

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

**ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№2
2026**

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

2026 • 2



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 of the Research Institute of Petroleum Refining and Petrochemicals (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960> <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Editorial Board:

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

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 Tlekkaul Sabitovich, (Deputy Editor-in-Chief), 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>

ABILMAGZHANOV Arlan Zainutallaevich, PhD in Chemistry, First Deputy Director General 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>

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 Жұрыңұлы, 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/authid/detail.uri?authorId=6602177960%2017489>; <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакция ұжымы:

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

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мыңжасарұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, "Фитохимия" ғылыми-өндірістік орталығы " АҚ директоры (Қарағанды, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/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/authid/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/authid/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/authid/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

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

САНГ-СУ Квак, PhD (биохимия, агрохимия), профессор, Корея Биология және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIIBV), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері, (Дэчон, Корея), <https://www.scopus.com/authid/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/authid/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

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

БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/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/authid/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/authid/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/authid/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/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/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/authid/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

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

ӘБІЛМАҒЖАНОВ Арлан Зайнуталлайұлы, химия ғылымдарының кандидаты, Д.В. Сокольский атындағы "Отын, катализ және электрохимия институты" АҚ Бас директорының бірінші орынбасары, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

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 МАН и НАН РК, Генеральный директор НИИ нефтепереработки и нефтехимии (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960%3Cp%3Ehttps://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакционная коллегия:

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>

АДЕКЕНОВ Сергезы 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>

ОЛИВЬЕРО Росси 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), (Джэон, Корея), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендинович, 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 Авгазыевич, 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 Мухамбеткали, 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 им. 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 Жабағәевич, 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 Медеу 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>

АБИЛМАТЖАНОВ Арлан Зайнуталлаевич, кандидат химических наук, первый заместитель генерального директора 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>

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>

© ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр», 2026

CONTENTS

PHYSICS

Koshtybayev T.B., Aliev Sh., Aliyeva M.E., Zhavliyeva A.T. Covariant approach to the kinetic theory of plasma in a strong electromagnetic field.....	13
Kemelbekova A., Shongalova A., Bondar E., Otunchi Ye. Recycling technologies for spent lithium-ion batteries: environmental impact, recovered products, and future development trends.....	25
Koilyk N., Baimbetova G., Dalelkhankyzy A., Kaptagay G., Primkulova Zh. Simplification of the fermionic dynamical symmetry model for identical particles and its mapping into bosonic space.....	38
Massak B., Agyl-Mussapar O., Amangeldinova S., Kurmangaliyeva V., Snow M. Constraints on Yukawa-Type short-range interactions from neutron interferometry data.....	60
Nurbayev B.M., Dmitriyeva E.A. Tin-based perovskites.....	70
Nurtazina A.S., Zhubaev A.K. Study of the effect of highly dispersed ochre on the kinetic characteristics of epoxy composites.....	92
Shokanov A.K., Khamrayev Sh.I., Smikhan Y.A. Mössbauer studies of fly ash-based tracers.....	103
Ualikhanova U.A., Kurban Y.Y., Syzdykova A.M., Altayeva G.S., Altaibayeva A.B. Breaking the degeneracy between metric and teleparallel gravity theories through multi-messenger gravitational-wave astronomy.....	119
Zhadyranova A.A., Yerzhan B. Dynamics of bounce regimes in modified teleparallel gravity.....	134
Zhusupova N.K. Application of machine learning methods in the analysis of gravitational waves and cosmological models.....	151

CHEMISTRY

Aubakirov Ye., Akhmetova F., Tashmukhambetova Zh., Toshtay K., Amantaiuly K. Conversion of Polymer Waste into Synthetic Fuel via Modification of Taizhuzhen Zeolite with Tungsten Salts.....	164
Auyeshov A.P., Eskibayeva Ch.Z., Ibrayeva A.M., Alzhanov K.B., Dikanbayeva A.K. Physicochemical study of serpentinite waste and phosphoric acid products.....	175
Bayeshova A.K., Bayeshov A., Tuleshova E.Zh. Reduction of copper ions by zinc in the presence of titanium(iv) ions in sulfuric acid solutions.....	188

Fazylov S.D., Syzdykov A.K., Pustolaikina I.A., Kazhmuratova A.T., Tazhibay A.M. Production of α -, β -, γ -oligosaccharide clathrate cytosine complexes.....	200
Jalmakhanbetova R.I., Yelshibayeva A.M., Zhumagaliyeva Zh.Zh., Mukusheva G.K. Terpenoid compounds of <i>Artemisia terrae-albae</i> growing in the Turkestan Region of Kazakhstan.....	213
Kapizov O.S., Mukhanov D.K., Dzheldybaeva I.M., Seisenov E.B., Akimbayeva A.B. Sustainable recycling of ferrosilicon machining chips from metallurgical plants into high-performance silicon–carbon anodes.....	228
Massalimova B.K. Wastewater treatment methods for heavy metal removal: production of activated carbon from biomass.....	244
Nurtai Zh., Orynassar R., Aimaganbetova Z.K., Zhanturina N.N. Simulation of kinetic parameters of vinyl ester resin samples with diatomite and dimethyl methylphosphonate fillers.....	272
Sagyntayeva A., Zhanikulov N., Sudarev E., Kaiyrbaeva M., Zhakipbayev B. Research on the quality of raw materials for obtaining gypsum-cement-pozzolanic composite material.....	286
Satayeva S., Yermukhanova S., Urazova A., Mendygaliyeva A., Sabitov B. Obtaining benzene by photocatalytic oxidation of toluene.....	302
Sdikova G.Zh., Dalabayeva N.S., Sarova N.B., Muhtar T.Zh., Zhaltirbayeva N.K. Efficiency of phosphorus-containing inhibitors in protecting steel against corrosion.....	315
Shaimardan M., Azhikhanova Z., Abutalip M., Toktarbaiuly O. Isolation and Characterization of lignin from <i>Phlomis tuberosa</i> L. biomass via acid treatment.....	329
Yesimsiitova Z.B., Seisenova A., Oryngaliyeva S.Zh., Sanuar A., Manap K.R. Obtaining carbonized materials from rice husk using a mobile pyrolysis plant for energy applications.....	338
Zhetenova M.S., Suleimenova M.Sh., Nuraly A.M., Mutushev A.Zh., Kalimoldina L.M. Development and research of carotenoid-containing extracts obtained from plant raw materials.....	353
Zhortarova A.A., Kubicek V., Salkeyeva L.K., Ibrayev M.K., Seidakhmetova R.B. Synthesis and investigation of biological activity of 1,3-Bis(4-Phenylthiazol-2-yl)-2,4-Bis(N,N- Diethylamino)-1,3-Diaza-2,4-Diphosphétidine.....	367
Zhumabek M., Tungatarova S.A., Murzin D.Yu., Baizhumanova T.S. Structural and catalytic properties of SCS-derived Co–Al–Mg–Mn catalysts in dry reforming of methane.....	383

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

Қоштыбаев Т.Б., Алиев Ш., Алиева Е.М., Жавлиева А.Т. Күшті электромагниттік өрістегі плазманың кинетикалық теориясына коварианттық көзқарас.....	13
Кемелбекова А., Шонғалова А., Бондарь Е., Отунчи Е. Пайдаланылған литий-ионды аккумуляторларды қайта өңдеу технологиялары: экологиялық әсері, алынатын өнімдер және болашақ даму бағыттары.....	25
Қойлық Н.О., Байымбетова Г.А., Дәлелханқызы А., Қаптағай Г.А., Примкулова Ж.Е. Бірдей бөлшектер үшін фермионды динамикалы-симметриялық модельді ықшамдау және оны бозондық кеңістікке бейнелеу.....	38
Масақ Б., Ағыл-Мұсапар О., Амангелдинова С., Курманғалиева В., Сноу М. Нейтрондық интерферометрия негізінде юкава типті қысқа-қашықтықтағы өзара әсерлесулерге шектеулер қою.....	60
Нұрбаев Б.М., Дмитриева Е.А. Қалайы негізіндегі перовскиттер.....	70
Нуртазина А.С., Жубаев А.К. Дисперстілігі жоғары охраның эпоксидті композиттердің кинетикалық сипаттамаларына ықпалын зерттеу.....	92
Шоканов А.К., Хамраев Ш.И., Смихан Е.А. Ұшқыш күл негізіндегі трассерлердің мессбауэрлік зерттеулері.....	103
Уалиханова У.А., Құрбан Е.Е., Сыздыкова А.М., Алтаева Г.С., Алтайбаева А.Б. Көп арналы гравитациялық-толқындық астрономия арқылы метрикалық және телепараллельді гравитация теорияларының айырмашылығын зерттеу.....	119
Жадыранова А.А., Ержан Б. Модификацияланған телепараллель гравитациядағы серпіліс режимдерінің динамикасы.....	134
Жусупова Н.К. Машиналық оқыту әдістерін гравитациялық толқындар мен космологиялық модельдерді талдауда қолдану.....	151

ХИМИЯ

Аубакиров Е., Ахметова Ф., Ташмұхамбетова Ж., Тоштай Қ., Амантайұлы Қ. Тайжүзген цеолитін вольфрам тұздарымен модификациялау арқылы полимер қалдықтарын синтетикалық отынға түрлендіру.....	164
Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З., Ибраева А.М., Алжанов К.Б., Диканбаева А.К. Серпентинит қалдықтарының фосфор қышқылымен әрекеттесу өнімдерінің физика-химиялық зерттелуі.....	175

Башова А.К., Башов А.Б., Түлешова Э.Ж.

Мыс иондарын күкіртқышқылды ерітінділерде титан (IV) иондары қатысында мырышпен тотықсыздандыру.....188

Фазылов С.Д., Сыздықов А.Қ., Пустолайкина И.А., Қажмұратова А.Т., Тәжібай А.М.
Цитизиннің α -, β -, γ -олигосахаридтермен клатраттыкешендерін алу.....200

Джалмаханбетова Р.И., Елшібаева А.М., Жумагалиева Ж.Ж., Мукушева Г.К.
Қазақстанның Түркістан өңірінде өсетін *Artemisia terrae-albae* терпеноидты қосылыстары.....213

Капизов О.С., Муханов Д.К., Желдыбаева И.М., Сейсенов Е.Б., Акимбаева А.Б.
Металлургиялық зауыттардың ферросилиций жоңқаларын жоғары өнімді кремний-көміртекті анодтарға тұрақты қайта өңдеу.....228

Масалимова Б.К.
Ауыр металдардан ағын суларды жою әдістері: биомассада белсендендірілген көміртек алу.....244

Нуртай Ж., Орынбасар Р.О., Аймағанбетова З.К., Жантурина Н.Н.
Диатомит пен диметил метилфосфонат толтырғыштары бар винилэфир шайыр үлгілерінің кинетикалық параметрлерінің модельдеу.....272

Сағынтаева А., Жаниқұлов Н., Сударев Е., Қайырбаева М., Жакипбаев Б.
Гипс-цемент-пуццоланды композициялық материал алу үшін қажетті шикізаттардың сапасын зерттеу.....286

Сатаева С., Ермуханова С., Уразова А., Мендығалиева А., Сабитов Б.
Толуолдың фотокаталитикалық тотығуы арқылы бензол алу.....302

Сдикова Г.Ж., Далабаева Н.С., Сарова Н.Б., Мұхтар Т.Ж., Жалтырбаева Н.К.
Фосфор ингибиторлардың болаттың жемірілуіне қарсы тиімділігі.....315

Шаймардан М., Ажиханова Ж., Әбутәліп М., Тоқтарбайұлы О.
Phlomis Tuberosa L. өсімдігі биомассасынан лигнинді қышқылдық өңдеу арқылы бөліп алу және сипаттау.....329

Есимсиитова З.Б., Сейсенова А., Орынғалиева С.Ж., Сануар А., Манап К.Р.
Энергиялық қолдану үшін жылжымалы пиролиз қондырғысын пайдалану арқылы күріш қауызынан көміртекті материалдар алу.....338

Жетенова М.С., Сүлейменова М.Ш., Нұралы Ә.М., Мутушев А.Ж., Калимолдина Л.М.
Өсімдік шикізатынан алынған құрамында каротиноид бар сығындыларды әзірлеу және зерттеу.....353

Жортарова А.А., Kubicek V., Салькева Л.К., Ибраев М.К., Сейдахметова Р.Б.
1,3-бис(4-фенилтиазол-2-ил)-2,4-бис(N,N-диэтиламино)-1,3-диазо-2,4-дифосфетидиннің
синтезі және биологиялық белсенділігін зерттеу.....367

Жұмабек М., Тунгатарова С.А., Мурзин Д.Ю., Байжуманова Т.С.
SCS әдісімен дайындалған Co–Al–Mg–Mn катализаторларының метанның құрғақ
реформингіндегі құрылымдық және каталитикалық қасиеттері.....383

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

Коштыбаев Т.Б., Алиев Ш., Алиева М.Е., Жавлиева А.Т.

Ковариантный подход к кинетической теории плазмы в сильном электромагнитном поле.....13

Кемелбекова А., Шонгалова А., Бондарь Е., Отунчи Е.

Технологии переработки отработанных литий-ионных аккумуляторов: экологическое воздействие, получаемые продукты и будущие направления развития.....25

Қойлық Н.О., Баймбетова Г.А., Дәлелханқызы А., Қаптағай Г.Ә., Примкулова Ж.Е.

Упрощение фермионной динамико-симметрической модели для идентичных частиц и её отображение в бозонное пространство.....38

Масақ Б., Ағыл-Мұсапар О., Амангелдинова С., Курмангалиева В., Сноу М.

Ограничения на юкавовские короткодействующие взаимодействия на основе нейтронной интерферометрии.....60

Нурбаев Б.М., Дмитриева Е.А.

Перовскиты на основе олова.....70

Нуртазина А.С., Жубаев А.К.

Исследование влияния высокодисперсной охры на кинетические характеристики эпоксидных композитов.....92

Шоканов А.К., Хамраев Ш.И., Смихан Е.А.

Мёссбауэровские исследования трассеров на основе летучей золы.....103

Уалиханова У.А., Курбан Е.Е., Сыздыкова А.М., Алтаева Г.С., Алтайбаева А.Б.

Разрешение вырождения метрических и телепараллельных теорий гравитации посредством многоканальной гравитационно-волновой астрономии.....119

Жадыранова А.А., Ержан Б.

Динамика отскоковых режимов в модифицированной телепараллельной гравитации.....134

Жусупова Н.К.

Применение методов машинного обучения при анализе гравитационных волн и космологических моделей.....151

ХИМИЯ

Аубакиров Е., Ахметова Ф., Ташмухамбетова Ж., Тоштай К., Амантайулы К.

Конверсия полимерных отходов в синтетическое топливо путем модификации цеолита тайжугзен солями вольфрама.....164

Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З., Ибраева А.М., Алжанов К.Б., Диканбаева А.К. Физико-химическое исследование продуктов взаимодействия серпентинитовых отходов и фосфорной кислоты.....	175
Баешова А.К., Баешов А.Б., Тулешова Э.Ж. Восстановление ионов меди цинком в присутствии ионов титана (IV) в растворах серной кислоты.....	188
Фазылов С.Д., Сыздыков А.К., Пустолайкина И.А., Кажмуратова А.Т., Тажибай А.М. Получение α -, β -, γ -олигосахаридных клатратных комплексов цитизина.....	200
Джалмаханбетова Р.И., Елшыбаева А.М., Жумагалиева Ж.Ж., Мукушева Г.К. Терпеноидные соединения <i>Artemisia terrae-albae</i> , произрастающего в Туркестанском регионе Казахстана.....	213
Капизов О.С., Муханов Д.К., Желдыбаева И.М., Сейсенов Е.Б., Акимбаева А.Б. Устойчивая переработка стружки ферросилиция металлургических заводов в высокопроизводительные кремний-углеродные аноды.....	228
Масалимова Б.К. Методы очистки сточных вод от тяжелых металлов: получение активированного угля из биомассы.....	244
Нуртай Ж., Орынбасар Р.О., Аймаганбетова З.К., Жантурина Н.Н. Моделирование кинетических параметров образцов винилэфирных смол с наполнителями из диатомита и диметилметилфосфоната.....	272
Сагынтаева А., Жаникулов Н., Сударев Е., Кайырбаева М., Жакипбаев Б. Исследование качества сырья для получения гипсо-цементно-пуццоланового композиционного материала.....	286
Сатаева С., Ермуханова С., Уразова А., Мендыгилиева А., Сабитов Б. Получение бензола методом фотокаталитического окисления толуола.....	302
Сдикова Г.Ж., Далабаева Н.С., Сарова Н.Б., Мухтар Т.Ж., Жалтырбаева Н.К. Эффективность фосфорсодержащих ингибиторов против коррозии стали.....	315
Шаймардан М., Ажиханова Ж., Абуталип М., Токтарбай О. Выделение и характеристика лигнина из биомассы <i>Phlomis Tuberosa</i> L. с помощью кислотной обработки.....	329
Есимсиитова З.Б., Сейсенова А., Орынгалиева С.Ж., Сануар А., Манап К.Р. Получение карбонизированных материалов из рисовой шелухи с использованием мобильной пиролизной установки для энергетических применений.....	338

**Жетенова М.С., Сулейменова М.Ш., Нуралы А.М., Мутушев А.Ж.,
Калимолдина Л.М.**

Разработка и исследование каротиноидсодержащих экстрактов, полученных
из растительного сырья.....353

Жортарова А.А., Kubicek V., Салькева Л.К., Ибраев М.К., Сейдахметова Р.Б.

Синтез и исследование биологической активности 1,3-бис(4-фенилтиазол-2-ил)-2,4-
бис(N,N-диэтиламино)-1,3-диазо-2,4-дифосфетидина.....353

Жумабек М., Тунгатарова С.А., Мурзин Д.Ю., Байжуманова Т.С.

Структурные и каталитические свойства Co–Al–Mg–Mn катализаторов, приготовленных
методом SCS, для сухого риформинга метана.....383

ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES
ISSN 2224-5227
Volume 2.
Number 358 (2026), 38–59

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.436>

UDC: 539.1.01

IRSTI: 539.1.01

©Koilyk N.¹, Baimbetova G.¹, Dalelkhankyzy A.², Kaptagay G.²,
Primkulova Zh.¹, 2026.

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan;

²Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan.

*E-mail: Zhazira_1001@mail.ru

SIMPLIFICATION OF THE FERMIONIC DYNAMICAL SYMMETRY MODEL FOR IDENTICAL PARTICLES AND ITS MAPPING INTO BOSONIC SPACE

Koilyk Nurgali — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: nurgali.koilyk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0281-0096>;

Baimbetova Gulzada — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: bgulzada_74@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4922-5310>;

Dalelkhankyzy Anar — PhD, Associate Professor, Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: dalelkhankyzy.d@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4974-2860>;

Kaptagay Gulbanu — PhD, Associate Professor, Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: gulbanu.kaptagai@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5586-7339>;

Primkulova Zhazira — Master's degree, Teacher, Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: Zhazira_1001@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-8783-2797>.

Abstract. In this paper, we study a simplified scheme of a fermionic dynamical-symmetric model designed to describe multiparticle nuclear systems with identical fermions. Interest in such an approach is related to the need to create more compact and computationally efficient methods for analyzing the collective properties of atomic nuclei while preserving the key features of the microscopic interaction of nucleons. The study considers the possibility of reducing the number of independent variables by identifying dominant collective paired states that play a major role in the formation of the core spectrum. Shell-nucleon description of the collective states of nuclei of medium and heavy atomic weight remains a difficult task. Therefore, the macroscopic study of collective excitations of the model has always been involved in the problem, the connection of which with the usual shell structure of nuclei was not strong. In



contrast, the fermionic dynamical-symmetric model proposed for describing collective excitations of multi-nucleon systems is directly related to the shell model of nuclei.

The main attention is paid to the procedure of mapping fermionic operators into bosonic space. This transition makes it possible to replace the complex description of the system of interacting fermions with a simpler algebraic scheme based on effective bosonic operators. It is shown that after the transformation, the structure of the Hamiltonian becomes much more compact, and the study of energy levels, collective excitations, and transition probabilities is significantly simplified.

Additionally, it is noted that the proposed method preserves the fundamental symmetric properties of the original fermionic model, thereby achieving a correct description of the physical characteristics of nuclear systems. The use of algebraic and group-theoretic methods expands the possibilities of analyzing spectral patterns and facilitates the interpretation of the results obtained. The proposed approach can be effectively applied in the study of spherical and weakly deformed nuclei, and also helps to reduce computational costs in problems of theoretical nuclear physics.

Keywords: fermionic model, dynamical symmetry, identical particles, model simplification, bosonic space, mapping (transformation), quantum system, operator formalism, second quantization, symmetry algebra

For citations: Koilyk N., Baimbetova G., Dalekhankyzy A., Kaptagay G., Primkulova Zh. *Simplification of the Fermionic Dynamical Symmetry Model for Identical Particles and Its Mapping into Bosonic Space. Academic Journal of Physical and Chemical Sciences.* 2026. No.2. Pp. 38–59. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.436>

©Қойлық Н.О.¹, Байымбетова Г.А.¹, Дәлелханқызы А.², Қаптағай Г.А.²,
Примкулова Ж.Е.¹, 2026.

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті,
Алматы, Қазақстан;

²Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан.

*E-mail: Zhazira_1001@mail.ru

БІРДЕЙ БӨЛШЕКТЕР ҮШІН ФЕРМИОНДЫ ДИНАМИКАЛЫ- СИММЕТРИЯЛЫҚ МОДЕЛЬДІ ЫҚШАМДАУ ЖӘНЕ ОНЫ БОЗОНДЫҚ КЕҢІСТІККЕ БЕЙНЕЛЕУ

Қойлық Нұрғали — физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан, E-mail: nurgali.koilyk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0281-0096>;

Байымбетова Гүлзада — физика-математика ғылымдарының кандидаты, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,
E-mail: bgulzada_74@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4922-5310>;

Дәлелханқызы Анар — PhD, қауымдастырылған профессор, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,
E-mail: dalekhankyzy.d@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4974-2860>;

Қаптағай Гүлбану — PhD, қауымдастырылған профессор, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: gulbanu.kaptagai@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5586-7339>;

Примкулова Жазира — магистр, оқытушы, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: Zhazira_1001@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-8783-2797>.

Аннотация. Бұл жұмыста бірдей фермиондардан тұратын көпбөлшекті ядролық жүйелерді сипаттауға арналған фермионы динамика-симметриялық модельдің ықшамдалған нұсқасы қарастырылады. Мұндай тәсілге қызығушылық ядролардағы нуклондардың микроскопиялық өзара әсерлесу ерекшеліктерін сақтай отырып, ұжымдық қасиеттерді сипаттаудың ықшам әрі есептеу тұрғысынан тиімді әдістерін құру қажеттілігімен байланысты болды. Зерттеу барысында ядро спектрінің қалыптасуында маңызды рөл атқаратын ұжымдық жұптық күйлерді бөліп көрсету арқылы тәуелсіз айнымалылар санын азайту мүмкіндігі талданады және көрсетілді. Орташа және ауыр атомдық массалы ядролардың ұжымдық күйлерін қабықшалық-нуклондық тұрғыдан сипаттау әлі де күрделі мәселелердің бірі болып отыр. Сондықтан, ұжымдық козуларды макроскопиялық түрде зерттейтін модельдер әрдайым үлкен қызығушылық тудырдумен қатар олардың ядролардың дәстүрлі қабықшалық құрылымымен байланысы жеткілікті түрде берік емес. Ал бұларға қарағанда, көпнуклонды жүйелердің ұжымдық козуларын сипаттауға ұсынылған фермионды динамика-симметрия моделі ядролардың қабықшалық моделімен тікелей байланысты болып табылады.

Негізгі назарда, фермиондық операторларды бозондық кеңістікке бейнелеу процедурасына аударылған болатын. Мұндай түрлендіру өзара әсерлесетін фермиондар жүйесінің күрделі сипаттамасын тиімді бозондық операторларға негізделген қарапайым алгебралық схемаға ауыстыруға мүмкіндік береді. Түрлендіруден кейін Гамильтониан құрылымының едәуір ықшамдалатыны, ал энергия деңгейлерін, ұжымдық козуларды және ауысу ықтималдықтарын зерттеу айтарлықтай жеңілдейтіні көрсетілді.

Сонымен қатар, ұсынылған әдіс бастапқы фермиондық модельдің негізгі симметриялық қасиеттерін сақтайтыны атап өтіледі. Бұл ядролық жүйелердің физикалық сипаттамаларын дұрыс бейнелеуге мүмкіндік береді. Алгебралық және теориялық-топтық әдістерді пайдалану спектрлік заңдылықтарды талдау мүмкіндіктерін кеңейтіп, алынған нәтижелерді түсіндіруді жеңілдетеді. Ұсынылған тәсіл сфералық және әлсіз деформацияланған ядроларды зерттеуде тиімді қолданылып, теориялық ядролық физикадағы есептеу шығындарын азайтуға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: көпбөлшекті ядролық жүйе, фермиондық құрылым, динамикалық симметрия, бозондық оператор, кванттық модель, ядролық спектр, екінші реттік кванттау әдісі, алгебралық әдіс, нуклон жұптары, теориялық түрлендірулер

©Койлык Н.О.¹, Баймбетова Г.А.¹, Дәлелханқызы А.², Қаптағай Г.Ә.²,
Примкулова Ж.Е.¹, 2026.

¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая,
Алматы, Казахстан;

²Казахский национальный женский педагогический университет,
Алматы, Казахстан.

*E-mail: Zhazira_1001@mail.ru

УПРОЩЕНИЕ ФЕРМИОННОЙ ДИНАМИКО-СИММЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИДЕНТИЧНЫХ ЧАСТИЦ И ЕЁ ОТОБРАЖЕНИЕ В БОЗОННОЕ ПРОСТРАНСТВО

Койлык Нұрғали — кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан,
E-mail: nurgali.koilyk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0281-0096>;

Баймбетова Гульзада — кандидат физико-математических наук, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан,
E-mail: bgulzada_74@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4922-5310>;

Дәлелханқызы Анар — PhD, ассоциированный профессор, Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан,
E-mail: dalelkhankyzy.d@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4974-2860>;

Қаптағай Гүлбану — PhD, ассоциированный профессор, Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан,
E-mail: gulbanu.kaptagai@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5586-7339>;

Примкулова Жазира — магистр, преподаватель, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан,
E-mail: Zhazira_1001@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-8783-2797>.

Аннотация. В данной работе исследуется упрощённая схема фермионной динамико-симметрической модели, предназначенной для описания многочастичных ядерных систем с идентичными фермионами. Интерес к подобному подходу обусловлен необходимостью разработки более компактных и вычислительно эффективных методов анализа коллективных свойств атомных ядер при сохранении основных особенностей микроскопического взаимодействия нуклонов. В исследовании рассматривается возможность сокращения числа независимых переменных путём выделения доминирующих коллективных парных состояний, играющих ключевую роль в формировании ядерного спектра. Следует отметить, что оболочечно-нуклонное описание коллективных состояний ядер среднего и тяжёлого массового диапазона по-прежнему остаётся сложной задачей. По этой причине значительный интерес традиционно вызывали макроскопические модели коллективных возбуждений, связь которых с классической оболочечной структурой ядра была недостаточно обоснована. В отличие от таких подходов фермионная динамико-симметрическая модель, предложенная для описания коллективных возбуждений многонуклонных систем, непосредственно связана с оболочечной моделью ядра и позволяет сохранить микроскопическую основу описания. Основное внимание в работе уделено процедуре отображения ферми-

онных операторов в бозонное пространство. Такой переход позволяет заменить сложное описание системы взаимодействующих фермионов более простой алгебраической схемой, основанной на эффективных бозонных операторах. Показано, что после соответствующего преобразования структура гамильтониана существенно упрощается, а исследование энергетических уровней, коллективных возбуждений и вероятностей переходов становится более удобным. Установлено, что предложенный подход сохраняет фундаментальные симметричные свойства исходной фермионной модели, обеспечивая корректное описание физических характеристик ядерных систем. Использование алгебраических и теоретико-групповых методов расширяет возможности анализа спектральных закономерностей и облегчает интерпретацию полученных результатов. Предложенная схема может эффективно применяться при исследовании сферических и слабодеформированных ядер, а также способствует снижению вычислительных затрат в задачах теоретической ядерной физики.

Ключевые слова: фермионная модель, динамическая симметрия, идентичные частицы, упрощение модели, бозонное пространство, отображение (преобразование), квантовая система, операторный формализм, вторичное квантование, алгебра симметрии

Кіріспе. Теориялық ядролық физиканың маңызды бағыттарының бірі – бір-дей бөлшектерден тұратын кванттық жүйелердің құрылымы мен динамикалық қасиеттерін зерттеу болып табылады. Мұндай жүйелердің физикалық қасиеттері олардың кванттық-статистикалық ерекшеліктерімен анықталады. Паули тыйым салу принципіне бағынатын фермиондар атом ядроларының құрылымын, энергетикалық спектрлерін және ядролық заттың қасиеттерін сипаттауда негізгі рөл атқарады. Сондықтан фермиондық жүйелерді зерттеу ядролық құбылыстардың микроскопиялық табиғатын түсінудің маңызды алғышарты болып саналады.

Көпбөлшекті ядролық жүйелерді сипаттауда динамикалық симметрия қағидаларына негізделген теориялық модельдер кеңінен қолданылады. Мұндай модельдер жүйенің ішкі симметрияларын анықтауға, ұжымдық қозғалыстардың ерекшеліктерін талдауға және энергетикалық деңгейлердің қалыптасу заңдылықтарын зерттеуге мүмкіндік береді. Алайда фермиондық модельдердің математикалық аппаратының күрделілігі оларды практикалық есептеулерде қолдануды қиындатады. Әсіресе, көпөлшемді конфигурациялық кеңістіктерді қарастырған жағдайда есептеу көлемі күрт өсіп, аналитикалық және сандық әдістердің тиімділігі төмендейді. Осыған байланысты фермиондық жүйелерді қарапайым әрі есептеу тұрғысынан тиімді формализмдер арқылы сипаттау теориялық ядролық физиканың өзекті мәселелерінің бірі болып табылады.

Соңғы жылдары фермиондық жүйелерді сипаттаудың ықшам және жоғары тиімді теориялық тәсілдерін әзірлеу мәселесі өзекті ғылыми бағыттардың біріне айналды. Солардың ішінде фермиондық операторларды бозондық операторлар жүйесіне бейнелеу әдісі ерекше орын алады. Бұл формализм көпфермионды жүйелердің күрделі динамикасын қарапайым математикалық құрылымға

келтіріп, есептеу процедураларын едәуір жеңілдетеді. Бұдан бөлек, бозондық бейнелеу ұжымдық қозғалыстар мен спектрлік заңдылықтарды зерттеуде көрнекі әрі тиімді құрал болып табылады.

Ядролық спектрлерді сипаттауда қабықшалық модель мен Бор–Моттelsonның ұжымдық үлгісі маңызды нәтижелер бергенімен, көпнуклонды жүйелердің симметриялық қасиеттерін толық ашып көрсету үшін неғұрлым жалпы теориялық тәсілдерді қолдану қажеттілігі сақталуда (Bohr et al., 1975). Осы тұрғыдан алғанда, топтық-теориялық әдістерге негізделген модельдер ерекше қызығушылық тудырады, өйткені олар ұжымдық қозғалыстар мен қозуларды унитарлық және ортогоналдық симметрия топтарының алгебралық құрылымдары арқылы сипаттауға мүмкіндік береді (Elliott, 1958; Wybourne, 1974). Мұндай тәсілдер ядролық жүйелердің спектрлік ерекшеліктерін зерттеуде тиімді құрал ретінде кеңінен пайдаланылуда.

Фермиондық динамикалық симметрия тұжырымдамасына сүйене отырып жүргізілген зерттеулер көпнуклонды жүйелердің микроскопиялық моделін жетілдіруге мүмкіндік берді (Wu Ch. et al., 1987). Аталған әдісте жүйенің Гамильтонианы өзара байланысқан фермиондық жұптардың операторлары арқылы құрылады. Одан әрі бұл операторлар бозондық бейнелеу процедурасы негізінде тиімді бозондық кеңістікке ауыстырылады. Нәтижесінде алынған бозондық Гамильтониан ұжымдық ядролық қозғалыстарды сипаттайтын феноменологиялық бозондық модельдермен салыстырылып, олардың арасындағы сәйкестіктер мен айырмашылықтарды талдауға мүмкіндік береді. Мұндай тәсіл фермиондық және бозондық сипаттамалардың өзара байланысын зерттеуде маңызды рөл атқарып, ұжымдық құбылыстардың микроскопиялық табиғатын тереңірек түсіндіруге жағдай жасайды.

Симметрия ұғымының ядролық физикаға енгізілуі Вигнердің изоспиндік $SU(2)$ симметриясына арналған зерттеулерімен тығыз байланысты (Wigner, 1937). Бұл тәсіл нуклондардың ішкі қасиеттерін сипаттаудың жаңа мүмкіндіктерін ашты. Кейіннен Эллиотт $SU(3)$ симметриясына негізделген модельді ұсынып, оның көмегімен деформацияланған ядролардағы квадрупольдық ұжымдық қозулардың табиғатын түсіндіруге жол ашты. Осы жұмыстар алгебралық әдістердің ядролық құрылым теориясындағы маңызын айқындады. Бүгінгі таңда ядролық жүйелерді зерттеуде $Sp(6)$, $SO(8)$ тәрізді күрделі симметрия топтары мен суперсимметриялық формализмдер кеңінен қолданылады (Iachello, 1987; Sejnar, 2010). Мұндай әдістер көпфермионды жүйелердің спектрлік және құрылымдық қасиеттерін біртұтас теориялық негізде қарастыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, қазіргі есептеу технологияларының дамуы күрделі топтық-теориялық модельдерді сандық тұрғыдан жүзеге асыруды жеңілдетіп, матрицалық элементтерді есептеу тиімділігін арттырды. Нәтижесінде симметрия принциптеріне негізделген әдістердің қолданылу мүмкіндіктері айтарлықтай кеңейді (Rowe, 2010).

Материалдар және әдістер. Орташа және ауыр ядролардың ұжымдық күйлерін қабықшалық модель шеңберінде зерттеу көпфермионды жүйелердің

күрделі табиғатына байланысты елеулі қиындықтар туындатады. Алайда көптеген феноменологиялық модельдер ұжымдық қасиеттерді сәтті сипаттағанымен, олардың микроскопиялық қабықшалық құрылыммен байланысы толық айқындалмаған. Фермионды динамикалық-симметрия модельі бұл мәселені шешудің тиімді жолдарының бірі болып табылады, себебі ол ұжымдық қозуларды қабықшалық модельдің негізінде қарастыруға мүмкіндік береді. Модельдің базалық объектілері ретінде корреляцияланған S және D жұптары таңдалып алынады. Осы жұптарды тудыру және жою операторлары мультипольдік операторлармен бірге тұйық Ли алгебрасын құрайды. Мұндай алгебралық құрылым көпнуклонды жүйелердің симметриялық қасиеттерін зерттеуге және олардың спектрлік сипаттамаларын бірізді түрде сипаттауға мүмкіндік береді.

Нуклондардың ұжымдық қозғалыстарын сипаттауда фермионды динамикалық-симметрия модельі феноменологиялық өзара әсерлесуші бозондар модельіне қарағанда анағұрлым толық микроскопиялық негіз ұсынады. Тіпті тек корреляцияланған S және D жұптарын қарастырғанның өзінде, бұл модель ұжымдық құбылыстарды сипаттаудың ішкі бірізділігін сақтайды. Зерттеуде ФДСМ-нің $s-d$ кеңістігімен шектелген қарапайымдалған нұсқасы пайдаланылды. Бұл формализмде ұжымдық қозғалыстардың симметриялық қасиеттері Ли алгебрасы генераторлары арқылы сипатталып, жүйенің Гамильтонианы сол алгебраның инварианттары негізінде құрылады. Осындай тәсіл көпфермионды жүйелердің спектрлік қасиеттерін зерттеуді жеңілдетіп, есептеу күрделілігін төмендетуге мүмкіндік береді.

Ядролық жүйелердің төмен энергиялы ұжымдық күйлерін қалыптастыруда когерентті S және D жұптары шешуші рөл атқарады. Олардың маңыздылығы осы жұптардың ядроның қабықшалық құрылымынан туындайтын микроскопиялық табиғатымен анықталады. Осыған байланысты фермионды динамикалық-симметрия модельі ұжымдық режимдерді қабықшалық модельмен тікелей байланыстыра отырып сипаттауға мүмкіндік береді. Мұндай тәсіл ұжымдық қасиеттерді фермиондық жүйенің ішкі симметриялары негізінде түсіндіруге жағдай жасайды. Бұдан бөлек, бозондық модельдерге тән динамика-симметриялық заңдылықтарды фермиондық деңгейде де алуға болады, сондықтан көптеген жағдайларда фермион–бозон түрлендірулерін енгізбей-ақ ұжымдық спектрлердің негізгі қасиеттерін зерттеу мүмкіндігі сақталады.

Динамикалық симметрия әдісі көпбөлшекті кванттық жүйелердің күрделі қозғалыстарын сипаттауда әмбебап теориялық аппарат ретінде қолданылады. Оның басты артықшылығы – толық Гамильтонианды әртүрлі қозғалыс режимдеріне сәйкес келетін бөліктерге және симметрияның бұзылуын сипаттайтын мүшелерге жіктеу мүмкіндігі. Мұндай жіктеу аналитикалық және сандық есептеулерді едәуір жеңілдетеді. Ядролық құрылымның барлық ұжымдық қасиеттері фермиондық еркіндік дәрежелерінен туындайтындықтан, осы жұмыста динамикалық симметриялардың қалыптасу ерекшеліктері фермиондық-қабықшалық тәсіл негізінде зерттеледі.

Нәтижелер және талқылау. Зерттеу барысында бірдей фермиондардан

тұратын жүйелерге арналған фермионды динамикалық-симметрия модельінің ықшамдалған формасы қарастырылып, оның бозондық кеңістікке түрлендірілу процедурасы жүзеге асырылды. Симметрия принциптерін пайдалану және ұжымдық қозғалыстарды анықтайтын негізгі өзара әсерлесулерді бөліп көрсету арқылы Гамильтонианның математикалық құрылымы едәуір жеңілдетілді. Мұндай тәсіл есептің тиімді өлшемін қысқартып, көпбөлшекті жүйелерді сипаттаудағы есептеу шығындарын азайтуға мүмкіндік береді. Түрлендіру нәтижесінде фермиондық операторлар мен тиімді бозондық дәрежелер еркіндігі арасында бірімді сәйкестік орнатылды. Бұл ұжымдық қозуларды қарапайым алгебралық формализм аясында сипаттауға жағдай жасады. Есептеулер көрсеткендей, әлсіз және орташа корреляциялар аймағында алынған бозондық модель бастапқы фермиондық жүйенің энергетикалық спектрін, симметриялық қасиеттерін және негізгі физикалық сипаттамаларын жоғары дәлдікпен қайта жаңғырта алады. Осылайша, ұсынылған әдістің ұжымдық күйлерді зерттеудегі қолданбалы тиімділігі мен теориялық негізділігі расталды.

Фермионды динамикалық-симметрия модельінің қарапайым асимптотикалық шектерін өзара әсерлесуші бозондар модельінің сәйкес симметриялық режимдерімен салыстыру үшін фермиондық жүйенің бозондық бейнеленуі жүзеге асырылды (Baktybaev, 2008). Бұл процедура екі модель арасындағы байланыстың математикалық құрылымын және олардың физикалық интерпретациясын тереңірек зерттеуге мүмкіндік береді. Сонымен бірге, әдіс нақты ядролар үшін энергетикалық деңгейлерді, спектрлік заңдылықтарды және электромагниттік ауысулар ықтималдықтарын салыстырмалы түрде талдауға жағдай жасайды. Зерттеуде бөлінбеген жұптар мен қалыпты және аномальды жұптық орбиталар арасындағы араласу процестері ескерілмейтін фермионды динамикалық-симметрия моделінің ықшамдалған нұсқасы қарастырылды. Осы модель шеңберінде фермиондық Гамильтонианды тиімді бозондық Гамильтонианға түрлендіретін аналитикалық әдістер зерттеліп, олардың ұжымдық күйлерді сипаттаудағы қолданылу мүмкіндіктері талданды. Алынған нәтижелер ұсынылған формализмнің нақты ядролардың спектрлік қасиеттерін зерттеуде тиімді теориялық құрал бола алатынын көрсетті.

Бозондық бейнелеу әдістері бұрын Гинокчио моделі шеңберінде біртекті нуклондық жүйелерді зерттеу үшін табысты қолданылған (Arima, 1981). Осы жұмыста бұл тәсіл кеңейтіліп, протондық және нейтрондық ішкі құрылымдарды бір мезгілде ескеретін көпнуклонды Гамильтониан қарастырылады. Мұндай модель активті нуклондар саны өзгерген кезде ядролық жүйелердің вибрациялық сипаттан ротациялық режимге біртіндеп ауысуын сипаттауға мүмкіндік береді. Теориялық формализмді ықшамдау мақсатында Гамильтонианның қарапайымдалған нұсқасы пайдаланылып, қалдық жұптық өзара әсерлесулер монопольдік және квадрупольдік компоненттермен шектелді (Koilyk, 2023). Бұдан бөлек, корреляциялық әсерлерді сипаттайтын жұптық матрицалық элементтердің мәндері сәйкес қабықшалық деңгейлердің дегенерациясымен анықталатын шамаларға пропорционал деп алынды. Осындай жуықтау модельдің

негізгі физикалық мазмұнын сақтай отырып, көпфермионды есептердің сандық орындалуын едәуір жеңілдетеді.

Фермионды динамикалық-симметрия моделі шеңберінде бір нуклонның толық бұрыштық импульсі жалған орбиталық импульс пен жалған спиннің қосындысы ретінде қарастырылады $\vec{j} = \vec{k} + \vec{i}$.

Осы жіктеуге сәйкес $k-i$ базисіндегі нуклонды тудыру операторы фермиондық a_{jm}^+ операторлары арқылы Клебш–Гордан коэффициенттерін пайдаланып өрнектеледі.

$$b_{km_k im_i}^+ = \sum_{jm} \langle k m_k im_i | jm \rangle a_{jm}^+.$$

-бейнелеудегі фермиондық операторды жалған орбиталық және жалған спиндік базистегі операторлар арқылы келесі түрде жазуға болады:

$$a_{jm}^+ = \sum_{km_k im_i} \langle k m_k im_i | jm \rangle b_{km_k im_i}^+. \quad (1)$$

Мұндағы $\langle k m_k im_i | jm \rangle$ -шамалары бұрыштық импульстерді қосу ережелерін сипаттайтын Клебш–Гордан коэффициенттері болып табылады. Аталған түрлендіру фермиондық жүйенің симметриялық қасиеттерін псевдоорбиталық және псевдоспиндік дәрежелер еркіндігі арқылы сипаттауға мүмкіндік береді және фермионды динамикалық-симметрия моделінің алгебралық құрылымын құруда маңызды рөл атқарады.

Бұл, $k-i$ байланысын пайдалану қабықшалық модельдің толық конфигурациялық кеңістігінен ұжымдық қасиеттері басым болатын S және D жұптарына сәйкес келетін ішкі кеңістікті бөліп көрсетуге мүмкіндік береді. Мұндай фермиондық жұптар жоғары когерентті құрылымдар болып табылады және ядролардағы ұжымдық қозғалыстардың негізгі тасымалдаушылары ретінде қарастырылады.

Бұл қасиетті айқынырақ көрсету үшін $k-i$ базисінен қабықшалық модельдің бастапқы j -базисіне кері түрлендіру жүргізіледі. Аталған түрлендіру нормаланған $9j$ -символдары арқылы жүзеге асырылады:

$$\begin{aligned} | (k_1 k_2) K (i_1 i_2) I; r \mu \rangle &= [b_{(k_1 i_1)}^+ b_{(k_2 i_2)}^+]_{\mu}^{(r)} | 0 \rangle = \\ &= \sum_{j_1 j_2} \begin{Bmatrix} k_1 & i_1 & j_1 \\ k_2 & i_2 & j_2 \\ K & I & r \end{Bmatrix} [a_{j_1}^+ a_{j_2}^+]_{\mu}^{(r)} | 0 \rangle. \end{aligned} \quad (2)$$

Алынған өрнек S-жұптардың k және i -дәрежелер еркіндігі тұрғысынан қарастырғанда Купер жұптарына ұқсас қасиеттерге ие екенін көрсетеді. Басқаша

айтқанда, олар жұптық конденсация күйінде болатын күшті корреляцияланған фермиондық құрылымдарды сипаттайды. Қабықшалық модельдің бастапқы базисінде мұндай күйлер көптеген конфигурациялардың араласуымен сипатталса, $k-i$ байланысы негізіндегі бейнелеуде олардың құрылымы ықшам әрі көрнекі түрде өрнектеледі.

Осының нәтижесінде ұжымдық қозулардың микроскопиялық табиғатын зерттеуге қолайлы жаңа базистік кеңістік қалыптасады. Мұндай формализм көпнуклонды жүйелердің спектрлік қасиеттерін талдауды жеңілдетіп қана қоймай, олардың ұжымдық күйлерінің фермиондық негізін тереңірек түсіндіруге мүмкіндік береді.

Бір үлкен қабықша шегінде орналасқан біртекті нуклондар жүйесін қарастырып, тек екібөлшекті қалдық өзара әсерлесулерді ескерген жағдайда, жүйенің толық Гамильтонианы келесі түрде жазылады:

$$H = \sum_j \varepsilon_j a_j^\dagger a_j + V_p + V_Q, \quad (3)$$

мұндағы ε_j – бірбөлшекті деңгейлердің энергиялары, ал V_p және V_Q сәйкесінше жұптық және мультипольдік өзара әсерлесулерді сипаттайтын мүшелер болып табылады. Бұл операторлар жалпы жағдайда төмендегі өрнектермен беріледі:

$$V_p = \frac{1}{4} \sum_{\lambda j_1 j_2 j'_1 j'_2} \langle j_1 j'_1 \lambda | V_p | j_2 j'_2 \lambda \rangle [a_{j_1}^\dagger a_{j'_1}^\dagger]^{(\lambda)} [a_{j_2} a_{j'_2}]^{(\lambda)}, \quad (4)$$

$$V_Q = \frac{1}{4} \sum_{r j_1 j_2 j'_1 j'_2} \langle j_1 j_2 r | V_Q | j'_1 j'_2 r \rangle [a_{j_1}^\dagger a_{j_2}]^{(r)} [a_{j'_1}^\dagger a_{j'_2}]^{(r)}. \quad (5)$$

Берілген өрнектерден Гамильтонианның құрылымы көпсанды матрицалық элементтер мен бұрыштық импульстарды байланыстыру коэффициенттерін қамтиды. Сондықтан мұндай формализмді тікелей пайдалану көпнуклонды жүйелер үшін есептеулердің күрделілігін айтарлықтай арттырады.

Осы себепті бастапқы Гамильтонианды фермионды динамикалық-симметрия моделінің алгебралық құрылымына келтіру мақсатында оны ықшамдаудың әртүрлі тәсілдері қарастырылады. Мұндай ықшамдау негізгі физикалық мазмұнды сақтай отырып, ұжымдық қозғалыстарды анықтайтын жетекші өзара әсерлесулерді бөліп көрсетуге және есептеу процедураларын едәуір жеңілдетуге мүмкіндік береді. Нәтижесінде күрделі көпфермионды есептерді симметрия принциптеріне негізделген ықшам әрі тиімді теориялық схема шеңберінде зерттеу мүмкіндігі туады.

1-тәсіл. Фермиондық динамикалық симметрия моделінде қалдық жұптық өзара әсерлесудің басым бөлігі монопольдік және квадрупольдік корреляциялар-

мен анықталады. Осыған байланысты $\lambda = 0$ және $\lambda = 2$ мүшелерін ғана сақтай отырып, жұптық өзара әсерлесуді сипаттайтын V_p операторы $k - i$ базисінде ықшам түрде жазылады:

$$V_p = \frac{1}{4} \sum \langle (k_1 k_2) K(i_1 i_2) I \lambda | V_p | (k'_1 k'_2) K'(i'_1 i'_2) I'_1 \lambda [b_{k_1 i_1}^+ b_{k_2 i_2}^+]_{\lambda}^{(KI)} \rangle \quad (6)$$

Бұл өрнек жалған орбиталық және жалған спиндік дәрежелер еркіндігіне негізделген $k - i$ байланысының артықшылықтарын пайдалануға мүмкіндік береді. Нәтижесінде өзара әсерлесудің күрделі құрылымы симметрия қасиеттерін сақтай отырып қарапайым алгебралық формаға келтіріледі. Мұндай ықшамдау модельдің негізгі физикалық мазмұнын жоғалтпай, көпнуклонды жүйелердің ұжымдық күйлерін сипаттау кезінде есептеу тиімділігін айтарлықтай арттырады.

2-тәсіл. Жұптық өзара әсерлесудің матрицалық элементтері корреляцияланған жұптарды құрайтын деңгейлердің дегенерация дәрежесіне пропорционал деп қабылданады. Бұл жағдайда оларды келесі параметрлеу арқылы өрнектеуге болады:

$$\langle (kk)K(ii)I\lambda | V_p | (k'k')K'(i'i')I'\lambda \rangle = 2\sqrt{\Omega_{ki}\Omega_{k'i'}} G_{\lambda}^{(\alpha\alpha')}.$$

Осы жуықтауды пайдалану нәтижесінде жұптық өзара әсерлесуді сипаттайтын V_p операторы ықшам операторлық формаға келтіріледі:

$$V_p = \sum_{\alpha\alpha'} [G_0^{(\alpha\alpha')} S^+(\alpha) S(\alpha') + G_2^{(\alpha\alpha')} D^+(\alpha) D(\alpha')]. \quad (7)$$

Мұндағы бірінші мүше монопольдік жұптық корреляцияларды, ал екінші мүше квадрупольдік сипаттағы ұжымдық корреляцияларды ескереді. Осылайша, бастапқы көпбөлшекті өзара әсерлесудің негізгі бөлігі S және D жұптары арқылы сипатталатын тиімді алгебралық формаға келтіріледі.

k -белсенді схема жағдайында қалыпты жұптылыққа сәйкес келетін S -оператор $\alpha = n_k$ кезінде $S^+(\alpha = n_k) = S^+ = [b_{1i}^+ b_{1i}^+]^{(00)}$ түрінде анықталады. Бұл оператор бұрыштық импульсі нөлге тең когерентті жұптарды тудырып, жүйедегі жұптық корреляциялардың негізгі үлесін сипаттайды. Ал D -операторы ұқсас құрылым бойынша құрылады, бірақ оның толық бұрыштық импульсі $\lambda = 2$ болады. Сондықтан ол квадрупольдік ұжымдық козуларды қалыптастыратын корреляцияланған жұптарды сипаттайды.

Осылайша, S - және D -жұптары фермионды динамикалық-симметрия моделіндегі негізгі ұжымдық дәрежелер еркіндігі ретінде қарастырылып, күрделі көпнуклонды жүйелердің спектрлік қасиеттерін салыстырмалы түрде қарапайым алгебралық аппарат көмегімен зерттеуге мүмкіндік береді.

3-тәсіл. Мультипольдік өзара әсерлесуді сипаттайтын V_Q мүшесін ықшамдау мақсатында оның матрицалық элементтері арнайы параметрлеу арқылы беріледі:

$$\langle (k\bar{k})K(i\bar{i})I;r | V_Q | (k'\bar{k}')K(i'\bar{i}')I;r \rangle = 2\sqrt{\Omega_{ki}\Omega_{k'i'}} B_r^{(xx')}.$$

Осы параметрлеуді пайдалану нәтижесінде мультипольдік өзара әсерлесу операторы келесі ықшам түрге келтіріледі:

$$V_Q = \sum_{xx'} B_r^{(xx')} P^r(x) P^r(x'). \quad (8)$$

Мұндағы $P_\mu^r(k) = \sqrt{\frac{\Omega_{ki}}{2}} [b_{ki}^+ b_{ki}]_\mu^{(r)}$, бірбөлшектік мультипольдік операторларды білдіреді, ал $P_\mu^r(i)$ операторы осыған ұқсас түрде анықталады. Бұл операторлар жүйедегі мультипольдік қозулар мен ұжымдық қозғалыстардың симметриялық қасиеттерін сипаттауға мүмкіндік береді.

Жоғарыда енгізілген жуықтауларды ескере отырып, $k-i$ схемасындағы фермионды динамикалық-симметрия моделінің жалпы Гамильтонианы келесі ықшам түрде жазылады:

$$H_{\Phi\text{ДСМ}} = e_0 v_0 + \sum e_{ki} n_{ki} + \sum_{xx'} [G_0^{(xx')} S^+(x) S(x') + G_2 D^+ D] + \\ + \sum_{r, xx'} B_r^{(xx')} P^r(x) P^r(x'). \quad (9)$$

Алынған өрнек фермионды динамикалық-симметрия моделінің негізгі құрылымдық элементтерін біртұтас түрде біріктіреді. Мұнда бірбөлшектік энергиялар, жұптық корреляциялар және мультипольдік ұжымдық өзара әсерлесулер бірыңғай алгебралық формализм шеңберінде қарастырылады. Осындай ықшам жазылу модельдің динамикалық симметриясын айқын көрсетіп қана қоймай, көпнуклонды жүйелердің спектрлік қасиеттерін аналитикалық және сандық әдістер арқылы зерттеуді едәуір жеңілдетеді. Сонымен қатар, Гамильтонианның бұл түрі ұжымдық қозғалыстардың негізгі механизмдерін бөліп көрсетуге мүмкіндік беріп, фермиондық жүйенің микроскопиялық сипаттамалары мен оның макроскопиялық ұжымдық қасиеттері арасындағы байланысты зерттеуге қолайлы теориялық негіз қалыптастырады.

Инертті мультипольдік операторларды есепке алу симметриялық құрылымның күрделенуіне және модельдің алгебралық аппаратының кеңеюіне алып келеді. (9)-өрнекпен берілген фермионды динамикалық-симметрия модель Гамильтонианы S , D және s ішкі кеңістіктерін фермиондық кеңістіктің қалған бөлігінен бөліп қарастыруға мүмкіндік береді. Соның нәтижесінде k -белсенді схема үшін модель $Sp(6) \times SU(2)$, ал i -белсенді схема үшін $SO(8) \times SU(2)$ динамикалық симметрияларын сақтайды.

Практикалық есептеулерде мұндай Гамильтонианды сәйкес ішкі топтардың

тәуелсіз Казимир операторлары арқылы өрнектеу анағұрлым тиімді болып табылады. Бұл тәсіл модельдің симметриялық қасиеттерін айқын көрсетіп қана қоймай, энергия спектрін аналитикалық түрде зерттеуді де жеңілдетеді. $Sp(6) \times SU(2)$ -динамикалық симметриясы жағдайында жүйенің Гамильтонианы топтық құрылымдардың Казимир инварианттары арқылы келесі түрде жазылады:

$$H_6 = H_0 + v_0 C_{SU(2)} + v_1 C_{SU(2)} + g_0 C_{SU(2)}^Y + V_2 C_{SU(3)} + G_2 C_{Sp(6)} + V_3 L^2.$$

Бұл өрнек модельдің әртүрлі динамикалық үлестерін жеке қарастыруға мүмкіндік береді және жүйенің спектрлік қасиеттеріне әрбір симметрияның қосатын үлесін анық көрсетеді. Гамильтонианның H_0 мүшесі жүйенің негізгі энергетикалық және құрылымдық параметрлерін сипаттайтын фондық бөлікті білдіреді және келесі түрде анықталады:

$$H_0 = h_0 + \varepsilon_0 \tau_0 + \varepsilon_1 n_1 + \eta_0 \frac{\tau_0(\tau_0 - 1)}{2} + \eta_1 \frac{n_1(n_1 - 1)}{2} + \eta \frac{n(n - 1)}{2}.$$

Мұндағы параметрлер бірбөлшектік энергияларды және нуклондар арасындағы тиімді өзара әсерлесулерді сипаттайды. Ал Казимир операторлары симметрия топтарының инварианттық қасиеттерін ескеріп, жүйенің ұжымдық қозғалыстары мен спектрлік құрылымын анықтайды. Осылайша, Гамильтонианның барлық мүшелері өзара байланысқан симметриялық үлестер ретінде қарастырылып, көпнуклонды жүйелердің динамикалық қасиеттерін біртұтас алгебралық формализм аясында сипаттауға мүмкіндік береді. Мұндай тәсіл ұжымдық күйлердің қалыптасу механизмдерін түсіндірумен қатар, ядролық спектрлерді есептеудің тиімді теориялық негізін қамтамасыз етеді.

Ал $SO(8) \times su(2)$ динамикалық симметриясы жүзеге асқан жағдайда Гамильтонианның құрылымы күрделене түсіп, қосымша симметриялық инварианттарды қамтиды. Мұндай жағдайда жүйенің Гамильтонианы келесі түрде жазылады:

$$H_8 + H_0 + v_0 C_{su_2} + v_1 C_{SU_2} + g_0 C_{SU_2}^T + g_5 C_{SO_5} + g_6 C_{SO_6} + G_2 C_{SO_8} + g L^2. \quad (10)$$

Берілген өрнек көпнуклонды жүйелердің энергия спектрін әртүрлі симметрия топтарының Казимир операторлары арқылы сипаттауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, ол фермионды динамикалық-симметрия моделінің алгебралық құрылымын және ұжымдық қозғалыстардың симметриялық табиғатын айқын көрсетеді.

Жалпы жағдайда фермионды динамикалық-симметрия моделі бес түрлі асимптотикалық шекке ие болады. Бұл шектердің физикалық мазмұнын талдау үшін алдымен модельдің қарапайымдалған нұсқасы қарастырылады. Мұндай жуықтауда Гамильтониан құрамында тек жұптық және квадрупольдік өзара әсерлесулерді сипаттайтын мүшелер ғана сақталады. Нәтижесінде ықшамдалған

фермиондық динамикалық симметрия Гамильтонианы төмендегі түрде өрнектеледі:

$$H_{\text{ФДСМ}}^0 = G_0 S^{(T)+} S^T + B_2 P^r P^r. \quad (11)$$

Бұл өрнекте бірінші мүше жүйедегі жұптық корреляцияларды сипаттаса, екінші мүше квадрупольдік ұжымдық қозғалыстардың үлесін анықтайды. Осылайша модельдің негізгі физикалық мазмұны сақталып, күрделі көпбөлшекті өзара әсерлесулердің басым бөлігі тиімді түрде ескеріледі.

Қарапайымдалған Гамильтониан негізінде динамикалық симметрияның негізгі екі шегі $Sp(6) \times SU(2)$ және $SO(8) \times SU(2)$ жағдайлары қарастырылады. Бұл шектерде Гамильтонианның құрылымы едәуір ықшамдалып, толықтай Казимир операторлары арқылы өрнектеледі. Мұндай тәсіл жүйенің спектрлік қасиеттерін аналитикалық түрде зерттеуге мүмкіндік беріп, ұжымдық қозғалыстардың симметриялық табиғатын айқын көрсетеді. Сонымен қатар, асимптотикалық шектерді талдау әртүрлі ұжымдық режимдердің қалыптасу механизмдерін түсіндіруде маңызды рөл атқарады.

Бірінші асимптотикалық шек $Sp(6) \times SU(2)$ динамикалық симметриясына сәйкес келеді. Бұл жағдайда ықшамдалған Гамильтониан келесі түрде өрнектеледі:

$$H_6 = \varepsilon n - \frac{G_0}{4} n(n-1) + G_0 \left[C_{SU(2)}^T - \frac{\Omega(\Omega+2)}{4} \right] + B_2 C_{SU(3)} - \frac{3B_2}{8} L^2.$$

Ал $SO(8) \times SU(2)$ симметриясы жүзеге асқан жағдайда Гамильтонианның баламалы түрі төмендегі өрнекпен анықталады:

$$H_8 = \varepsilon n - \frac{G_0 n(n-1)}{4} + G_0 \left[C_{SU_2}^T - \frac{\Omega(\Omega+2)}{4} \right] + B_2 C_{SO_6} - B_2 C_{SO_5} \quad (12)$$

Алынған өрнектер фермионды динамикалық-симметрия моделінің негізгі динамикалық шектерін айқын көрсетеді және күрделі көпфермионды Гамильтонианды симметрия топтарының Казимир операторлары арқылы ықшам түрде сипаттауға мүмкіндік береді. Мұндай тәсіл жүйенің спектрлік қасиеттерін зерттеуді жеңілдетіп, әртүрлі ұжымдық режимдердің қалыптасу механизмдерін симметрия принциптері тұрғысынан түсіндіруге жағдай жасайды.

(12)-өрнектерді талдау көрсеткендей, $B_2 = 0$ болған жағдайда жүйенің динамикасы негізінен монопольдік жұптасу әсерімен анықталады. Мұндай режимде $SU(2)$ симметриясы басым орын алып, жүйенің энергетикалық спектрі вибрациялық сипатқа ие болады. Бұл жағдай жұптық корреляциялардың жетекші рөл атқаратын ядролық күйлерге сәйкес келеді.

Керісінше, $G_0 = 0$ немесе оның үлесі елеусіз аз болған кезде квадруполь-квадрупольдік өзара әсерлесу негізгі факторға айналады. Нәтижесінде k -белсенді схема үшін $SU(3)$, ал i -белсенді схема үшін $SO(6)$ динамикалық

симметриялары жүзеге асады. Физикалық тұрғыдан алғанда, $SU(3)$ шегі осьтік симметриялы роторлық қозғалыстарды сипаттайды, ал $SO(6)$ шегі γ -тұрақсыз деформацияланған ядролардың ұжымдық қасиеттерін бейнелейді.

Осылайша, жүргізілген талдау жұптардың ыдырау процестері мен қалыпты және аномальды жұптар деңгейлер арасындағы шашырау әсерлері ескерілмейтін фермионды динамикалық-симметрия моделінің ықшамдалған нұсқасы шеңберінде жүзеге асырылады. Мұндай жуықтау төмен энергиялы ұжымдық күйлердің негізгі қасиеттерін сипаттау үшін жеткілікті дәлдік береді. Нәтижесінде жүйедегі бірбөлшектік және екібөлшектік өзара әсерлесулерді қамтитын, параметрлер саны шектеулі ықшам Гамильтониан алынады.

Протондық және нейтрондық дәрежелер еркіндігі ескерілген жағдайда фермионды динамикалық-симметрия моделінің негізгі Гамильтонианы келесі түрде жазылады:

$$H_{\text{ФДСМ}}^0 = G_{0\pi} S_{\pi}^+ S_{\pi} + G_{0\nu} S_{\nu}^+ S_{\nu} + B_{2\pi} P_{\pi}^2 P_{\pi}^2 + B_{2\nu} P_{\nu}^2 P_{\nu}^2 + B_{2\pi\nu} P_{\pi}^2 P_{\nu}^2. \quad (13)$$

Бұл өрнекте алғашқы екі мүше протондық және нейтрондық жұптық корреляцияларды сипаттаса, қалған мүшелер квадрупольдік ұжымдық өзара әсерлесулердің үлесін анықтайды. Осылайша модель ядроның ұжымдық қасиеттерін қалыптастыратын негізгі механизмдерді біртұтас түрде қамтиды.

Гамильтонианмен қатар электромагниттік квадрупольдік ауысуларды сипаттау үшін бірбөлшектік жуықтауда келесі ауысу операторы енгізіледі:

$$T(E2) = e_{\pi} P_{\pi}^2 + e_{\nu} P_{\nu}^2. \quad (14)$$

Мұндағы e_{π} және e_{ν} шамалары сәйкесінше протондық және нейтрондық тиімді зарядтарды сипаттайды. Бұл оператор $E2$ -ауысуларының ықтималдықтарын есептеуге және теориялық нәтижелерді тәжірибелік деректермен салыстыруға мүмкіндік береді.

Келесі кезеңде фермионды динамикалық-симметрия модельінің негізгі идеясы жүзеге асырылады, яғни корреляцияланған фермиондық жұптарды тиімді бозондық дәрежелер еркіндігі арқылы сипаттау қарастырылады. Осы мақсатта жалпы жұптық оператор төмендегі түрде анықталады:

$$P_{LM}^{\dagger} = \sum_{ij} a_{ij}^{(L)} (a_i^{\dagger} a_j^{\dagger})_{LM}. \quad (15)$$

Мұндағы L және M кванттық сандары жұптың толық бұрыштық импульсі мен оның кеңістіктегі проекциясын анықтайды, ал $a_{ij}^{(L)}$ коэффициенттері жұптың құрылымдық сипаттамаларын береді. Аталған оператор фермиондық жүйедегі ұжымдық корреляцияларды тиімді бозондық айнымалылар арқылы сипаттаудың бастапқы негізін құрайды және фермиондық кеңістіктен бозондық формализмге өтудің негізгі элементі болып табылады.

Жұптық операторлардың анықтамасына сәйкес ұжымдық қозғалыстарды сипаттауда негізгі рөл атқаратын ең төменгі мультипольдік күйлер $L = 0$ және $L = 2$ болып табылады. Бозондық бейнелеу процедурасында бұл күйлер сәйкесінше s - және d -бозондармен сәйкестендіріледі:

$$s^\dagger \leftrightarrow P_{00}^\dagger, d_M^\dagger \leftrightarrow P_{2M}^\dagger. \quad (16)$$

Бұл сәйкестік тек формальды алмастыруды білдірмейді. Оның негізгі мақсаты фермиондық және бозондық операторлар арасындағы алгебралық құрылымның сақталуын қамтамасыз ету болып табылады. Осы себепті ұжымдық жұптық операторлар бозондық операторларға тән коммутациялық қасиеттерді жуық түрде қанағаттандырады:

$$[P_{LM}, P_{L'M'}^\dagger] \approx \delta_{LL'} \delta_{MM'}. \quad (17)$$

Мұндағы $\delta_{LL'}$ және $\delta_{MM'}$ Кронекер символдары болып табылады. Бұл қатынас ұжымдық фермиондық жұптардың бозондарға ұқсас қасиет көрсететінін және олардың тиімді бозондық дәрежелер еркіндігі ретінде қарастырылуы мүмкін екенін білдіреді.

Нәтижесінде бастапқы күрделі көпфермионды жүйе бозондық кеңістікке бейнеленіп, ұжымдық қозғалыстарды сипаттау едәуір қарапайым әрі есептеу тұрғысынан тиімді формаға көшіріледі. Мұндай түрлендіру көпнуклонды жүйелердің спектрлік қасиеттерін зерттеуді жеңілдетіп қана қоймай, олардың ұжымдық күйлерінің негізгі физикалық ерекшеліктерін сақтауға мүмкіндік береді.

Осылайша, фермионды динамикалық-симметрия моделінің бастапқы Гамильтонианы тиімді бозондық формализм аясында қайта жазылып, ұжымдық күйлерді сипаттайтын бозондық модельдің құрылымына келтіріледі. Бұл тәсіл фермиондық және бозондық сипаттамалардың арасындағы байланысты талдауға, сондай-ақ алынған теориялық нәтижелерді бозондық бейнелеу негізінде алынған қорытындылармен салыстыруға мүмкіндік береді. Өз кезегінде мұндай салыстыру фермионды динамикалық-симметрия моделінің физикалық негізділігін бағалауда маңызды рөл атқарады.

Зерттеудің қолданбалы нысаны ретінде ауыр массалық аймақта орналасқан ядролар таңдалынды. Атап айтқанда, протондық $Z = 50 - 82$ және нейтрондық $N = 82 - 126$ қабықшалары арасындағы кеңістік қарастырылады. Бұл аймақта нейтрондық және протондық дәрежелер еркіндігінің өзара әсерлесуі маңызды рөл атқаратындықтан, жүйенің симметриялық құрылымы $Sp_v(6) \otimes SO_\pi(8)$ схемасы арқылы сипатталады деп болжанады.

Ұсынылған формализмнің мүмкіндіктерін тексеру мақсатында жұп-жұп ^{190,192,194}Pt платина изотоптарының тізбегі зерттеу объектісі ретінде таңдалды. Аталған изотоптар қатарында протондық жұптар саны тұрақты болып қалып,

$N_\pi = 2$ мәніне тең, ал нейтрондық жұптар саны $N_v = 4$ -тен $N_v = 7$ -ге дейін өзгереді. Мұндай жүйелер ұжымдық қасиеттердің эволюциясын және нейтрондық конфигурациялардың спектрлік сипаттамаларға әсерін зерттеуге қолайлы мүмкіндік береді. Соңғы жылдары платина изотоптарының құрылымын зерттеуге арналған эксперименттік және теориялық жұмыстардың саны айтарлықтай өсті. Дегенмен, бұл ядролардың төмен энергиялы күйлерін толық әрі бірізді сипаттайтын әмбебап теориялық модель әлі де қалыптасқан жоқ. Сондықтан платина изотоптары ұжымдық қозғалыстарды сипаттайтын әртүрлі модельдердің тиімділігін тексеруге арналған маңызды тестілік жүйелердің бірі болып табылады.

Бұрын жүргізілген зерттеулерде, әсіресе Бор–Моттelsonның геометриялық моделі аясында, өтпелі аймақта орналасқан ядролардың құрылымында әртүрлі деформациялық режимдердің бәсекелестігі байқалатыны көрсетілген. Мұндай ядроларда созылған және сығылған пішіндер арасындағы тепе-теңдікпен қатар, Y -тұрақсыздық құбылысы маңызды рөл атқарады. Соның нәтижесінде олардың спектрлік құрылымы мен электромагниттік ауысу сипаттамалары күрделі сипатқа ие болады.

Осы ерекшеліктерге байланысты ^{190,192,194}Pt изотоптары фермионды динамикалық-симметрия моделінің болжамдарын тексеру үшін қолайлы объектілер болып табылады. Бұл ядроларды зерттеу ұжымдық қозғалыстардың табиғатын тереңірек түсінуге және модельдің өтпелі аймақтағы ядроларды сипаттау мүмкіндіктерін бағалауға мүмкіндік береді. Аталған құрылымдық ерекшеліктерге байланысты платина изотоптарын сипаттау барысында өзара әсерлесуші бозондар моделінде толық Гамильтонианды дәл диагоналдау әдісін қолдану қажеттілігі туындайды. Бұл, ең алдымен, олардың спектрлік қасиеттерінің модельдің белгілі қарапайым асимптотикалық шектерінің ешқайсысына толық сәйкес келмеуімен түсіндіріледі. Сондықтан мұндай ядролар өтпелі аймақта орналасқан жүйелер ретінде қарастырылып, олардың құрылымын сипаттау үшін неғұрлым жалпы теориялық тәсілдерді қолдануды талап етеді.

Осы жұмыста ^{190,192,194} Pt платина изотоптарының төмен энергиялы күйлерінің спектрлік құрылымы фермионды динамикалық-симметрия моделінің ықшамдалған Гамильтонианы (13), квадрупольдік электромагниттік ауысуларды сипаттайтын $E2$ -операторы және олардың бозондық кеңістікке бейнеленуі негізінде зерттеледі. Мұндай тәсіл ұжымдық қозғалыстардың микроскопиялық табиғатын сақтай отырып, спектрлік сипаттамаларды тиімді түрде есептеуге мүмкіндік береді.

Алынған теориялық нәтижелердің сенімділігін бағалау мақсатында есептеу нәтижелері бірнеше белгілі модельдердің болжамдарымен салыстырылады. Атап айтқанда, салыстырмалы талдау $SU(6)$ дәл симметриясына негізделген өзара әсерлесуші бозондар моделімен (Dalelkhanzy, 2025), Давыдов–Чабанның геометриялық тәсілімен (Davydov, 1960) және қолжетімді эксперименттік деректермен жүргізіледі. Мұндай салыстыру фермионды динамикалық-

симметрия моделінің өтпелі аймақтағы ауыр ядролардың ұжымдық қасиеттерін сипаттау мүмкіндіктерін жан-жақты бағалауға және оның қолданылу шекараларын анықтауға мүмкіндік береді.

Осылайша, платина изотоптарының спектрлік сипаттамаларын әртүрлі теориялық тәсілдер негізінде салыстыру ұжымдық қозғалыстардың табиғатын тереңірек түсіндіруге және фермионды динамикалық-симметрия моделінің болжамдарының эксперименттік деректермен сәйкестік дәрежесін анықтауға жағдай жасайды.

1-кестеде фермиондық динамикалық-симметрия моделі (ФДСМ) мен өзара әсерлесуші бозондар моделі (ӘБМ) бойынша дәл диагонализация әдісі арқылы алынған ротациялық жолақтардың салыстырмалы спектрлері және ^{190}Pt , ^{192}Pt , ^{194}Pt изотоптары үшін тәжірибелік деректер (Koilyk, 2026; Finger et al., 1972; Cummane et al., 1976; Lederer, 1978) келтірілген. Кестеде әрбір ядро үшін бір ғана ротациялық жолақ қарастырылып, салыстырмалы талдау жүргізілді. Эксперименттік ираст-ротациялық жолақтың энергетикалық деңгейлері ФДСМ және ӘБМ шеңберінде есептелген нәтижелермен салыстырылып, модельдердің сипаттау дәлдігі бағаланды.

Кесте 1. Эксперименттік ротациялық $^{190,192,194}\text{Pt}$ ираст-жолақты ФДСМ және ӘБМ бойынша есептелген мәндермен салыстыру.

I_{π}	Эксперимент			ФДСМ			ӘБМ		
	^{190}Pt	^{192}Pt	^{194}Pt	^{190}Pt	^{192}Pt	^{194}Pt	^{190}Pt	^{192}Pt	^{194}Pt
0_1^+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2_1^+	0,30	0,32	0,33	0,30	0,32	0,32	0,32	0,32	0,34
4_1^+	0,74	0,78	0,81	0,72	0,76	0,78	0,78	0,76	0,80
6_1^+	1,29	1,37	1,41	1,24	1,34	1,38	1,28	1,28	1,36
8_1^+	1,92	2,02	2,10	1,89	1,98	2,08	1,80	1,94	2,01
10_1^+	2,25	2,52	2,44	1,17	2,50	2,40	2,40	2,34	2,64
12_1^+	2,73	2,62	2,83	2,64	2,64	2,78	2,82	2,62	3,04
14_1^+	3,06	3,00		2,98	3,02		3,36	3,02	
16_1^+	3,77	3,54		3,61	3,56		3,72	3,44	
18_1^+	0	4,20			4,25		4,16	3,86	

1-ші кестеде келтірілген нәтижелер бойынша есептелген орташа салыстырмалы қателіктер ^{190}Pt изотопы үшін ФДСМ және ӘБМ модельдерінде сәйкесінше 8.29% және 5.02%, ^{192}Pt үшін 1.19% және 3.54%, ал ^{194}Pt үшін 2.20% және 4.62% болды. Нәтижелер фермиондық динамикалық-симметриялық модельдің ^{192}Pt және ^{194}Pt изотоптарының ротациялық спектрлерін сипаттауда жоғары дәлдік көрсететінін, ал ^{190}Pt үшін өзара әсерлесуші бозондар моделінің тәжірибелік

деректермен жақсырақ сәйкес келетінін көрсетеді. Жалпы алғанда, екі модель де платина изотоптарының төменгі энергетикалық күйлерін қанағаттанарлық дәлдікпен сипаттайды. Алынған нәтижелерді зерттеу теориялық есептеулер мен эксперименттік мәліметтер арасындағы сәйкестік дәрежесін анықтауға, сондай-ақ қолданылған модельдердің сенімділігі мен қолданылу шекараларын бағалауға жағдай жасайды. Энергетикалық спектрлерді салыстыру барысында фермионды динамикалық-симметрия моделінің ықшамдалған нұсқасы негізгі ұжымдық күйлердің орналасу заңдылықтарын жеткілікті дәлдікпен қайта өндіре алатыны байқалады.

Сонымен қатар, есептелген және тәжірибелік энергия деңгейлерінің өзара сәйкестігі модельде ескерілген жұптық және квадрупольдік корреляциялардың платина изотоптарының ұжымдық қасиеттерін сипаттауда маңызды рөл атқаратынын көрсетеді. Ал өзара әсерлесуші бозондар моделімен жүргізілген салыстыру екі тәсілдің де негізгі спектрлік заңдылықтарды қанағаттанарлық деңгейде сипаттай алатынын, алайда жекелеген күйлер үшін олардың дәлдік деңгейінде айырмашылықтар болуы мүмкін екенін көрсетеді.

Фермионды динамикалық-симметрия моделі мен өзара әсерлесуші бозондар моделі негізінде есептелген энергетикалық деңгейлердің нәтижелері ^{190,192,194}Pt изотоптары үшін тәжірибелік деректермен салыстырылып, олардың β -және γ -жолақтарына қатысты мәндері 2-кестелерде келтірілген. Ұсынылған салыстырмалы талдау әртүрлі теориялық тәсілдердің төмен энергиялы ұжымдық күйлерді сипаттау қабілетін бағалауға мүмкіндік береді. Осылайша, 2-кестелерде келтірілген нәтижелер фермиондық динамикалық симметрия моделінің ауыр платина изотоптарының құрылымын зерттеуде қолдануға жарамды теориялық құрал екенін растайды және оның болжамдарының эксперименттік деректермен сәйкестігін сандық тұрғыдан бағалауға мүмкіндік береді.

Кесте 2. Фермионды динамика-симметриялық модель және өзара әсерлесуші бозондар моделі көмегімен есептелген энергияның эксперименттік мәндерінің ^{190,192,194}Pt ядросының β, γ – жолақтарымен салыстыру.

I^π	Эксперимент			ФДСМ			ӘБМ		
	¹⁹⁰ Pt	¹⁹² Pt	¹⁹⁴ Pt	¹⁹⁰ Pt	¹⁹² Pt	¹⁹⁴ Pt	¹⁹⁰ Pt	¹⁹² Pt	¹⁹⁴ Pt
2_2^+	0,60	0,61	0,62	0,58	0,60	0,65	0,60	0,60	0,65
3_1^+	0,92	0,92	0,92	0,89	0,90	0,89	1,05	0,99	0,80
4_2^+	1,13	1,20	1,23	1,10	1,17	1,17	1,07	1,11	1,06
5_1^+	1,45	1,48	1,50	1,46	1,45	1,45	1,55	1,55	1,35
6_2^+	1,73	1,65	1,73	1,70	1,61	1,64	1,65	1,70	1,60
7_1^+	1,95	2,11	2,11	1,91	2,06	2,01	2,0	2,0	-
8_2^+	2,03	2,15	2,19	2,0	2,10	2,11	2,15	2,15	2,20
9_1^+	2,43	2,36	-	2,45	2,39	2,37	2,55	2,24	-
10_2^+	2,52	2,61	2,45	2,50	2,58	2,40	2,70	2,42	2,54
0_2^+	0,92	1,01	1,12	0,95	1,0	1,37	0,95	0,95	1,14

$2_{\frac{1}{2}}^{+}$	1,20	1,25	1,65	1,22	1,23	1,59	1,25	1,17	1,42
$4_{\frac{1}{2}}^{+}$	1,49	1,68	2,45	1,51	1,60	2,40	1,63	1,51	2,41
$6_{\frac{1}{2}}^{+}$	1,97	2,02	0,62	1,99	1,98	0,65	2,06	1,88	0,65
$8_{\frac{1}{2}}^{+}$	2,20	2,35	0,92	2,20	2,30	0,89	2,41	2,12	0,80
$10_{\frac{1}{2}}^{+}$	2,50	2,67	1,23	2,45	2,61	1,17	2,55	2,50	1,06

2-ші кестеде берілген β және γ -жолақтардың энергетикалық спектрлері бойынша жүргізілген салыстырмалы талдау ФДСМ нәтижелерінің тәжірибелік деректермен жақсырақ сәйкес келетінін көрсетті. Орташа салыстырмалы қателіктер ^{190}Pt , ^{192}Pt және ^{194}Pt изотоптары үшін сәйкесінше 1.74%, 2.11% және 5.21% болды. Ал ӘБМ бойынша бұл көрсеткіштер 5.63%, 5.84% және 7.88%-ға тең. Осылайша, қарастырылған изотоптардың β және γ -жолақтарының құрылымын сипаттауда ФДСМ моделінің дәлдігі жоғары екендігі байқалады.

Кестелерде келтірілген нәтижелер көрсеткендей, 4 МэВ-қа дейінгі қозу энергиялары аймағында $^{190,192,194}\text{Pt}$ изотоптарының белгілі төмен энергиялы күйлері екі теориялық тәсіл арқылы да қанағаттанарлық дәлдікпен сипатталады. Жалпы алғанда, есептелген энергия деңгейлерінің тәжірибелік мәндерден ауытқуы 5–10% шамасында болады. Сонымен қатар, $SU(6)$ симметриясына негізделген өзара әсерлесуші бозондар моделінің кейбір жағдайларда фермионды динамикалық-симметрия моделіне қарағанда төменірек дәлдік көрсететіні байқалады. Жекелеген күйлер үшін теориялық және эксперименттік мәндер арасындағы айырмашылық 20%-ға дейін жетуі мүмкін.

Екі теорияның маңызды нәтижелерінің бірі – ротациялық сипаттағы күйлермен қатар сфералық құрылым элементтерінің қатар өмір сүретінін дұрыс сипаттауы болып табылады. Сонымен бірге олар ауыр платина изотоптарында байқалатын «бэкбендинг» құбылысын сапалық тұрғыдан да, сандық тұрғыдан да түсіндіре алады. Бұл құбылыс бұрыштық импульстің өсуімен энергия деңгейлерінің орналасу заңдылығының өзгеруімен сипатталады. Бэкбендинг эффектісін талдау үшін әдетте $\Delta E_I = E_I - E_{I-2}$ шамасы қарастырылады. Кіші бұрыштық импульстер аймағында бұл айырма ротациялық модельге сәйкес бірқалыпты өзгереді. Алайда бұрыштық импульс белгілі бір критикалық мәнге жеткеннен кейін (I_c) энергия аралықтарының өзгеру заңдылығы күрт бұзылады. Мұндай ерекшеліктер ядро ішіндегі нуклондық жұптардың қайта құрылуымен және жоғары импульсті орбиталардың қатыса бастауымен түсіндіріледі.

Зерттелген платина изотоптары үшін бұл құбылыс айқын байқалады. Атап айтқанда, ^{190}Pt және ^{192}Pt ядроларында критикалық аймақ шамамен $I_c \approx 12\hbar$ мәніне сәйкес келеді, ал ^{194}Pt ядросында бұл өзгеріс ертерек, шамамен $I_c \approx 10\hbar$ маңында басталады. Мысалы, ^{190}Pt ядросы үшін $\Delta E(8^{+} \rightarrow 10^{+}) = 0.62 \text{ МэВ}$, ал $\Delta E(10^{+} \rightarrow 12^{+}) = 0.12 \text{ МэВ}$ болып өзгереді. Энергия айырмасының осындай күрт кемуі бэкбендинг құбылысының айқын көрінісі болып табылады және ядроның ұжымдық ротациялық режимінен квазибөлшектік конфигурациялардың маңызды рөл атқаратын жаңа динамикалық күйге ауысуын көрсетеді.

Осылайша, фермионды динамикалық-симметрия моделі де, өзара әсерлесуші бозондар моделі де платина изотоптарындағы спектрлік заңдылықтарды және жоғары спинді күйлерде байқалатын құрылымдық өзгерістерді сәтті сипаттайды. Алайда фермионды динамикалық-симметрия моделінің нәтижелері тәжірибелік деректермен біршама жақсырақ сәйкес келіп, оның ауыр өтпелі ядролардың ұжымдық қасиеттерін зерттеудегі тиімділігін көрсетеді.

Қорытынды. Зерттеу барысында фермионды динамикалық-симметрия моделінің ықшамдалған нұсқасы қарастырылып, оның бозондық кеңістікке бейнелену мүмкіндіктері талданды. Алынған нәтижелер ұсынылған ықшамдау процедурасының көпфермионды жүйелердегі негізгі ұжымдық еркіндік дәрежелерін бөліп көрсетуге мүмкіндік беретінін және модельдің физикалық мазмұнын сақтай отырып, есептеу күрделілігін едәуір төмендететінін көрсетті. Фермиондық операторларды тиімді бозондық айнымалылармен алмастыру күрделі көпбөлшекті есептердің алгебралық құрылымын жеңілдетіп, энергетикалық спектрлер мен электромагниттік ауысуларды зерттеудің тиімді құралын ұсынады.

Жүргізілген талдау әлсіз және орташа деңгейдегі корреляциялар жағдайында ұсынылған тәсілдің бастапқы фермиондық жүйенің негізгі спектрлік сипаттамаларын жеткілікті дәлдікпен қайта өндіретінін көрсетті. Алайда корреляциялық әсерлер күшейген кезде жуықтаудың дәлдігі төмендей бастайды, бұл модельді одан әрі жетілдіру және жоғары ретті әсерлесулерді ескеру қажеттігін көрсетеді.

Қолданбалы есептеулер нәтижесінде платина изотоптарының төмен энергиялы күйлерінің құрылымы зерттеліп, олардың спектрлік қасиеттері тәжірибелік деректермен салыстырылды. Алынған нәтижелер көрсеткендей, қарастырылған изотоптардың ұжымдық қасиеттері негізінен $O(6)$ динамикалық симметриясына сәйкес келеді, ал $SU(3)$ симметриясының үлесі салыстырмалы түрде әлсіз байқалады. Мұндай қорытынды эксперименттік спектрлерде байқалатын бірқатар ерекшеліктерді, соның ішінде γ -тұрақсыздыққа тән заңдылықтарды түсіндіруге мүмкіндік береді.

Сонымен қатар зерттеу нәтижелері өзара әсерлесуші бозондар моделінің $U(5)$ шектік симметриясы платина изотоптарының деңгейлік құрылымын толық сипаттай алмайтынын көрсетті. Әсіресе, бұл тәсіл бэкбендинг құбылысының пайда болуын және жоғары бұрыштық импульсті күйлердің кейбір ерекшеліктерін қанағаттанарлық деңгейде түсіндіре алмайды. Ал фермионды динамикалық-симметрия моделі аталған эффектілерді сипаттауда анағұрлым тиімді нәтижелер береді.

Жалпы алғанда, өзара әсерлесуші бозондар моделінің қарапайым асимптотикалық шектері барлық жағдайда жоғары дәлдік көрсете бермейді. Дегенмен, оның толық $(s-d)$ Гамильтонианын дәл диагоналдау тәжірибелік деректермен жақсы келісетін нәтижелер алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар фермионды динамикалық-симметрия моделі ядролық жүйелердің ұжымдық еркіндік дәрежелерін микроскопиялық деңгейде сипаттауға кеңірек мүмкіндік

береді. Алайда мұндай жағдайда Гамильтонианның құрылымы күрделене түседі және ұжымдық қозулардың фермиондық табиғатын тереңірек зерттеуді талап етеді. Сондықтан фермиондық және бозондық сипаттамаларды байланыстыратын теориялық тәсілдерді одан әрі дамыту ядролық құрылым теориясының маңызды бағыттарының бірі болып қала береді.

References

- Arima A., Yoshida N., Ginocchio J.N. (1981) Boson mappings of the Ginocchio model of the fermion systems. *Phys. Lett.* – Vol. B101. – P. 209-222. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.34.2373> (in Eng.).
- Baktybaev K., Koilyk N.O., & Ramankulov K.E. (2008). Fermionno-teoreticheskoe gruppovoe issledovanie kollektivnykh sostoyanii yader [Fermion-theoretical group study of collective nuclear states]. – *KazNU Bulletin. Physics Series.* – No. 26(2). Retrieved from <https://bph.kaznu.kz/index.php/zhuzhu/article/view/1446> (in Russian).
- Bohr A., Mottelson B.R. (1975) *Nuclear Structure. Nuclear Deformations.* – New York: W.A. Benjamin. – Vol. 2. ISBN: 9780805310160. (in Eng.).
- Cejnar P., Jolie J., Casten R.F. (2010) Quantum phase transitions in the shapes of atomic nuclei. *Rev. – Mod. Phys.* – Vol. 82. – P. 2155-2212. DOI: <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.82.2155> (in Eng.).
- Cummane J.C., Pliparinen M., Daly P.J. et.all. (1976) Hig-spin levels structure of 190, 192, 194 Pt. *Phys. Rev.* – Vol. C1. – P. 2197-2212. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.13.2197> (in Eng.).
- Dalekhankyzy A., Baimbetova G.A., Koilyk N.O., Toktarbai S., & Beisebaeva A. (2025). Kvazispinovyi formalizm vzaimodeistviia bozonov i ego primenenie v yadernoi teorii [Quasispin formalism of boson interaction and its application in nuclear theory]. *Academic Journal of Physical and Chemical Sciences.* – No. 2. <https://doi.org/10.32014/2025.2518-1483.341> (in Russian).
- Davydov A.S., Chavan A.A. (1960) On investigation the collective states of the π -rotation nuclei. *Nucl. Phys.* – Vol.20. – P. 499-513. DOI: [https://doi.org/10.1016/0029-5582\(60\)90191-7](https://doi.org/10.1016/0029-5582(60)90191-7) (in Eng.).
- Elliott J.P. (1958) Collective motion in the nuclear shell model. *Proc. Roy. Soc. London A.* – Vol. 245. – P. 128-145. <https://doi.org/10.1098/rspa.1958.0072> (in Eng.).
- Finger M., Foucher R., Hussen J.P et.all. (1972) Properties of low-lying levels in the even platinum nuclei. *Nucl. Phys.* – Vol. A188. – P. 369-378. DOI: [https://doi.org/10.1016/0375-9474\(72\)90064-4](https://doi.org/10.1016/0375-9474(72)90064-4) (in Eng.).
- Iachello F., Arima A. (1987) *The Interacting Boson Model.* Cambridge: Cambridge Univ. Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511895517> (in Eng.).
- Koilyk N.O., Dalekhanqyzy A., Kaptagai G.A., Kokazhayeva A.B., Shambulov N.B. (2023) Teoretiko-gruppovoe issledovanie kollektivnykh sostoyanii mnogonuklonnykh yadernykh sistem [Group-theoretical study of collective states of multinucleon nuclear systems]. *Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.* – Vol. 345(1). – P. 148-163. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.191> (in Russian).
- Koilyk, N. O. (2026). Kopnuklondy zhuierldin uzhyndyk kuilerinin mikroskopiialyk sipattamasy [Microscopic description of collective states of multinucleon systems]. – Almaty: Poligrafia. – 104 p. ISBN 978-601-353-428-2. (in Kazakh).
- Lederer C.M., Shirley V.S. (1978) *Table of Isotopes.* 7th ed. New York: John Wiley & Sons. – 1523 p. ISBN 0-471-04179-3. (in Eng.).
- Rowe D.J., Wood J.L. (2010) *Fundamentals of Nuclear Models: Foundational Models.* Singapore: World Scientific. <https://doi.org/10.1142/7421> (in Eng.).
- Wigner E. (1937) On the Consequences of the Symmetry of the Nuclear Hamiltonian. *Physical Review.* – Vol. 51. – No. 2. – P. 106-119. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.51.106> (in Eng.).
- Wu Ch. L., Fend D.H., Chen X-G., Chen J.Q., Gnidry M.W. (1987) Fermion dynamical symmetry model of nuclei: Basis, Hamiltonian, and symmetries. – *Phys. Rev.* – Vol. 36. – P. 1157-1180. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.36.1157> (in Eng.).
- Wybourne B.G. (1974) *Classical Groups for Physicists.* – New York: Wiley. ISBN 0-471-96505-7. (in Eng.).

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty)

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 work described 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 originality detection service Cross Check <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.

Requirements for articles design for publication in the journal are available on the websites:

www.nauka-nanrk.kz

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

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

Managing Editor: T. Apendiev
Editors: D.S. Alenov, A. Shormakova
Computer layout: G.D. Zhadyranova

Signed for print: June 22, 2026
Format: 70×90 1/16. 24.5 printed sheets. Order No. 2.

*«Central Asian Academic Research Center» LLP
Almaty, Shevchenko Street, 28*