с другой стороны – учитывать кластерную поляризацию, и изучать её эффекты. Поляризация ядра, в том числе и кластерная, проявляется в том, что ядро изменяет свою форму и размеры при взаимодействии с другим ядром. Изучение влияния кластерной поляризации на структуру ядра ${}^6\text{Li}$ – одна из главных целей данной работы.

В рамках модифицированного метода для изучения ядра ${}^6\text{Li}$ привлекаются две трех кластерные конфигурации: ${}^4\text{He}+p+n$ и ${}^3\text{H}+d+n$. Эти конфигурации имеют минимальную энергию порога среди других трех кластерных конфигураций, и они позволяют учесть все бинарные каналы ядра ${}^6\text{Li}$, а именно ${}^4\text{He}+d$, ${}^5\text{He}+p$, ${}^5\text{Li}+n$ и ${}^3\text{H}+{}^3\text{He}$. С их помощью можно изучать состояния ${}^6\text{Li}$ в широком интервале энергий. Однако в данной работе мы ограничимся изучением структуры низколежащих состояний ядра ${}^6\text{Li}$ как основного состояния и резонансов положительной четности.

Структура данной статьи. Во втором разделе кратко сформулированы основные идеи используемого модифицированного метода. В третьем разделе обсуждаются результаты расчетов, в которых показано, насколько велики эффекты кластерной поляризации для связанных и резонансных состояний. В четвертом разделе проведено сравнение наших результатов с результатами других методов, а также с экспериментальными данными. Итоги изучения структуры низколежащих состояний ядра ${}^6\text{Li}$ подведены в разделе «Заключение».

Основы метода AMGОВ. Для реализации намеченных планов мы модифицировали микроскопическую трех кластерную модель, которая была сформулирована в работе [3] и для которой используется сокращение AMGОВ. В этой и последующих работах в данной модели привлекалась только одна трех кластерная конфигурация, которая затем проектировалась на три бинарных канала. Для описания ядра ${}^6\text{Li}$ в широком интервале энергий мы вынуждены были использовать две трех кластерные конфигурации: ${}^4\text{He}+p+n$ и ${}^3\text{H}+d+p$. Первая конфигурация ${}^4\text{He}+p+n$ порождает три бинарных канала: $\alpha+d$, ${}^5\text{He}+p$ и ${}^5\text{Li}+n$. Вторая трех кластерная конфигурация ${}^3\text{H}+d+p$ создает тоже три бинарных канала: $\alpha+d$, ${}^5\text{He}+p$, ${}^3\text{H}+{}^3\text{He}$, два из которых уже созданы первой трех кластерной конфигурацией. Таким образом, привлекая две трех кластерные конфигурации, мы получаем в наше распоряжение четыре бинарных канала: $\alpha+d$, ${}^5\text{He}+p$, ${}^5\text{Li}+n$ и ${}^3\text{H}+{}^3\text{He}$. Эти бинарные каналы позволяют нам изучать структуру основного и возбужденных состояний, а также разные процессы в широком интервале энергий.

Так как мы вовлекаем две трех кластерные конфигурации, волновая функция ${}^6\text{Li}$ аппроксимируется следующим выражением:

$$\Psi^J = \sum_{\alpha, \lambda_{\alpha}^I, L_1} A \left[\left[\Phi_1({}^4\text{He}) \Phi_2(p) \Phi_3(n) \right]_{S_1} \times f_{\lambda_{\alpha}^I, L_1}^{(1)}(x_{\alpha}^{(1)}, y_{\alpha}^{(1)}) Y_{\lambda_{\alpha}^I, L_1}(\mathbf{x}_{\alpha}, \mathbf{y}_{\alpha}) \right] + \sum_{\alpha, \lambda_{\alpha}^I, L_1} A \left[\left[\Phi_1({}^3\text{H}) \Phi_2(d) \Phi_3(p) \right]_{S_2} \times f_{\lambda_{\alpha}^I, L_2}^{(2)}(x_{\alpha}^{(2)}, y_{\alpha}^{(2)}) Y_{\lambda_{\alpha}^I, L_2}(\mathbf{x}_{\alpha}, \mathbf{y}_{\alpha}) \right] \quad (1)$$

где верхние индексы $p = (1)$ и $p = (2)$ различают два трех кластерных разбиения: $\alpha + p + n$ и $t + d + p$, соответственно индекс α ($\alpha = 1, 2, 3$) нумерует различные деревья векторов Якоби внутри данного разбиения. Векторы Якоби определены следующими уравнениями:

$$\mathbf{x}_{\alpha} = \sqrt{\frac{A_{\beta} A_{\gamma}}{A_{\beta} + A_{\gamma}}} \left(\frac{1}{A_{\beta}} \sum_{j \in A_{\beta}} \mathbf{r}_j - \frac{1}{A_{\gamma}} \sum_{k \in A_{\gamma}} \mathbf{r}_k \right),$$

$$\mathbf{y}_{\alpha} = \sqrt{\frac{A_{\alpha} (A_{\beta} + A_{\gamma})}{A_{\beta} + A_{\beta} + A_{\gamma}}} \left(\frac{1}{A_{\alpha}} \sum_{i \in A_{\alpha}} \mathbf{r}_i - \frac{1}{A_{\beta} + A_{\gamma}} \left[\sum_{j \in A_{\beta}} \mathbf{r}_j + \sum_{k \in A_{\gamma}} \mathbf{r}_k \right] \right) \quad (2)$$

Волновые функции $\Phi_1({}^4\text{He})$, $\Phi_1({}^3\text{H})$ и $\Phi_2(d)$ – это антисимметричные, трансляционно-инвариантные волновые функции много частичной модели оболочек, которые описывают внутрен-

ную структуру соответствующих кластеров и содержат координатную, и спин-изоспиновую части. Что касается волновых функций протонов и нейтронов $\Phi_2(p)$ и $\Phi_3(n)$ то они содержат только спин-изоспиновую часть. Оператор антисимметризации A обеспечивает антисимметрию волновых функций двух- и трех кластерных систем.

Заметим, что радиальная часть амплитуд Фадеева $f_{\lambda_\alpha l_\alpha L_1}(x_\alpha, y_\alpha)$ описывает взаимное движение кластеров, аугловая часть:

$$Y_{\lambda_\alpha l_\alpha L_1}(\mathbf{x}_\alpha, \mathbf{y}_\alpha) = \left\{ Y_{\lambda_\alpha}(\mathbf{x}_\alpha) \cdot Y_{l_\alpha}(\mathbf{y}_\alpha) \right\}_{L_1} \quad (3)$$

где $Y_{\lambda_\alpha}(\mathbf{x}_\alpha) \cdot Y_{l_\alpha}(\mathbf{y}_\alpha)$ - сферические функции, описывающие вращения кластеров спарциальными орбитальными моментами λ_α и l_α , а также с полным орбитальным моментом L_1 . Каждая амплитуда Фадеева, а с ней и векторы Якоби приспособлены для описания определенного бинарного канала, в котором кластеры A_β и A_γ образуют связанное или псевдо связанное состояние, и на нем рассеивается третий кластер A_α .

Чтобы свести трех кластерные конфигурации к множеству бинарных каналов, мы используем следующее приближение для радиальных частей амплитуд Фадеева:

$$f_{\lambda_\alpha l_\alpha L}(x_\alpha, y_\alpha) = \sum_{\xi_\alpha} \mathcal{G}_{\xi_\alpha, \lambda_\alpha}(x_\alpha) \phi_{E_\alpha, l_\alpha, L}(y_\alpha) \quad (4)$$

где $\mathcal{G}_{\xi_\alpha, \lambda_\alpha}(x_\alpha)$ - волновая функция относительного движения двух кластеров с энергией ξ_α ; $\phi_{E_\alpha, l_\alpha, L}(y_\alpha)$ - волновая функция движения третьего кластера относительно центра масс двух кластерной подсистемы с энергией E_α . Очевидно, что полная энергия E трех кластерной системы (отсчитываемая от энергии трех кластерного порога) равна $E = \xi_\alpha + E_\alpha$. Суммирование (интегрирование) в уравнении (4) выполняется по энергии связанных (непрерывный спектр) состояний двух кластерной системы.

Отметим, что волновая функция $\mathcal{G}_{\xi_\alpha, \lambda_\alpha}(x_\alpha)$ является решением двух кластерного уравнения метода резонирующей группы (RGM) (подробности см. в работе [4]), а $\phi_{E_\alpha, l_\alpha, L}(y_\alpha)$ - решением уравнения редуцированное трех кластерное уравнение RGM. В таком приближении (4) трех кластерная волновая функция (1) ${}^6\text{Li}$ может быть представлена в виде набора волновых функций двоичных каналов:

$$\Psi^J = \sum_{\alpha, \lambda_\alpha l_\alpha, L_1} \sum_{\xi_\alpha} \int A_\alpha \left\{ \psi_{\xi_\alpha, \lambda_\alpha}^{(1)}(A_\beta^{(1)} + A_\gamma^{(1)}) \Phi_\alpha(A_\alpha^{(1)}) \times \phi_{E_\alpha, l_\alpha, L}^{(1)}(y_\alpha^{(1)}) Y_{\lambda_\alpha l_\alpha L_1}(\mathbf{x}_\alpha^{(1)}, \mathbf{y}_\alpha^{(1)}) \right\}_J + \\ + \sum_{\alpha, \lambda_\alpha l_\alpha, L_2} \sum_{\xi_\alpha} \int A_\alpha \left\{ \psi_{\xi_\alpha, \lambda_\alpha}^{(2)}(A_\beta^{(2)} + A_\gamma^{(2)}) \Phi_\alpha(A_\alpha^{(2)}) \times \phi_{E_\alpha, l_\alpha, L}^{(2)}(y_\alpha^{(2)}) Y_{\lambda_\alpha l_\alpha L_2}(\mathbf{x}_\alpha^{(2)}, \mathbf{y}_\alpha^{(2)}) \right\}_J, \quad (5)$$

где $\psi_{\xi_\alpha, \lambda_\alpha}^{(p)}(A_\beta^{(p)} + A_\gamma^{(p)})$ является антисимметричной функцией двух кластерной подсистемы

$$\psi_{\xi_\alpha, \lambda_\alpha}^{(p)}(A_\beta^{(p)} + A_\gamma^{(p)}) = A_{\beta\gamma} \left\{ \left[\Phi_\beta(A_\beta^{(p)}) \Phi_\gamma(A_\gamma^{(p)}) \right] \mathcal{G}_{\xi_\alpha, \lambda_\alpha}(x_\alpha) Y_{\lambda_\alpha}(\mathbf{x}_\alpha) \right\}_{J_\alpha} \quad (6)$$

Для численных исследований состояний ${}^6\text{Li}$ мы используем конечное число N_G гауссовских функций для разложения волновых функций $\mathcal{G}_{\xi_\alpha, \lambda_\alpha}(x_\alpha)$ двух кластерных подсистем и конечное число N_O осцилляторных функций для разложения волновых функций $\phi_{E_\alpha, l_\alpha, L}(y_\alpha)$ движения третьего кластера. Используя N_G гауссовских функций, мы получаем N_G собственных состояний двух кластерного гамильтониана. Для дейтрона и ${}^3\text{He}$, рассматриваемых как двух кластерные системы, мы получаем одно связанное состояние и $N_G - 1$ псевдосвязанные состояния. Поскольку ядра ${}^5\text{He}$ и ${}^5\text{Li}$ не имеют связанных состояний, гауссовский базис порождает псевдосвязанные состояния N_G . Осцилляторный базис позволяет нам реализовать подходящие граничные условия и исследовать состояния ${}^6\text{Li}$ как дискретного, так и с непрерывного спектра. Явный вид уравнений для волновых функций двух кластерных подсистем и для составных трех кластерных систем в дискретном и непрерывном представлениях можно найти в работах [5, 6].

Результаты расчетов. При проведении расчетов нами был использован полу реалистичный нуклон-нуклонный потенциал, который известен как потенциал Миннесоты [7, 8]. Выбранный нуклон-нуклонный потенциал содержит центральную и спин-орбитальную компоненты, он хорошо воспроизводит энергию связи дейтрона и фазы рассеяния нуклона на нуклоне. Кроме этого, этот потенциал часто используется в много кластерных расчетах. Это позволит нам более предметно сравнивать результаты нашей модели с результатами других альтернативных моделей.

Выбрав нуклон-нуклонный потенциал, мы затем определяем осцилляторный радиус – единственный параметр модели. Он одинаков для всех кластеров и определяет плотность распределения нуклонов в каждом кластере, состоящем из двух и более нуклонов. В данных расчетах осцилляторный радиус был выбран $b = 1.285$ fm, это значение b дает минимальную энергию альфа-частицы с потенциалом Миннесоты. Два параметра – интенсивность обменных сил u и интенсивность спин-орбитального взаимодействия f_{LS} этого потенциала часто используется как подгоночные параметры. В наших расчетах мы используем такие значения этих параметров: $u = 0.863$ и $f_{LS} = 1.123$. Они позволяют с хорошей точностью описать связанное состояние ядра ${}^6\text{Li}$: $E_0 = -1.474$ МэВ.

Проводимые расчеты велись в два этапа: с учетом кластерной поляризации (P) и без её учета (N). В результате было получено два набора численных данных, описывающих связанное и возбужденные состояния ядра ${}^6\text{Li}$.

Таблица 1 - Влияние кластерной поляризации на связанное и резонансные состояния ядра ${}^6\text{Li}$

J^π	P		N		Exp [9]	
	E , МэВ	Γ , МэВ	E , МэВ	Γ , МэВ	E , МэВ	Γ , МэВ
1+	-1.474		-0.249		-1.4743	-
3+	0.711	0.0204	1.741	0.284	0.712 ± 0.002	0.024 ± 0.002
2+	3.259	1.612	3.913	2.237	2.838 ± 0.022	1.30 ± 1.00
	4.962	0.812	5.262	1.41		
1+	3.974	2.812	4.108	3.919	4.176 ± 0.050	1.5 ± 0.2

Эти два набора данных вместе имеющимися экспериментальными данными (Exp) [9] приведены в таблице 1.

Они наглядно демонстрируют эффекты кластерной поляризации на спектре ядра ${}^6\text{Li}$. Как видим, кластерная поляризация играет важную роль в формировании связанных и низкоэнергетических резонансных состояний в ${}^6\text{Li}$. Учет кластерной поляризации приводит к существенному сдвигу энергий (более 1 МэВ) основного состояния и резонансного 3^+ состояния. За счет кластерной поляризации произошло уменьшение энергии резонансного состояния 3^+ примерно в 2.6 раз и аналогичное уменьшение ширины резонанса почти в 10 раз. Для широких резонансных 1^+ и 2^+ состояний влияние кластерной поляризации не столь существенно.

Другая картина, описывающая влияния кластерной поляризации на состояния непрерывного спектра, представлена на рисунке 1, где показаны фазовые сдвиги упругого $\alpha+d$ -рассеяния. Эти фазовые сдвиги, как и значения энергий, и ширин резонансов были получены с учетом поляризации (P) и без её учета. Рисунок 1 демонстрирует, что воздействие кластерной поляризации зависит от энергии непрерывного спектра. Действительно, наибольшее изменение фаз упругого рассеяния для 3^+ состояния наблюдается в районе от 0.6 до 2 МэВ, а для 2^+ состояния - в энергетическом интервале до 5 МэВ.

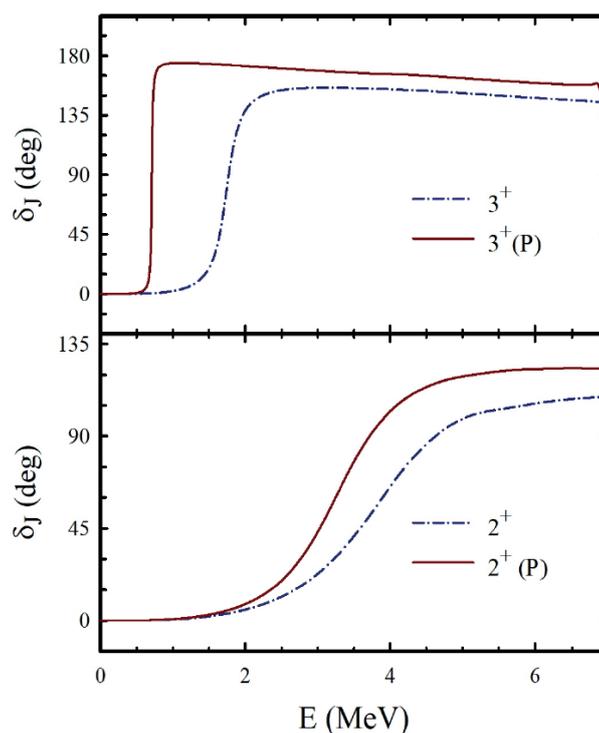


Рисунок 1. Фазовые сдвиги для 2^+ и 3^+ упругого $\alpha + d$ -рассеяния в зависимости от энергии E , измеренной от порога $\alpha + d$.

Качество вычисления волновой функции основного состояния ${}^6\text{Li}$ и достоинства модели можно проверить, вычислив среднеквадратичный радиус. Результаты расчетов протонного R_p , нейтронного R_n и массового R_m среднеквадратичных радиусов приведены в таблице 2. В ней также приведены результаты расчетов в других микроскопических моделях и известные экспериментальные данные.

Обсуждение. Как видим, модель AMGOB вполне удовлетворительно описывает экспериментальные данные для среднеквадратичных радиусов ядра ${}^6\text{Li}$. Кроме этого, результаты модели AMGOB совместимы с результатами других моделей. Соотношение между величинами: R_p, R_n, R_m , полученными в модели AMGOB, указывает на то, что состояние с изоспином $T=1$ имеет значительный вес в волновой функции основного состояния ${}^6\text{Li}$.

Таблица 2 – Протонный, нейтронный и массовый среднеквадратичные радиусы основного состояния ${}^6\text{Li}$, определенные разными методами.

Метод	R_p , фм	R_n , фм	R_m , фм
AMGOB	2.522	2.480	2.501
Csótó, Lovas [10, 11]	2.643		
Horiuchi, Suzuki [12]	2.41		2.27
Arai et al [13]	2.44	2.44	2.44
Exp. [14]	2.32 ± 0.03	2.32 ± 0.03	2.32 ± 0.03
Exp. [15]	2.54 ± 0.03	2.54 ± 0.03	2.54 ± 0.03

Амплитуды Фаддеева, полученные при численном решении уравнений метода резонирующих групп, позволяют нам получить дополнительную информацию о состояниях трех кластерной системы, и тем самым пролить свет на природу этих состояний. Кроме этого, они позволяют визуализировать эффекты кластерной поляризации. Например, можно рассчитать как изменяется размер (массовый среднеквадратичный радиус) бинарной подсистемы $R_\alpha(y_\alpha)$, когда она приближается к третьему кластеру, то есть, когда координата y_α уменьшается и стремится к нулю. Детали определения такой величины можно найти в работе [3], формулы (37) и (38).

На рисунке 2 показано, как изменяется размер дейтрона R_d (или, другими словами, среднее расстояние между протоном и нейтроном), когда дейтрон приближается к альфа-частице.

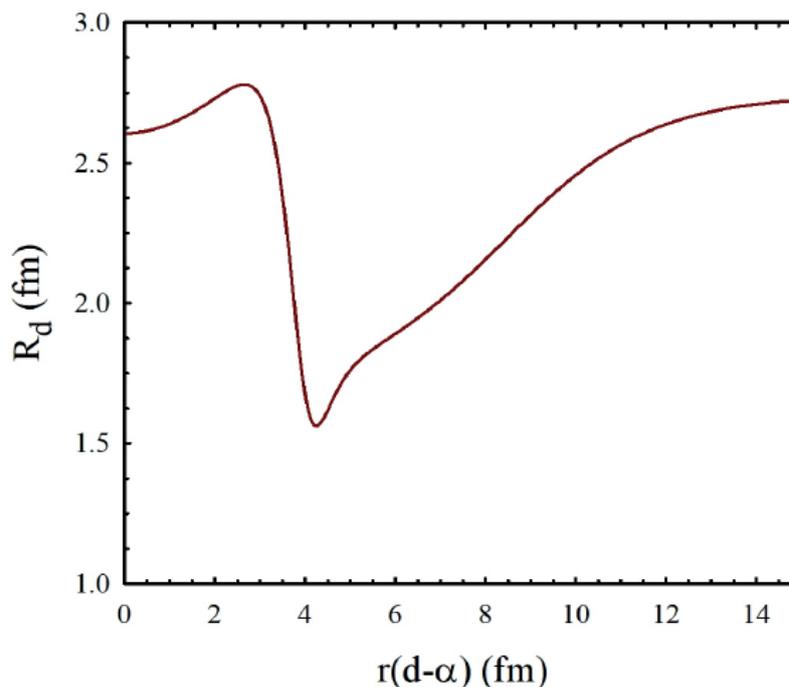


Рисунок 2. Эффективный размер дейтрона R_d как функция расстояния между дейтроном и альфа-частицей

Мы видим, что альфа-частица уже заметно воздействует на дейтрон на больших расстояниях (более 12 фм). Размер дейтрона значительно уменьшается, когда расстояние между дейтроном и альфа-частицей становится примерно 4 фм. Затем происходит резкое увеличение размера дейтрона. При последующем уменьшении расстояния между альфа-частицей и дейтроном, последний восстанавливает свой нормальный размер ($= 2.6$ фм). Рисунок 2 демонстрирует, что в рассматриваемой трех кластерной модели расстояние между протоном и нейтроном, образующих дейтрон, не является жестко фиксированным в отличие от двух кластерной модели. В данной модели дейтрон, а также кластеры: ${}^5\text{He}$, ${}^5\text{Li}$, ${}^3\text{He}$ могут изменять свой размер и свою ориентацию по отношению к налетающему третьему кластеру. Как сильно изменяется форма бинарных подсистем определяется интенсивностью кулоновского и ядерного взаимодействий в компаунд ядре. Исследование зависимости среднеквадратичного радиуса $R_\alpha(y_\alpha)$ от расстояния y_α , ярко показывает, как поляризуется бинарная подсистема.

Заключение. В данной работе была исследована структура связанного и низколежащих резонансных состояний ядра ${}^6\text{Li}$. Исследование проводилось в рамках микроскопической трех кластерной модели. Данная модель учитывала две главные трех кластерные конфигурации: $\alpha+p+n$ и $t+d+p$. С их помощью были вовлечены в расчеты четыре бинарных канала: $\alpha+d$, ${}^5\text{He}+p$, ${}^5\text{Li}+n$ и ${}^3\text{H}+{}^3\text{He}$. Кроме этого данная модель позволила более точно описать внутреннюю структуру дейтрона и ядер: ${}^5\text{He}$, ${}^5\text{Li}$, ${}^3\text{He}$, которые были представлены как двухкластерные системы: $p+n$, $\alpha+n$, $\alpha+p$, $d+p$, а также позволила учесть поляризуемость ядер: d , ${}^5\text{He}$, ${}^5\text{Li}$, ${}^3\text{He}$ при их взаимодействии с третьим кластером. Расчеты свойств ядра ${}^6\text{Li}$ были выполнены с нуклон-нуклонным потенциалом Миннесоты. Показано, что кластерная поляризация играет огромную роль в формировании основного состояния, а также 3^+ , 2^+ и 1^+ резонансных состояний. Например, она сдвигает основное состояние и узкий 3^+ резонанс более чем на 1 МэВ. Кроме этого кластерная поляризация уменьшает почти в 14 раз ширину 3^+ резонансного состояния. Показано также, что используемая модель хорошо воспроизводит многие наблюдаемые величины, такие как энергии связанного и резонансных состояний, ширины резонансов, а также зарядовый и массовый среднеквадратичные радиусы основного состояния ${}^6\text{Li}$. Продемонстрировано как изменяется размер дейтрона по мере его приближения к альфа-частице.

Благодарности. Работа была выполнена в рамках Программы Фундаментальных Исследований Отделение физики и астрономии Национальной академии наук Украины (Проект №. 0117U000239) и Исследовательского Гранта (Грант №. AP09259876) Комитета Науки Министерства Образования и Науки Республики Казахстан.

Калжигитов Н.К.^{1*}, Василевский В.С.², Такибаев Н.Ж.¹, Курмангалиева В.О.¹

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

²Украина ҰҒА Н.Н. Боголюбов атындағы теориялық физика институты, Киев, Украина.

E-mail: knurto1@gmail.com

⁶Li ядросындағы кластерлік поляризация эффектілерін зерттеу

Аннотация. Бұл жұмыстың мақсаты – ⁶Li ядросындағы резонанстық күйлердің табиғатын, сонымен қатар байланысқан және резонанстық күйлердің спектріне кластерлік поляризация әсерлерін зерттеу. Кластерлік поляризация, кластерлердің (әсерлесетін ядролардың) жақындауы барысындағы олардың өлшемдері мен формаларының өзгеруімен байланысты. Қойылған мақсаттарға қол жеткізу үшін микроскопиялық үш кластерлі модель қарастырылады. Бұл моделде екі-үш кластерлік конфигурациялар ⁴He+p+n және ³H+d+p ескерілген, содан кейін төрт бинарлық каналға ⁴He+d, ⁵He+p, ⁵Li+n и ³H+³He жобаланған. Көрсетілген үш кластерлі конфигурациялар d, ⁵He, ⁵Li және ³He кластерлерінің ішкі құрылыстарын неғұрлым дәл сипаттауға, сонымен бірге олардың поляризациялануын ескеруге мүмкіндік берді. ⁶Li ядросының спектрін есептеу орталық және спин-орбиталдық компоненталары бар жартылай шын нуклон-нуклондық Миннесота потенциалымен орындалған. Қолданылған модельдің ⁶Li төмен жатқан күйлер спектрін жақсы шығаратындығы көрсетілген. Кластерлік поляризацияның байланысқан және резонанстық күйлердің құрылымына күшті әсер ететіндігі, олардың энергиялары мен ендерін елеулі өзгертетіндігі анықталды. Есепке алынған каналдардың байланысқан күйдің энергиясына әсер ету деңгейінің, сонымен қатар 3⁺ резонанстық күйдің энергиясы мен еніне иерархиясы анықталған. ⁴He және d әсерлесуі мысалында, дейтронның ⁴He-ке жақындау барысында оның поляризациялануы (яғни, оның өлшемдерінің өзгеруі) анық көрсетілген.

Түйінді сөздер: кластерлік модель, поляризация, резонанстық күйлер, Фаддеев амплитудасы.

Kalzhigitov N.^{1*}, Vasilevsky V.S.², Takibayev N.Zh.¹, Kurmangaliyeva V.O.¹

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

²Bogolyubov Institute for Theoretical Physics, Kiev, Ukraine.

E-mail: knurto1@gmail.com

A STUDY OF THE EFFECTS OF CLUSTER POLARIZATION IN THE ⁶Li NUCLEUS

Abstract. The main purposes of this research are to study the nature of resonance states in the ⁶Li nucleus, and effects of cluster polarization on the spectrum of bound and resonant states. The cluster polarization is associated with changes of the size and shape of clusters (interacting nuclei) as they approach each other. To achieve these goals, a microscopic three-cluster model is used. This model takes into account two three-cluster configurations: ⁴He+p+n and ³H+d+p, which are then projected into four binary channels: ⁴He+d, ⁵He+p, ⁵Li+n, and ³H+³He. These three-cluster configurations made it possible to more precisely describe the internal structure of the d, ⁵He, ⁵Li, and ³He clusters, and to take into account their polarizability. Calculations of the ⁶Li spectrum are performed with the semi-realistic Minnesota nucleon-nucleon potential, which contains the central and spin-orbit components. It is shown that the model used reproduces well the spectrum of low-lying states of ⁶Li. The main advantages of the model used are: (i) it takes into account the Pauli principle, (ii) it provides an accurate description of the internal structure of interacting two-cluster subsystems, and (iii) reduces the Schrödinger equation to a system of linear algebraic equations.

It is found that cluster polarization strongly affects the structure of the bound and resonance states, and significantly changes their energy and width. The hierarchy of the considered channels is determined by the degree of their influence on the energy of the bound state, as well as on the energy and width of the narrow 3⁺ resonance state. On the example of the interaction of ⁴He and d, the polarizability of the deuteron (i.e., the change in its size) is explicitly shown when it approaches ⁴He.

Key words: cluster model, polarization, resonant states, Faddeev amplitude.

Information about the authors:

Kalzhitov N.K. – PhD student, al-Farabi Kazakh National University, 71 al-Farabi Ave., Almaty, Kazakhstan, phone number: +7-708-160-90-80, knurto@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2598-3176>;

Vasilevsky V.S. – dr.ph.-m.sc., Bogolyubov Institute for Theoretical Physics, 14-b Metrolohichna str. Kyiv, 03143, Ukraine, leading researcher, phone number: +38-044-526.53.62, vsvasilevsky@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0417-5978>;

Takibayev N.Zh. – dr.ph.-m.sc., professor, academic of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University, 71 al-Farabi Ave., Almaty, Kazakhstan, phone number: +7-777-704-03-96, takibayev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2604-6838>;

Kurmangaliyeva V.O. – cand.ph.-m.sc., docent, al-Farabi Kazakh National University, 71 al-Farabi Ave., Almaty, Kazakhstan, researcher, phone number: +7-707-397-06-38, venera_bagg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8046-8508>;

REFERENCES

[1] Brian D. Fields. (2011) The Primordial Lithium Problem, Annual Reviews of Nuclear and Particle Science, 61: 47-68. DOI:10.1146/annurev-nucl-102010-130445 (in Eng.).

[2] Sbordone L., Bonifacio P. (2010) The metal-poor end of the Spite plateau. 1: Stellar parameters, metallicities and lithium abundances, Astron. Astrophys, 522, A26: 1-22. DOI:10.1051/0004-6361/200913282 (in Eng.).

[3] Vasilevsky V.S., Arickx F., Broeckhove J., Kovalenko T.P. (2009) A microscopic three-cluster model with nuclear polarization applied to the resonances of ${}^7\text{Be}$ and the reaction ${}^6\text{Li}(p, {}^3\text{He}){}^4\text{He}$, Nucl. Phys. A, 824: 37-57. DOI:10.1016/j.nuclphysa.2009.03.011 (in Eng.).

[4] Vasilevsky V.S., Kato K., Takibayev N. (2017) Formation and decay of resonance states in ${}^9\text{Be}$ and ${}^9\text{B}$ nuclei: Microscopic three-cluster model investigations, Phys. Rev. C, 96: 034322: 1-16. DOI: 10.1103/PhysRevC.96.034322 (in Eng.).

[5] Wheeler J.A. (1937) On the mathematical description of light nuclei by the method of resonating group structure, Phys. Rev., 52: 1107–1122. DOI:10.1103/PhysRev.52.1107 (in Eng.).

[6] Kalzhitov N., Takibayev N.Z., Vasilevsky V.S., Akzhitova E.M., Kurmangaliyeva V.O. (2020) A microscopic two-cluster model of processes in ${}^6\text{Li}$, News Nat. Acad. Scien. Rep. Kazakhstan, 4:86-94. DOI:10.32014/2020.2518-1726.69 (in Eng.).

[7] Thompson D.R., Le Mere M., Tang Y.C. (1977) Systematic investigation of scattering problems with the resonating-group method, Nucl. Phys., A286, 1: 53-66. DOI: 10.1016/0375-9474(77)90007-0 (in Eng.).

[8] Reichstein I., Tang Y.C. (1970) Study of $N + \alpha$ system with the resonating-group method, Nucl. Phys. A, 158:529-545. DOI: 10.1016/0375-9474(70)90201-0 (in Eng.).

[9] Tilley D.R., Cheves C.M., Godwin J.L., Hale G.M., Hofmann H.M., Kelley J.H., Sheu C.G., Weller H.R. (2002) Energy levels of light nuclei $A=5, 6, 7$. Nuclear Physics A, 708: 3-163. DOI: 10.1016/S0375-9474(02)00597-3 (in Eng.).

[10] Csótó A., Lovas R.G. (1992) Dynamical microscopic three-cluster description of ${}^6\text{Li}$, Phys. Rev. C, 46: 576-588. DOI: 10.1103/physrevc.46.576 (in Eng.).

[11] Csótó A. (1994) Three-body resonances in ${}^6\text{He}$, ${}^6\text{Li}$, and ${}^6\text{Be}$, and the soft dipole mode problem of neutron halo nuclei, Phys. Rev. C, 49: 3035-3041. DOI: 10.1103/physrevc.49.3035 (in Eng.).

[12] Horiuchi W., Suzuki Y. (2007) Momentum distribution and correlation of two-nucleon relative motion in ${}^6\text{He}$ and ${}^6\text{Li}$, Phys. Rev. C, 76: 024311: 1-13. DOI: 10.1103/PhysRevC.76.024311 (in Eng.).

[13] Arai K., Suzuki Y., Varga K. (1995) Neutron-proton halo structure of the 3.563-MeV 0^+ state in ${}^6\text{Li}$ // Phys. Rev. C, 51:2488-2493. DOI: 10.1103/PhysRevC.51.2488 (in Eng.).

[14] Tanihata I., Hirata D., Kobayashi T., Shimoura S., Sugimoto K., Toki H. (1992) Revelation of thick neutron skins in nuclei, Phys. Lett. B, 289: 261-266. DOI:10.1016/0370-2693(92)91216-V (in Eng.).

[15] Tanihata I., Hamagaki H., Hashimoto O., Shida Y., Yoshikawa N., Sugimoto K., Yamakawa O., Kobayashi T., Takahashi N. (1985) Measurements of interaction cross sections and nuclear radii in the light p -shell region // Phys. Rev. Lett., 55: 2676-2679. DOI: 10.1103/PhysRevLett.55.2676 (in Eng.).

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

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

ИНФОРМАТИКА

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

МАТЕМАТИКА

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

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

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

ИНФОРМАТИКА

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

МАТЕМАТИКА

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

CONTENTS

PHYSICS

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

COMPUTER SCIENCE

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

MATHEMATICS

Abdramanova G.B., Imambek O., Belisarova F.B. MATHEMATICAL FORMALISM FOR CALCULATIONS OF THE ELASTIC p ₇ Be SCATTERING CROSS SECTION IN THE FRAMEWORK OF GLAUBER THEORY.....	111
Adilova A.K., Zhuzbayev S.S., Akhmetzhanova S.E. COMPOSITE MATERIAL STRUCTURE AND PROBLEMS OF COMPOSITE MECHANICS.....	119
Ivanov K.S., Tulekenova T.D. DYNAMICS OF THE ADAPTIVE DRIVE OF THE DOCKING MECHANISM.....	131
Israilova S., Mukhanova A., Satybaldiyeva A. MODERN METHODS FOR EVALUATING BUSINESS PROCESSES OF AN ENTERPRISE USING A BALANCED SCORECARD.....	137
Orazbayev B., Zhumadillayeva A., Dyussekeyev K., Santeyeva S., Xiao-Guang Yue 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). 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://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.