

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

**ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№1
2026**

ISSN 2518-1483 (Online),
ISSN 2224-5227 (Print)

2026 • 1



**ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND
CHEMICAL SCIENCES**

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

EDITOR-IN-CHIEF

ZHURINOV Murat Zhurinovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of IAAS and NAS RK, General Director Oil refining and Petrochemistry Research Institute (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detailuri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

ABILMAGZHANOV Arlan Zainutallaevich, PhD in Chemistry, General Director of JSC "Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky", (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

EDITORIAL BOARD:

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Director of the JSC "Phytochemistry Research and Production Center", (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/13503476>

ABIEV Rufat, Doctor of Technical Sciences (Biochemistry), Professor, Head of the Department of Optimization of Chemical and Biotechnological Equipment, St. Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

OLIVIERO Rossi Cesare, PhD (Chemistry), Professor at the University of Calabria (Calabria, Italy), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

TIGINYANU Ion Mihailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician, President of the Academy of Sciences of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

SANG SU Kwak, PhD (Biochemistry, Agricultural Chemistry), Professor, Chief Scientist, Research Center for Plant Systems Engineering, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), (Daecheon, Korea), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

BERSIMBAYEV Rakhmetkazhi Iskenderovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

CALANDRA Pietro, PhD (Physics), Professor, Institute for the Study of Nanostructured Materials (Rome, Italy), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/616360>

BOSHKAEV Kuantai Avgazyevich, PhD, Associate Professor, Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2080231>

BURKITBAEV Mukhambetkali, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29017135>

QUEVEDO Hernando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

ZHUSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/566>

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of NAS of Ukraine, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk, Ukraine), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

TAKIBAEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

KHARIN Stanislav Nikolaevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

ABISHEV Medeu Erzhanovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Corresponding Member of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1556025>

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES.

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Owner: «Central Asian Academic Research Center» LLP (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 № KZ93VPY00121157 issued 05.06.2025

Thematic scope: *physics and chemistry*.

Periodicity: 4 times a year.

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

БАС РЕДАКТОР

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрынулы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ХҒАҚ және ҚР ҰҒА академигі, Мұнай өңдеу және мұнай-химиясы ғылыми-зерттеу институтының бас директоры (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЛАРЫ:

КАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/rec-ord/2428551>

ӘБИЛМАҒЖАНОВ Арлан Зайнуталлайұлы, химия ғылымдарының кандидаты, Д.В. Сокольский атындағы «Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ Бас директоры (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мынжасарұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «Фитохимия» ғылыми-өндірістік орталығы» АҚ директоры (Қарағанды, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

РАМАЗАНОВ Тілеккабыл Сәбитұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=6701328029>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/13503476>

ӘБИЕВ Руфат, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны оңтайландыру» кафедрасының меңгерушісі (Санкт-Петербург, Ресей), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

ОЛИВЬЕРО Росси Сесаре, PhD (химия), Калабрия университетінің профессоры (Калабрия, Италия), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

САНГ-СУ Квак, PhD (биохимия, агрохимия), профессор, Корей Биоғылым және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIBB), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері (Дэчон, Корея), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті (Астана, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

КАЛАНДРА Пьетро, PhD (физика), нанокүрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7004303066>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/616360>

БӨШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, PhD теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=54883880400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2080231>

БҮРКІТБАЕВ Мұхамбетқали, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29017135>

QUEVEDO Hernando, профессор, Мексика ұлттық автономиялық университеті (UNAM), Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

ЖҮСІПОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=6602166928>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/566>

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

ӘБИШЕВ Медеу Ержанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=26530759900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1556025>

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Меншіктеуші: «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС (Алматы қ.).

Ақпарат агенттігінің мерзімді баспасөз басылымын, ақпарат агенттігін және желілік басылымды қайта есепке қою туралы ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі «Ақпарат комитеті» Республикалық мемлекеттік мекемесі 05.06.2025 ж. берген № KZ93VPY00121157 Куәлік.

Тақырыптық бағыты: *физика, химия.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

ЖУРИНОВ Мурат Журинович, доктор химических наук, профессор, академик МААН и НАН РК, Генеральный директор Научно-исследовательского института нефтепереработки и нефтехимии (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

АБИЛЬМАГЖАНОВ Арлан Зайнуталлаевич, кандидат химических наук, Генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор АО «Научно-производственного центра «Фитохимия» (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/13503476>

АБИЕВ Руфат, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

ОЛИБЬЕРО Россин Чезаре, доктор философии (PhD, химия), профессор Университета Калабрии (Калабрия, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

САНГ-СУ Квак, доктор философии (PhD, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB) (Дэчон, Корея), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендерович, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (PhD, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/616360>

БОШКАЕВ Куантай Агазыевич, PhD, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2080231>

БУРКИТБАЕВ Мухамбетали, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29017135>

QUEVEDO Hernando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

ЖУСУПОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/566>

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

ТАКИБАЕВ Нурғали Жабағаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

АБИШЕВ Мелеу Ержанович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1556025>

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Собственник: ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр» (г. Алматы).

Свидетельство № KZ93VPY00121157 о повторной регистрации периодического печатного издания информационного агентства, информационного агентства и сетевого издания, выданное Республиканским государственным учреждением «Комитет информации» Министерства культуры и информации Республики Казахстан **05.06.2025**Тематическая направленность: *физика, химия*.

Периодичность: 4 раза в год.

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

CONTENTS

PHYSICS

Aimaganbetova Z.K., Kulshymbayev Y.A., Zhanturina N.N., Beketova G.K. First-principles calculation of the electronic properties of the Double Halide Perovskite $\text{Cs}_2\text{Ag}_{0.2}\text{Na}_{0.4}\text{In}_{0.6}\text{Ti}_{0.4}\text{Cl}_6$ based on the quantum ESPRESSO software.....	14
Amangeldinova S., Zhuniskhan S., Kalzhigitov N., Kurmangaliyeva V. Study of the cluster structure of ^5He and ^5Li mirror nuclei in two-cluster approximation.....	35
Chokin K., Otunchi Ye., Kozhahmetova A., Kasenova A., Shongalova A. Development and testing of a laboratory pyrometallurgical installation for recycling lithium-ion batteries.....	46
Issayeva A., Beisebayeva A., Madybekova G., Shynazbekova Sh., Issa A. Comparative analysis of physico-chemical characteristics of drinking, spring and natural water in the South Kazakhstan.....	65
Kim V.Yu., Aimuratov Y.K. Search for transient cosmic events by scanning the sky with wide-field telescopes.....	78
Koshtybayev T.B., Tatenov A.M., Aliyeva M.E., Tugelbaeva G.T., Zhanaliyeva G.Zh. Study of the electromagnetic field based on thermodynamics principles.....	89
Mukamedenkyzy V., Akberdiyev B. Numerical investigation of the effect of inclination angle on the stability of mechanical equilibrium in Ar–N ₂ binary gas mixtures.....	105
Myasnikova L.N., Uzakbaeva S.S., Shanina Z.K., Bekeshev A.Z. Kinetic properties of high-density polyethylene filled with chromium spinel powder.....	119
Nurbayev B.M., Dmitriyeva E.A., Kemelbekova A.E. The role of low-dimensional layered structures in enhancing the stability of tin-based perovskite materials.....	136
Sattinova Z., Ermakhanova F., Assilbekov B., Taimuratova L. Influence of various cooling conditions and heat transfer coefficients on solidification during the formation of beryllium ceramic products.....	149
Shestakova L.I., Serebryanskiy A.V., Spassyyuk R.R., Omarov Ch.T. Search for gas of comet-meteor origin in the inner Solar System: caii ion emission.....	165
Ualikhanova U., Tursynkazy F., Syzdykova A.M., Altayeva G.S., Altaibayeva A.B. Studying the amplitude of $f(T)$ gravitational waves using Bessel functions.....	179

Zhexenbayeva G.A., Nasirova D.M., Aimanova G.K., Shomshekova S.A. Photometric study of the symbiotic object V725 Tau.....	194
Zhusupova N.K., Zhadyranova A.A. Bounce cosmology in $f(T, \mathcal{T})$ gravity based on energy condition analysis.....	205
Ziyatbekova G., Abdimanapova P., Sagyntay O., Nurym A., Ilinov R. Using artificial intelligence to predict diseases based on medical data.....	225

CHEMISTRY

Almassov N.Zh., Zhumagaliyeva A.N., Duisenbekov S.E., Zhakiyev N.K. Design and optimization of hybrid renewable energy systems for hydrogen production in Kazakhstan.....	236
Amangeldi B., Zhanikulov N., Taimasov B., Aitureev M.M., Dauletiyarov M. Calculation of the Raw material composition for obtaining white Portland cement clinker.....	251
Baeshov A., Tashenov E.A., Atykhanova S.B., Koshkarbayeva Sh.T. Preparation of cadmium sulfide by electrochemical method using a composite sulfur-graphite electrode.....	267
Baisalova G.Zh., Azhikhanova Zh., Taltenov A.A., Kuzhatova P. Determination of the total phenolic content in perennial herbaceous plants of the flora of Kazakhstan.....	277
Darmenbayeva A.S., Rajasekharan R., Zhussipnazarova G.M., Mukazhanova Zh.B., Begenova B.E. Composites based on chitosan and cellulose: synthesis, properties, and application prospects.....	287
Erkasov R.Sh., Zhamkenova A.S., Sergazina S.M., Nurmukhanbetova N.N., Kassenova N.B. Halide-dependent modulation of hydrogen bonding in Mn(II) complexes with protonated acetamide: a QAIM, NCI, and energy decomposition study.....	304
Kalimoldina L.M., Shaikhova Zh.E., Kaliyeva B.K., Bubish Sh., Askarova Sh.K. The effect of silver nanoparticles on the germination of bean, lemon, tangerine and avocado seeds.....	320
Kurtebayeva A.A., Alvarez-Torrellas S., Gomes H.T., Orynbayev S.A., Kalmakhanova M.S. Activated-carbon-enhanced polymeric membranes for efficient elimination of emerging contaminants.....	334

Massenova A.T., Zhumakanova A.S., Torlopov I.I., Rakhmetova K.S., Abilmagzhanov A.Z. Optimization of the hierarchical zeolite ZSM-5 synthesis process by steam-assisted alkaline modification.....	350
Mutushev A.Zh., Nuraly A.M., Sanat A.S., Shaukharova M.A., Yessimsiitova Z.B. The effect of light-converting films on the accumulation of bioactive compounds and the quality of fruits.....	366
Nefedov A.N., Taikenova A.T. Current state of organic corrosion inhibitor application in oil refining.....	379
Omarov B.T., Altybayev Zh.M., Serikbayeva B.S. Production of biohumus by vermicomposting of organic wastes and study of its agroecological effectiveness.....	399
Rakhman D.M., Kappasuly A., Makhayeva D.N., Kazybayeva D.S., Irmukhametova G.S. Development and investigation of mucoadhesive hydrogels based on gellan–cysteine complexes.....	414
Sabyrzhanova A.E., Bolatkyzy N., Berganaeva G.E., Dyusebaeva M.A. Study of amino acids and fatty acids in the aerial part of <i>Plantago major</i>	428
Satayeva S., Akhmetova F., Urazova A., Aituganova S., Yerniyazova K. The influence of PEPA concentration on the physical, mechanical, and operational properties of ED-20 epoxy adhesives.....	439
Zamanbek A.Zh., Koshkarbayeva Sh.T., Satayev M.S. Methods of Obtaining Silver Nanoparticles and Antibacterial Properties.....	450
Zhortarova A.A., Salkeyeva L.K., Minayeva Ye.V., Ibrayev M.K., Fazylov S.D. New possibilities for the synthesis and phosphorylation of phosphonoacetic acid ester.....	462

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

Аймағанбетова З.К., Құлшымбаев Е.А., Жантурина Н.Н., Бекетова Г.К. Quantum Espresso бағдарламасы негізінде Cs ₂ Ag _{0.2} Na _{0.4} In _{0.6} Ti _{0.4} Cl ₆ кос галогенді перовскиттің электрондық қасиеттерін бірінші принциптік есептеу.....	14
Амангелдинова С., Жүнісхан С., Калжигитов Н., Курманғалиева В. Екі кластерлік жуықтауда ⁵ He және ⁵ Li айналық ядроларының кластерлік құрылымын зерттеу.....	35
Чокин К., Отунчи Е., Кожаметова А., Касенова А., Шонғалова А. Литий-ионды аккумуляторларды қайта өндеуге арналған зертханалық пирометаллургиялық қондырғыны әзірлеу және сынау.....	46
Исаева А.Б., Бейсебаева А.С., Мадыбекова Г.М., Шиназбекова Ш.С., Иса А.Б. Сравнительный анализ физико-химических характеристик питьевой, родниковой и природной воды юга Казахстана.....	65
Ким В.Ю., Аймуратов Е.К. Кең бұрышты телескоптармен аспанды сканерлеу арқылы өтпелі ғарыштық оқиғаларды іздеу.....	78
Коштыбаев Т.Б., Татенов А.М., Алиева М.Е., Тугелбаева Г.Т., Жаналиева Г.Ж. Электромагниттік өрісті термодинамикалық бастамалар тұрғысында зерттеу.....	89
Мукамеденқызы В., Ақбердиев Б. Ar–N ₂ бинарлы газ қоспаларындағы механикалық тепе-теңдік тұрақтылығына қиғаш бұрыштың әсерін сандық зерттеу.....	105
Мясникова Л.Н., Узакбаева С.С., Шанина З.К., Бекешев А.З. Хром-шпинельді ұнтақ қосылған жоғары тығыздықты полиэтиленнің кинетикалық қасиеттері.....	119
Нұрбаев Б.М., Дмитриева Е.А., Кемелбекова А.Е. Қалайы негізіндегі перовскитті материалдардың тұрақтылығын арттырудағы төменөлшемді қабатты құрылымдардың рөлі.....	136
Саттинова З., Ермаханова Ф., Асылбеков Б., Таймуратова Л. Бериллий керамикалық бұйымдарын қалыптастыру кезінде әр түрлі салқындату жағдайлары мен жылу беру коэффициенттерінің қатаюға әсері.....	149
Шестакова Л.И., Серебрянский А.В., Спасюк Р.Р., Омаров Ш.Т. Күн жүйесінің ішкі аймағындағы комета-метеорлық тектегі газды іздеу: CaII иондарының жарқырауы.....	165

Уалиханова У.А., Тұрсынқазы Ф., Сыздықова А.М., Алтаева Г.С., Алтайбаева А.Б.
Бессель функцияларын пайдаланып $f(T)$ гравитациялық толқындардың
амплитудасын зерттеу.....179

Жексенбаева Г.А., Насирова Д.М., Айманова Г.К., Шомшекова С.А
V725 Тау симбиотикалық объектiсiн фотометрлiк зерттеу.....194

Жусупова Н.К., Жадыранова А.А.
Энергия шарттарын талдауға негiзделген $f(T, T)$ серпiлiс космологиясы.....205

Зиятбекова Г.З., Абдиманапова П.Б., Сағынтай О.А., Нұрым А.А., Ильинов Р.А.
Жасанды интеллект көмегiмен медициналық деректер бойынша
ауруларды болжау.....225

ХИМИЯ

Алмассов Н.Ж., Жумагалиева А.Н., Дүйсенбеков С.Е., Жакиев Н.К.
Қазақстанда сутегi өндiруге арналған гибрирдiк жаңартылатын энергия жүйелерiн
жобалау және оңтайландыру.....236

Амангелдi Б., Жаникулов Н., Таймасов Б., Айтүреев М., Даулетияров М.
Ақ портландцемент клинкерiн алу үшiн шикiзат шихта құрамын есептеу.....251

Баешов А., Ташенов Е.А., Атыханова С.Б., Кошкарбаева Ш.Т.
Композициялы күкiрт-графит электродын қолдану арқылы кадмий
сульфидiн электрохимиялық әдiспен алу.....267

Байсалова Г.Ж., Ажиханова Ж., Талтенов А.А., Құжатова П.
Қазақстан флорасындағы көпжылдық шөптесiн өсiмдiктердiң фенолдық
қосылыстарының жиынтық мөлшерiн анықтау.....277

**Дарменбаева А.С., Rajasekharan R., Жусипназарова Г.М., Мукажанова Ж.Б.,
Бегенова Б.Е.**
Хитозан және целлюлоза негiзiндегi композиттер: синтез, қасиеттерi және қолдану
перспективалары.....287

**Еркасов Р.Ш., Жамкенова А.С., Сергазина С.М., Нурмуханбетова Н.Н.,
Касенова Н.Б.**
Mn (II) кешендерiндегi сутектiк байланыстардың энергиясы мен табиғатына
галогеннiң әсерi: QТАІМ, NCI және энергия декомпозициясы.....304

Калимолдина Л.М., Шаихова Ж.Е., Калиева Б.К., Бубиш Ш., Аскарова Ш.К.
Күмiс нанобөлшектерiнiң бұршақ, лимон, мандарин, авокадо тұқымдарының
өнуiне әсерi.....320

Қуртебаева А.А., Álvarez-Torrellas S., Gomes Н.Т., Орынбаев С.Ә., Калмаханова М.С. Алаңдаушылық тудыратын ластаушы заттарды тиімді жою үшін белсендірілген көмір полимерлі мембраналар.....	334
Масенова А.Т., Жұмақанова А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С., Абильмагжанов А.З. ZSM-5 иерархиялық цеолитін бумен сілтілі модификациялау арқылы алу процесін онтайландыру.....	350
Мутушев А.Ж., Нұралы Ә.М., Санат А.С., Шаукарова М.А., Есимситова З.Б. Жарық түрлендіретін пленкалардың биоактивті қосылыстардың жинақталуына және жеміс сапасына әсері.....	366
Нефедов А.Н., Тайекенова А.Т. Мұнай өңдеу өнеркәсібінде органикалық коррозия ингибиторларын қолданудың қазіргі жағдайы.....	379
Омаров Б.Т., Алтыбаев Ж.М., Серикбаева Б.С. Органикалық қалдықтарды вермикомпостинг арқылы биогумус өндіру және оның агроэкологиялық тиімділігін зерттеу.....	399
Рахман Д.М., Қаппасұлы Ә., Махаева Д.Н., Қазыбаева Д.С., Ирмухаметова Ғ.С. Геллан–цистеин кешендері негізінде мукоадгезиялық гидрогельдерді әзірлеу және зерттеу.....	414
Сабыржанова А.Е., Болатқызы Н., Берганаева Г.Е., Дюсебаева М.А. Plantago Major жер үсті бөлігінің құрамындағы амин қышқылдары мен май қышқылдарын зерттеу.....	428
Сатаева С., Ахметова Ф., Уразова А., Айтуганова С., Ерниязова К. ЭД-20 эпоксидті желімдерінің физика-механикалық және эксплуатациялық қасиеттеріне ПЭПА концентрациясының ықпалы.....	439
Заманбек А.Ж., Кошкарбаева Ш.Т., Сатаев М.С. Күміс нанобөлшектерінің алыну әдістері мен антибактериалдық қасиеттері.....	450
Жоргарова А.А., Салькева Л.К., Минаева Е.В., Ибраев М.К., Фазылов С.Д. Фосфоносірке қышқылының эфирін синтездеу мен фосфорландырудың жаңа мүмкіндіктері.....	462

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

Аймаганбетова З.К., Кулшымбаев Е.А., Жантурина Н.Н., Бекетова Г.К. Расчет по первому принципу электронных свойств двойного галогенидного перовскита Cs ₂ Ag _{0.2} Na _{0.4} In _{0.6} Ti _{0.4} Cl ₆ на основе программы Quantum Espresso.....	14
Амангелдинова С., Жүнісхан С., Калжигитов Н., Курмангалиева В. Исследование кластерной структуры зеркальных ядер ⁵ He и ⁵ Li в двухкластерном приближении.....	35
Чокин К., Отунчи Е., Кожрахметова А., Касенова А., Шонгалова А. Разработка и испытания лабораторной пирометаллургической установки для переработки литий-ионных аккумуляторов.....	46
Исаева А.Б., Бейсебаева А.С., Мадыбекова Г.М., Шиназбекова Ш.С., Иса А.Б. Сравнительный анализ физико-химических характеристик питьевой, родниковой и природной воды юга Казахстана.....	65
Ким В.Ю., Аймуратов Е.К. Поиск транзиентных космических событий методом сканирования неба широкоугольными телескопами.....	78
Коштыбаев Т.Б., Татенов А.М., Алиева М.Е., Тугелбаева Г.Т., Жаналиева Г.Ж. Исследование электромагнитного поля на основе термодинамических принципов.....	89
Мукамеденкызы В., Акбердиев Б. Численное исследование влияния угла наклона на устойчивость механического равновесия в бинарной газовой смеси Ar–N ₂	105
Мясникова Л.Н., Узакбаева С.С., Шанина З.К., Бекешев А.З. Кинетические свойства высокоплотного полиэтилена с добавлением хром-шпинельного порошка.....	119
Нурбаев Б.М., Дмитриева Е.А., Кемелбекова А.Е. Роль низкоразмерных слоистых структур в повышении стабильности перовскитных материалов на основе олова.....	136
Саттинова З., Ермаханова Ф., Асылбеков Б., Таймуратова Л. Влияние различных условий охлаждения и коэффициентов теплопередачи на затвердевание при формировании бериллиевых керамических изделий.....	149

Шестакова Л.И., Серебрянский А.В., Спасюк Р.Р., Омаров Ш.Т. Поиск газа кометно-метеорного происхождения во внутренней области Солнечной Системы: Свечение ионов СаII.....	165
Уалиханова У.А., Турсынказы Ф., Сыздыкова А.М., Алтаева Г.С., Алтайбаева А.Б. Изучение амплитуды $f(T)$ гравитационных волн с использованием функций Бесселя.....	179
Жексенбаева Г.А., Насирова Д.М., Айманова Г.К., Шомшекеева С.А. Фотометрическое исследование симбиотического объекта V725 Tau.....	194
Жусупова Н.К., Жадыранова А.А. Космология отскока в $f(T, \mathcal{J})$ гравитации на основе анализа энергетических условий.....	205
Зиятбекова Г.З., Абдимананова П.Б., Сағынтай О.А., Нұрым А.А., Ильинов Р.А. Использование искусственного интеллекта для прогнозирования заболеваний на основе медицинских данных.....	225

ХИМИЯ

Алмассов Н.Ж., Жумагалиева А.Н., Дуйсенбеков С.Е., Жакиев Н.К. Проектирование и оптимизация гибридных возобновляемых источников энергии для производства водорода в Казахстане.....	236
Амангелді Б., Жаникулов Н., Таймасов Б., Айтуреев М., Даулетияров М. Расчёт состава сырьевой шихты для получения белого порландцементного клинкера.....	251
Башов А., Ташенов Е.А., Атыханова С.Б., Кошкарбаева Ш.Т. Получение сульфида кадмия электрохимическим методом с использованием композитного сера-графитового электрода.....	267
Байсалова Г.Ж., Ажиханова Ж., Талтенов А.А., Кужатова П. Определение суммы фенольных соединений в многолетних травянистых растениях флоры Казахстана.....	277
Дарменбаева А.С., Rajasekharan R., Жусиппазарова Г.М., Мукажанова Ж.Б., Бегенова Б.Е. Композиты на основе хитозана и целлюлозы: синтез, свойства и перспективы применения.....	287
Еркасов Р.Ш., Жамкенова А.С., Сергазина С.М., Нурмуханбетова Н.Н., Касенова Н.Б. Влияние галогена на энергетику и природу водородных связей в Mn(II): QTAIM, NCI и энергодекомпозиция.....	304

Калимолдина Л.М., Шаихова Ж.Е., Калиева Б.К., Бубиш Ш., Аскарова Ш.К. Влияние наночастиц серебра на прорастание семян фасоли, лимона, мандарина, авокадо.....	320
Куртебаева А.А., Álvarez-Torrellas S., Gomes Н.Т., Орынбаев С.А., Калмаханова М.С. Полимерные мембраны с активированным углем для эффективного удаления загрязняющих веществ вызывающих обеспокоенность.....	334
Масенова А.Т., Жұмақанова А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С., Абильмагжанов А.З. Оптимизация процесса получения иерархического цеолита ZSM-5 паровой щелочной модификацией.....	350
Мутушев А.Ж., Нуралы А.М., Санат А.С., Шаукарова М.А., Есимсиитова З.Б. Влияние светопреобразующих плёнок на накопление биоактивных соединений и качество плодов.....	366
Нефедов А.Н., Тайекенова А.Т. Современное состояние применения органических ингибиторов коррозии в нефтепереработке.....	379
Омаров Б.Т., Алтыбаев Ж.М., Серикбаева Б.С. Получение биогумуса путем вермикомпостирования органических отходов и исследование его агроэкологической эффективности.....	399
Рахман Д.М., Қаппасұлы Ә., Махаева Д.Н., Казыбаева Д.С., Ирмухаметова Г.С. Разработка и исследование мукоадгезивных гидрогелей на основе комплексов геллан–цистеин.....	414
Сабыржанова А.Е., Болаткызы Н., Берганаева Г.Е., Дюсебаева М.А. Исследование аминокислот и жирных кислот в составе надземной части <i>Plantago Major</i>	428
Сатаева С., Ахметова Ф., Уразова А., Айтуганова С., Ерниязова К. Влияние концентрации ПЭПА на физические, механические и эксплуатационные свойства эпоксидных клеев ЭД-20.....	439
Заманбек А.Ж., Кошкарбаева Ш.Т., Сатаев М.С. Методы получения наночастиц серебра и антибактериальные свойства.....	450
Жоргарова А.А., Салькева Л.К., Минаева Е.В., Ибраев М.К., Фазылов С.Д. Новые возможности синтеза и фосфорилирования фосфонуксусного эфира.....	462

ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES
ISSN 2224-5227
Volume 1.
Number 357 (2026), 35–45

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.403>

UDC: 539.141/.142
IRSTI: 29.15.03; 29.15.19

©Amangeldinova S., Zhuniskhan S., Kalzhigitov N., Kurmangaliyeva V.* , 2026.

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

*E-mail: venera_baggi@mail.ru

STUDY OF THE CLUSTER STRUCTURE OF ${}^5\text{He}$ AND ${}^5\text{Li}$ MIRROR NUCLEI IN TWO-CLUSTER APPROXIMATION

Amangeldinova Sabina — PhD student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: sabinaa247@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1062-1073>;

Zhuniskhan Sardar — Master's student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: sardar_07@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7950-273X>;

Kalzhigitov Nursultan — PhD, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: knurto1@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2598-3176>;

Kurmangaliyeva Venera — Candidate of physical and mathematical sciences, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: venera_baggi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8046-8508>.

Abstract. The nature of nuclear interaction currently remains one of the urgent problems in the fields of nuclear physics and nuclear astrophysics. In particular, in the study of primordial nucleosynthesis processes, the questions about the nature and structure of light nuclei such as ${}^5\text{He}$ and ${}^5\text{Li}$ remain largely open, requiring a more detailed analysis taking into account different approaches. Since these nuclei represent unstable resonant systems, the determination of their spectral characteristics plays an important role in understanding the properties of nuclear forces at short distances. One of these approaches is the well-proven cluster approximation, where nuclei are considered from the position of a group of interacting nucleon clusters. The cluster model provides a clear physically interpretation of the structure of light nuclei and enables a qualitative description of the nature of resonant states. The purpose of this study is to determine the features of nuclear interaction, describing the resonance states of ${}^5\text{He}$ and ${}^5\text{Li}$ nuclei from the position of cluster structures. The algebraic version of the Resonating Group Method is employed to describe the intercluster interaction. The calculations were performed using the modified Hasegawa-Nagata potential. The obtained resonance energies and widths were compared with available experimental data. The calculations show that the resonance energy of the ground state of ${}^5\text{He}$ is 0.78 MeV with a width of 0.68 MeV. For ${}^5\text{Li}$, the corresponding values are 1.60 MeV and 1.32 MeV. The results are in good

agreement with experimental data and demonstrate the reliability and effectiveness of the applied model for describing the considered nuclear systems.

Key words: clusters, microscopic two-cluster model, resonating group method, light nuclei, resonant states

For citations: Amangeldinova S., Zhuniskhan S., Kalzhigitov N., Kurmangaliyeva V. Study of the Cluster Structure of ^5He and ^5Li Mirror Nuclei in Two-Cluster Approximation. Academic Journal of Physical and Chemical Sciences. 2026. No.1. Pp. 35–45. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.403>

©Амангелдинова С., Жүнісхан С., Калжигитов Н.,
Курмангалиева В. *, 2026.

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

*E-mail: venera_baggi@mail.ru

ЕКІ КЛАСТЕРЛІК ЖУЫҚТАУДА ^5He ЖӘНЕ ^5Li АЙНАЛЫҚ ЯДРОЛАРЫНЫҢ КЛАСТЕРЛІК ҚҰРЫЛЫМЫН ЗЕРТТЕУ

Амангелдинова Сабина — PhD докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: sabinaa247@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1062-1073>;

Жүнісхан Сардар — магистрант, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: sardar_07@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7950-273X>;

Калжигитов Нурсултан — PhD, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: knurto1@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2598-3176>;

Курмангалиева Венера — физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: venera_baggi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8046-8508>.

Аннотация. Ядролық әсерлесудің табиғаты қазіргі уақытта ядролық физика және ядролық астрофизика салаларындағы ең өзекті мәселелердің бірі болып қала береді. Атап айтқанда, бастапқы нуклеосинтез процестерін зерттеуде ^5He және ^5Li сияқты жеңіл ядролардың табиғаты мен құрылымы туралы сұрақтар негізінен ашық күйінде қалады, бұл өз кезегінде әртүрлі тәсілдерді ескере отырып, егжей-тегжейлі талдауды қажет етеді. Бұл ядролар тұрақсыз резонанстық жүйелер болып табылатындықтан, олардың спектрлік сипаттамаларын анықтау ядролық күштердің қысқа қашықтықтағы қасиеттерін түсіну үшін маңызды рөл атқарады. Осындай тәсілдердің бірі жақсы қалыптасып келген кластерлік жуықтау болып табылады, бұл жерде ядролар өзара әсерлесетін нуклондық кластерлер тобы тұрғысынан қарастырылады. Кластерлік модель жеңіл ядролардың құрылымын физикалық тұрғыдан айқын интерпретациялауға және резонанстық күйлердің табиғатын сапалы сипаттауға мүмкіндік береді. Бұл зерттеудің мақсаты ^5He және ^5Li ядроларының резонанстық күйлерін кластерлік құрылымдар тұрғысынан

сипаттау арқылы ядролық өзара әрекеттесу ерекшеліктерін анықтау болып табылады. Кластер аралық әсерлесулерді сипаттау үшін резонансты топтар әдісінің алгебралық нұсқасы қолданылады. Есептеулер модификацияланған Хасегава-Нагата потенциалы арқылы орындалды. Зерттеу барысында алынған резонанстық күйлердің алынған энергиялары мен ендері тәжірибелік мәліметтермен салыстырылды. Есептеулер нәтижесінде ${}^5\text{He}$ ядросының негізгі күйінің резонанс энергиясы 0,78 МэВ, ал ені 0,68 МэВ екені анықталды. ${}^5\text{Li}$ ядросы үшін сәйкесінше 1,60 МэВ және 1,32 МэВ мәндері алынды. Бұл нәтижелер тәжірибелік мәндермен жақсы үйлесім таба білді. Таңдалған әдістің дәлдігін көрсететін алынған мәліметтер алға қойылған міндеттерді сипаттауда осы модельді қолданудың тиімділігін дәлелдейді.

Түйін сөздер: кластерлер, микроскопиялық екі кластерлік модель, резонанстық топтар әдісі, жеңіл ядролар, резонанстық күйлер

©Амангелдинова С., Жүнісхан С., Калжигитов Н., Курмангалиева В. *, 2026.

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

*E-mail: venera_baggi@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ КЛАСТЕРНОЙ СТРУКТУРЫ ЗЕРКАЛЬНЫХ ЯДЕР ${}^5\text{He}$ И ${}^5\text{Li}$ В ДВУХКЛАСТЕРНОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

Амангелдинова Сабина — PhD докторант, Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: sabinaa247@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1062-1073>;

Жүнісхан Сардар — магистрант, Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: sardar_07@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7950-273X>;

Калжигитов Нурсултан — PhD, Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: knurto1@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2598-3176>;

Курмангалиева Венера — кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор, Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: venera_baggi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8046-8508>.

Аннотация. Природа ядерного взаимодействия в настоящее время остается одной из актуальных проблем ядерной физики и ядерной астрофизики. В частности, при исследовании процессов первичного нуклеосинтеза вопросы о природе и структуре легких ядер, таких как ${}^5\text{He}$ и ${}^5\text{Li}$, во многом остаются открытыми и требуют более детального анализа с учетом различных подходов. Поскольку данные ядра являются неустойчивыми резонансными системами, определение их спектральных характеристик играет важную роль в понимании свойств ядерных сил на малых расстояниях. Одним из таких подходов является хорошо зарекомендовавшее себя кластерное приближение, в рамках которого ядра рассматриваются как системы взаимодействующих нуклонных кластеров. Кластерная модель позволяет дать физически наглядную интерпретацию

структуры легких ядер и обеспечивает качественное описание природы резонансных состояний. Целью данного исследования является выявление особенностей ядерного взаимодействия при описании резонансных состояний ядер ${}^5\text{He}$ и ${}^5\text{Li}$ с позиций кластерной структуры. Для описания межкластерного взаимодействия используется алгебраическая версия метода резонирующих групп. Расчеты выполнены с использованием модифицированного потенциала Хасегавы-Нагаты. В ходе исследования полученные энергии и ширины рассматриваемых резонансов были сопоставлены с экспериментальными данными. В результате расчетов установлено, что резонансная энергия основного состояния ядра ${}^5\text{He}$ составляет 0,78 МэВ при ширине 0,68 МэВ. Для ядра ${}^5\text{Li}$ соответствующие значения составляют 1,60 МэВ и 1,32 МэВ. Полученные результаты находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными. Таким образом, полученные данные подтверждают точность выбранного метода и свидетельствуют об эффективности применения данной модели для описания рассматриваемых задач.

Ключевые слова: кластеры, микроскопическая двухкластерная модель, метод резонирующих групп, легкие ядра, резонансные состояния

Кіріспе. Бұл жұмыстың шеңберінде ядролық әсерлесудің табиғатын зерттеу мақсатында, алғашқы нуклеосинтез кезінде альфа бөлшек пен нейтронның шашырауы нәтижесінде пайда болған ${}^5\text{He}$ және альфа бөлшек пен протонның шашырауы нәтижесінде пайда болған ${}^5\text{Li}$ жеңіл ядроларының резонансты күйлері зерттеуге алынды.

Ядролық күштердің табиғатын зерттеуге деген қызығушылық ғалымдарды тұрақтылық аймағынан тысқары жатқан ядролардың резонанстық күйлерін зерттеуге бағыттайды. Резонансты күйлерді зерттеудің маңыздылығының себебі, олар әсерлесуші бөлшектер белгілі бір энергия мәніне жеткенде ыдырай отырып, ұзақ уақыт өмір сүруге бейімді. Басқа да энергетикалық диапазонда немесе басқа кванттық сандарда бұндай күйлер пайда болмайды. Осылайша резонанстық күйлерді зерттеу ядролық әсерлесулердің табиғатын жақсырақ түсінуге мүмкіндік береді.

${}^5\text{He}$ және ${}^5\text{Li}$ жеңіл ядролары айналық ядролар болып табылады. Олар бірдей массалар санын құрайды, бірақ бірінде нейтрондар саны көп болса, екіншісінде протондар саны көп. Бұл ядролар ұқсас құрылымға ие болғанымен, энергетикалық деңгейлерде зарядтық өзгешелікке байланысты сәйкессіздік пайда болады. Атап айтқанда кулондық эффектінің әсерінен ${}^5\text{Li}$ ядросында энергетикалық деңгейлер жоғарылайды, сәйкесінше резонанс ені де өзгереді.

Зерттеу материалдары мен әдістері. Бұл жұмыста атом ядролының әртүрлі қозған және байланысқан күйлерінің есептеулерін жүргізу үшін екікластерлік микроскопиялық модель қолданылды (Wheeler, 1937; Ikeda et al., 2010; Horiuchi and Beck, 2010). Екікластерлік микроскопиялық моделінің математикалық тұжырымдамасы резонансты топтар әдісінің алгебралық нұсқасы болып табылады. Алгебралық нұсқаның негізгі ерекшелігі, байланысқан және үздіксіз спектр жағдайында кластерлердің салыстырмалы қозғалысын сипаттау үшін

осцилляторлық функциялардың толық жиынын қолдану (Wildermuth and Tang, 1977; Tang et al., 1978).

Резонанстық топтар әдісінің шеңберінде екікластерлік жүйенің толық функциясы келесі түрде беріледі:

$$\Psi_J = \hat{A}\{[\varphi_1(A_1)\varphi_2(A_2)]_s \psi_{LS}^J(\vec{q})\} \quad (1)$$

мұндағы $\varphi_1(A_1)$ – бірінші кластерді құрайтын A_1 нуклондар жиынының ішкі қозғалысының толқындық функциясы, $\varphi_2(A_2)$ – екінші кластерді құрайтын A_2 нуклондар жиынының ішкі қозғалысының толқындық функциясы. Екі функция да жеке нуклонның кеңістіктік, спиндік, изоспиндік айнымалыларынан тәуелді. Екі функциядағы нуклондардың орын ауыстыруына байланысты антисимметриялы. Резонанстық топтар әдісінде, бұл функциялар белгілі деп болжай аламыз. Ал $\psi_{LS}^J(\vec{q})$ функциясы, кластерлердің бір-біріне қатысты салыстырмалы қозғалысын сипаттайтын толқындық функцияның динамикалық теңдеуін шешу арқылы табылады. Бұл функция, кластерлер арасындағы арақашықтықты анықтайтын \vec{q} Якоби векторының функциясы болып табылады (Saito, 1969).

Резонансты топтар әдісінің алгебралық нұсқасы шеңберінде кластераралық әсерлесудің жіктелуі орындалады, $\psi_{LS}^J(\vec{q})$ толқындық функциясы үшөлшемді гармоникалық осцилляторлардың базистік қатарына жіктеледі:

$$\psi_{LS}^J(\vec{q}) = \sum_{n=n_0}^{\infty} C_{nL} \psi_{nL}(q, r_0) \quad (2)$$

мұндағы C_{nL} – жіктелу коэффициенті, q – Якоби векторының модулі. $\psi_n(q, r_0)$ осцилляторлық функциясының түрін келесі жұмыстан көруге болады (Filiprov and Okhrimenko, 1981). Осцилляторлық функция ортонормаланған функциялар жиынынан тұратын болғандықтан, кез келген екікластерлік жүйенің толқындық функциясын осы функцияларға жіктеуге болады.

Екікластерлік жүйенің толқындық функциясы (1), (2) теңдеулерін ескере отырып Фурьенің жалпыланған қатары түрінде қарастырыла алады (Filiprov, 1981)

$$\Psi_J = \sum_{n=n_0}^{\infty} C_{nL} \Psi_{nL} \quad (3)$$

Бұл өз кезегінде келесідей жіктеу коэффициенттерінің алгебралық теңдеулерінің жиынтығын береді:

$$\sum_{m=n_n}^{\infty} [(\vec{n}L | \hat{H} | \vec{m}L) - E \delta_{n,m}] C_{mL} = 0 \quad (4)$$

мұндағы \hat{H} – ядро гамильтонианы, E – ядролық жүйенің толық энергиясы, ал

$$\Psi_{nL} = \hat{A}\{\varphi_1(A_1)\varphi_2(A_2)\psi_{nL}(q, b)Y_{LM}(\vec{q})\} \quad (5)$$

кластерлік осциллятордың көп өлшемді функциясы.

Кіріс параметрлері. ^5He және ^5Li ядролары үшін тәжірибелік мәнге жақын байланыс энергиясын алу үшін есептеудің кіріс параметрлеріне өңдеу жүргізу қажет. Екі-кластерлік табалдырықтың энергиясын минимизациялау үшін модельдің еркін параметрі болып табылатын b – осцилляторлық ұзындық таңдап алынды. Бұл параметрдің таңдап алынуы ^5He және ^5Li ядроларындағы альфа бөлшектің ішкі құрылымын тиімді түрде сипаттауды қамтамасыз етеді. Сонымен қатар басым екі-кластерлік табалдырыққа қатысты ^5He және ^5Li ядроларының ең төменгі резонансты күйлерін көрсету үшін Хасегава-Нагата потенциалының m Майоран параметріне де кішігірім өңдеу жүргізілді.

Екі-кластерлік жүйелердің үздіксіз спектрін анықтау үшін бұл жұмыста модификацияланған Хасегава-Нагата потенциалы (МННР) қолданылды (Hasegawa, 1971). МННР – бұл потенциал, жеңіл ядролардың кластерлік құрылымын зерттеу үшін арнайы шығарылған потенциал. Бұл потенциал резонанстық топтар әдісінің әртүрлі нұсқаларында ядроның құрылымын және ядролық реакцияларды зерттеуде жиі қолданылады. Өзіндік ерекшелігі бар бұл потенциал, центрге тартқыш және спин-орбиталық компоненттерден, сонымен қатар протондар арасындағы кулондық күштерді сипаттайтын компоненттен тұрады:

$$V_{\alpha} = V_{LS} + V_{\alpha} + V_{\tau} \quad (6)$$

Центрлік компоненті:

$$V_{\alpha}(r_{ij}) = \sum_{n=1}^3 \left(w_c^{(n)} + m_c^{(n)} P_{ij}^M + b_c^{(n)} P_{ij}^B + h_c^{(n)} P_{ij}^H \right) \cdot V_{c_0}^{(n)} \cdot e^{(-\mu_c^{(n)} r_{ij}^2)} \quad (7)$$

Спин-орбиталдық компоненті:

$$V_{LS}(r_{ij}; \sigma_i, \sigma_j) = \sum_{n=1}^2 \left(w_{LS}^{(n)} + m_{LS}^{(n)} P_{ij}^M \right) \cdot V_{LS_0}^{(n)} \cdot e^{(-\mu_c^{(n)} r_{ij}^2)} \quad (8)$$

мұндағы n – Гаусс функцияларының саны, μ – күш радиусының квадратына кері параметр, σ_i – i -ші нуклонның спин операторы, τ_i – изоспиндік айнымалы, алмасу операторлары (P^M – Майоран, P^B – Бартлетт, P^H – Гейзенберг операторлары), алмасу параметрлері (m – Майоран, b – Бартлетт, h – Гейзенберг параметрлері), w – Вигнер параметрі. m, b, h, w – 0 ден 1-ге дейін өзгертін өлшемсіз параметрлер.

Кіріс параметрлерінің нақты мәндері 1-кестеде келтірілген, мұндағы b – осцилляторлық ұзындық, m – Майоран параметрі. Майоран параметрінің бастапқы мәні $m_0 = 0,4057$ -ға тең. Кестеде Майоран параметрінің осы шамаға қатысты модификациясы келтірілген, көрсетілгендей келтірілген өзгеріс шамасы өте аз.

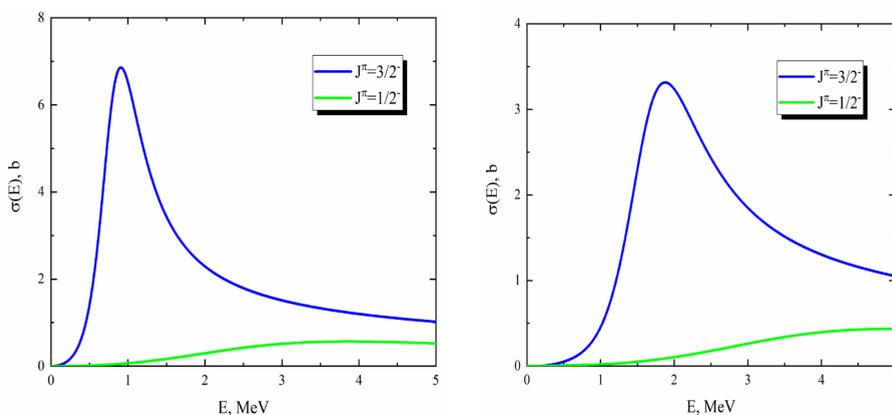
Модификацияланған Хасегава-Нагата потенциалындағы спин-орбиталық бөлігінің әсері тым үлкен болғандықтан, физикалық емес нәтижелер алмау үшін f_{LS} көбейткішін вариациялық көбейткіш ретінде енгіземіз (Kalzhigitov et al., 2023).

Кесте 1 – Есептеулердің кіріс параметрлері

Потенциал	Ядро	b, фм	Δm	f_{LS}
MHNP	${}^5\text{He}$ ${}^5\text{Li}$	1.317	0.000	0.50

Нәтижелер мен талқылаулар. Ядроның спині мен жұптылығын есептей отырып, ${}^5\text{He}$ және ${}^5\text{Li}$ ядроларының негізгі күйлері анықталды. ${}^5\text{He}$ ядросы үшін 1-ші $S_{\frac{1}{2}}$ қабаттың толтырылу ережесіне сай 2 протон мен 2 нейтрон орналасады да, ал 3-ші нейтрон келесі $P_{\frac{3}{2}}$ қабатта орналасады. Сонда негізгі күй үшін орбиталық момент $L=1$ (яғни p қабат) және толық механикалық момент немесе толық спин, $J=3/2$ болатын күйде орналасады. $\pi = (-1)^L$ формуласына сәйкес, орбиталық момент $L=1$ -ге тең болғандықтан, сәйкесінше $\pi = (-1)^1 = -1$, яғни жұптылығы – теріс болады. Сонымен ${}^5\text{He}$ ядросының негізгі күйі келесідей түрге ие: $J^{\pi} = \frac{3}{2}^{-}$. Сонымен қатар бірінші қозған күйі де есептелінді. Бұл жерде $L=1$, $J=3/2$, онда бірінші қозған күйдің түрі келесідей жазылады: $J^{\pi} = \frac{1}{2}^{-}$. ${}^5\text{Li}$ ядросының негізгі және бірінші қозған күйі де осыған сәйкес есептелінді, олар да ${}^5\text{He}$ ядросының күйлері сияқты түрге ие: $J^{\pi} = \frac{3}{2}^{-}$ және $J^{\pi} = \frac{1}{2}^{-}$.

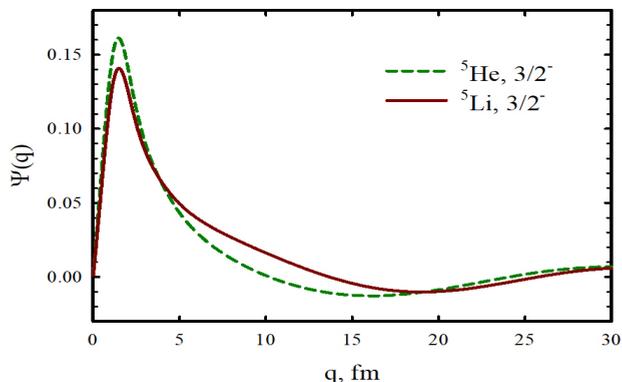
1-суретте ${}^5\text{He}$ және ${}^5\text{Li}$ ядроларының шашырау қималары бейнеленген. Суреттен шашырау қимасының күрт өсуін байқауға болады, бұл белгілі бір энергияның мәнінде резонанс бар екендігінің көрінісін білдіреді. Сонымен қатар суреттерден $\frac{1}{2}^{-}$ күйінің резонансы негізгі күйдің $\frac{3}{2}^{-}$ резонансына қарағанда кеңірек екендігін байқауға болады.



Сурет 1. а) $\alpha + {}^1_0n \rightarrow {}^5_2\text{He}$ реакциясының шашырау қималары.
б) $\alpha + {}^1_1p \rightarrow {}^5_3\text{Li}$ реакциясының шашырау қималары.

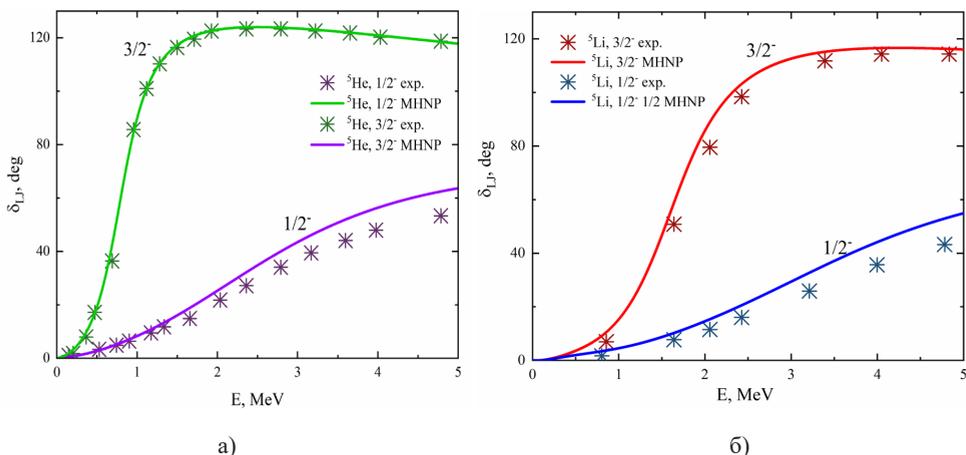
2-суретте бейнеленген ${}^5\text{He}$ және ${}^5\text{Li}$ ядроларының негізгі күйлерінің толқындық функциялары өте аз кластераралық қашықтықта түйіннің бар екендігін көрсетеді. Негізгі күйдің толқындық функциясы қарапайым екі бөлшектік кванттық

жүйелерде түйін құрамайды, ал екі-кластерлік жүйелерде Паули принципінің әсері негізінде олар сөзсіз пайда болады. Мұндай түйіндердің бар болуы ядролардың кластерлік құрылымына тән көрініс болып табылады және өз кезегінде толқындық функцияның нуклондар бойынша антисимметризациялау қажеттілігін көрсетеді.



Сурет 2. ${}^5\text{He}$ және ${}^5\text{Li}$ ядроларының негізгі күйлерінің координаталық кеңістіктегі $J^\pi = \frac{1}{2}^-$ толқындық функциялары.

Сонымен қатар ${}^5\text{He}$ и ${}^5\text{Li}$ ядроларының фазалық ығысулары, яғни шашырау бұрыштарының шашырау энергияларынан тәуелділігі қарастырылды. Альфа-бөлшек пен нейтрондардың серпімді шашырауларының фазалық ығысулары 3(а)-суретте келтірілген. Аналогиялық түрде альфа-бөлшек пен протондардың серпімді шашырауларының фазалық ығысулары 3(б)-суретте келтірілген. Бұл графиктерден $J^\pi = \frac{1}{2}^-$ және $J^\pi = \frac{3}{2}^-$ күйлерінің фазалық ығысулары толық орбиталық моменттің $L=1$ мәнінде резонанстық сипатқа ие екендігі көрініп тұр.



Сурет 3. а) $\frac{3}{2}^-$ және $\frac{1}{2}^-$ кванттық сандарымен алынған ${}^5_2\text{He}$ ядросының б) $\frac{3}{2}^-$ және $\frac{1}{2}^-$ кванттық сандарымен алынған ${}^5_3\text{Li}$ ядросының МНП потенциалын қолдану арқылы AV RGM әдісімен алынған фазалық ығысуларының (δ) шашырау энергиясынан (E) тәуелділігі.

Резонанс байқалатын күйлердің резонанс параметрлері, яғни E резонанс энергиясы мен Γ резонанс ені резонансты топтар әдісінің алгебралық нұсқасы (AV RGM) арқылы есептелінді. Нуклон-нуклондық потенциал ретінде модификацияланған Хасегава-Нагата потенциалы (MHNP) таңдап алынды және есептеу нәтижелері келесі мәліметтерді көрсетті:

${}^5\text{He}$ ядросында $\frac{3^-}{2}$ күйі үшін резонанс энергиясының шамасы $E = 0,78 \text{ МэВ}$ құрайды және резонанс енінің шамасы $\Gamma = 0,68 \text{ МэВ}$ құрайды. Ал $\frac{1^-}{2}$ күйі үшін резонанс энергиясының шамасы $E = 2,12 \text{ МэВ}$ құрайды және резонанс енінің шамасы $\Gamma = 5,96 \text{ МэВ}$ құрайды.

${}^5\text{Li}$ ядросында $\frac{3^-}{2}$ күйі үшін резонанс энергиясының шамасы $E = 1,60 \text{ МэВ}$ құрайды және резонанс енінің шамасы $\Gamma = 1,32 \text{ МэВ}$ құрайды. Ал $\frac{1^-}{2}$ күйі үшін резонанс энергиясының шамасы $E = 3,00 \text{ МэВ}$ құрайды және резонанс енінің шамасы $\Gamma = 7,30 \text{ МэВ}$ құрайды.

Бұл әдіспен алынған мәндер тәжірибелік мәндермен салыстырылды, сонымен қатар AV RGM (Filippov & Okhrimenko, 1981) әдісі арқылы алынған резонанс параметрлері және тәжірибелік мәндер 2-кестеде келтірілген.

2-кестеден AV RGM әдісі арқылы есептелінген резонанс параметрлері тәжірибелік мәндерге жақын екендігі көрініп тұр, бұл салыстыруды 3-суретте бейнеленген графиктен байқауға болады.

Кесте 2 – ${}^5\text{He}$ және ${}^5\text{Li}$ ядролары үшін MHNP потенциалын қолдану арқылы AV RGM әдісімен алынған резонанс параметрлерінің мәндері. Салыстыру үшін (Tilley et al., 2002) жұмысынан тәжірибелік мәндер келтірілген.

Ядро	J^π	L	S	AV RGM (Filippov & Okhrimenko, 1981)		Тәжірибе (Tilley et al., 2002)	
				MHNP (Hasegawa, 1971)		E, МэВ	Γ , МэВ
				E, МэВ	Γ , МэВ		
${}^5\text{He}$	$\frac{3^-}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	0,78	0,68	0,80	0,65
	$\frac{1^-}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	2,12	5,96	2,07	5,57
${}^5\text{Li}$	$\frac{3^-}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	1,60	1,32	1,69	1,23
	$\frac{1^-}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	3,00	7,30	3,18	6,60

MHNP потенциалын қолдану арқылы есептелген AV RGM әдісінің көрсеткішінің тәжірибелік мәндермен сәйкес келуі таңдап алынған потенциалдың ерекшелігіне байланысты. Модификацияланған Хасегава-Нагата потенциалы әсерлесудің үш түрін ескереді: кулондық әсерлесу, центрлік әсерлесу және спин-орбиталық әсерлесу.

Суреттерден көріп тұрғанымыздай ${}^5\text{He}$ және ${}^5\text{Li}$ айналық ядроларының резонансты күйлерін зерттеу зарядтық айырмашылықтың әсерін және

құрылымдық үйлесімін көрсетуге мүмкіндік береді. ${}^5\text{Li}$ ядросында ${}^5\text{He}$ ядросына карағанда протондар саны көбірек болғандықтан, кулондық әсерлесудің әсерінен резонанстық күйдің энергиясы мен енінің ығысуы көрініс табады (Duisenbay et al., 2020; Kalzhigitov et al., 2021).

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, 2-кестеден ${}^5\text{Li}$ ядросының резонанс энергиялары көбірек мәнге ие, сонымен қатар резонанс ендері аса кең болып табылады. Бұл нәтиже зарядтық симметрияның бұзылуы туралы түсінікті және кулондық әсердің маңыздылығы туралы түсінікті толықтырады. Айналық ядроларға салыстыру жүргізу арқылы ядролық күштердің табиғатына тереңірек үніліп, олардың зарядтан тәуелділік ерекшеліктерін түсінуге болады (Kalzhigitov et al., 2023; Odsuren et al., 2019).

Қорытынды. Бұл жұмыста резонансты топтар әдісінің алгебралық нұсқасын негізге ала отырып ${}^5\text{He}$ және ${}^5\text{Li}$ жеңіл ядроларының резонансты күйлері зерттелінді. Есептеулер екікластерлік микроскопиялық модель аясында модификацияланған Хасегава-Нагата потенциалы арқылы жүзеге асырылды. Зерттеу нәтижесінде негізгі күйдегі ${}^5\text{He}$ ядросының резонанс энергиясы $0,78$ МэВ, ал ені $0,68$ МэВ болатыны анықталды. Сәйкесінше ${}^5\text{Li}$ ядросының параметрлері $1,60$ МэВ және $1,32$ МэВ құрайтыны белгілі болды. Бұл нәтижелер тәжірибелік мәндермен жақсы үйлесім таба білді.

Микроскопиялық екікластерлік жүйені зерттеуге қолданылған - резонансты топтар әдісінің алгебралық нұсқасы, резонанс параметрлерін нақты сипаттайды және ядролық құрылымды зерттеуде жақсы құрал болып табылады деп қорытынды жасауға болады. Бұл әдіс жеңіл ядролардың қасиеттерін жақсы сипаттау арқылы, жұлдыздардағы нуклеосинтезді терең түсінуге жол ашады.

References

- Duisenbay A.D., Kalzhigitov N., Kato K., Kurmangaliyeva V.O., Takibayev N., Vasilevsky V.S. (2020) Effects of the Coulomb interaction on parameters of resonance states in mirror three-cluster nuclei. *Nuclear Physics A*, 996. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2020.121692> (in Eng.).
- Filippov G.F. (1981) On taking into account correct asymptotic behavior in oscillator-basis expansions. *Soviet Journal of Nuclear Physics*, 33. – P. 488-489. (in Eng.).
- Filippov G.F., Okhrimenko I. (1981) Use of an oscillator basis for solving continuum problems. *Soviet Journal of Nuclear Physics*, 33. – P. 480-484. (in Eng.).
- Hasegawa A. (1971) Ground state of ${}^6\text{Li}$. *Progress of Theoretical Physics*, 45(6). – P. 1786-1807. DOI: <https://doi.org/10.1143/PTP.45.1786> (in Eng.).
- Horiuchi H., Beck C. (2010) Clusters in nuclei. *Lecture Notes in Physics*, 818. – P. 57. DOI: 10.1007/978-3-642-13899-7_2 (in Eng.).
- Ikeda K., Myo T., Kato K., Toki H., Beck C. (2010) Clusters in nuclei. *Lecture Notes in Physics*, 818. – P. 165. DOI: 10.1007/978-3-642-13899-7_5 (in Eng.).
- Kalzhigitov N., Kurmangaliyeva V.O., Takibayev N.Zh., Vasilevsky V.S. (2023) Resonance structure of 8Be within the two-cluster resonating group method. *Ukrainian Journal of Physics*, 68(1). – P. 3-18. DOI: <https://doi.org/10.15407/ujpe68.1.3> (in Eng.).
- Kalzhigitov N., Vasilevsky V.S., Takibayev N.Zh., Kurmangaliyeva V.O. (2021) Effect of cluster polarization on the spectrum of the 6Li nucleus. *Acta Physica Polonica B Proceedings Supplement*, 14. – P. 711-717. DOI: <https://doi.org/10.5506/APHYSPOLBSUPP.14.711> (in Eng.).
- Lashko Yu.A., Filippov G.F., Vasilevsky V.S. (2015) Dynamics of two-cluster systems in phase space. *Nuclear Physics A*, 941. – P. 121-144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2015.06.006> (in Eng.).

Odsuren M., Khuukhenkhuu G., Kato K. (2019) Structure of continuum states of $A = 5$ mirror nuclei in the complex scaling method. *Acta Physica Polonica B*, 50(3). – P. 417-424. DOI: <https://doi.org/10.5506/aphyspolb.50.549> (in Eng.).

Saito S. (1969) Interaction between clusters and Pauli principle. *Progress of Theoretical Physics*, 41(3). – P. 705-722. DOI: <https://doi.org/10.1143/PTP.41.705> (in Eng.).

Tang Y.C., Lemere M., Thompson D.R. (1978) Resonating-group method for nuclear many-body problems. *Physics Reports*, 47. – P. 167-223. DOI: [https://doi.org/10.1016/0370-1573\(78\)90175-8](https://doi.org/10.1016/0370-1573(78)90175-8) (in Eng.).

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. – P. 3-163. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0375-9474\(02\)00597-3](https://doi.org/10.1016/S0375-9474(02)00597-3) (in Eng.).

Wheeler J.A. (1937) On the mathematical description of light nuclei by the method of resonating group structure. *Physical Review*, 52. – P. 1107-1122. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.52.1107> (in Eng.).

Wildermuth K., Tang Y.C. (1977) *A unified theory of the nucleus*. Braunschweig: Vieweg Verlag. DOI: [10.1007/978-3-322-85255-7](https://doi.org/10.1007/978-3-322-85255-7) (in Eng.).

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP

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 journals of the Central Asian Academic Research Center LLP 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 Central Asian Academic Research Center LLP 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 Central Asian Academic Research Center LLP.

The Editorial Board of the Central Asian Academic Research Center LLP will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

**[www:nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)
ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)
<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>**

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*
Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*
Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 16.03.2026.

Формат 60x881/8.

18,0 п.л. Заказ 1.