

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 Tlekkabul 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 Жұрынулы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ХҒАК 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%3E>; <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакция ұжымы:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нұрәділулы, 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 Мынжасарұлы, 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>

ТИГИНЬАНУ 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 Биоғылым және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIBB), 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), нанокұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/616360>

БОШКАЕВ Қуантай Авгазыұлы, 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 Жабағаұлы, 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 Зайнұтталайұлы, 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 МААН и НАН РК, Генеральный директор НИИ нефтепереработки и нефтехимии (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960%>; <https://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), (Дэчон, Корея), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

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

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

АБИШЕВ 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>

АБИЛЬМАТЖАНОВ 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>

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., Kazhuratova 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., Zhaltyrbayeva 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 охранның эпоксидті композиттердің кинетикалық сипаттамаларына ықпалын зерттеу.....	92
Шоканов А.К., Хамраев Ш.И., Смихан Е.А. Үшқыш 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., Ташмухамбетова 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., Тулешова Э.Ж.

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

Фазылов С.Д., Сыздықов А.К., 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
косылыстары.....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: биомассадан 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 тотығыуы арқылы бензол алу.....302

Сдиқова 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 көміртеккі 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., Кубісек 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. Мёсбауэровские 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
Башова А.К., Башов 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., Джелдыбаева 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., Жангурина 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-цементо-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 L.</i> 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), 60–69

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.437>

UDC: 539.12.16

IRSTI: 31.15.37

©Massak B.¹, Agyl-Mussapar O.¹, Amangeldinova S.¹, Kurmangaliyeva V.^{1*},
Snow M.², 2026.

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

²Indiana University, Bloomington, USA.

*E-mail: venera_baggi@mail.ru

CONSTRAINTS ON YUKAWA-TYPE SHORT-RANGE INTERACTIONS FROM NEUTRON INTERFEROMETRY DATA

Massak Bekarys — PhD student, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: bekarysbereketov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3003-6210>;

Agyl-Mussapar Orazbay — PhD student, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: oagilmuzaffar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1160-1226>;

Amangeldinova Sabina — PhD student, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

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

Kurmangaliyeva Venera — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

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

Snow Michael — Professor, Indiana University, Bloomington, USA,

E-mail: wsnow@iu.edu, <https://orcid.org/0000-0002-8931-5513>.

Abstract. This work presents an analysis of Yukawa-type short-range interactions based on neutron interferometry data. The aim of the study is to investigate possible modifications of gravity at angstrom length scales and to establish experimental constraints on their parameters. Such interactions are predicted by several theories beyond the Standard Model and may lead to deviations from the conventional gravitational potential at very short distances.

Within the framework of a theoretical model describing coherent neutron scattering in a crystal, the dependence of the normalized scattering amplitude $b(Q)/b(0)$ on the momentum transfer is examined. The model incorporates the main interactions predicted by the Standard Model and includes an additional Yukawa-type correction representing a possible contribution from new physics. As a result, the total theoretical dependence is expressed as the sum of the Standard Model contribution and the hypothetical interaction.

The theoretical predictions are compared with available experimental data. The measured values are in good agreement with Standard Model expectations, and no



systematic deviations are observed. Therefore, no direct evidence for an additional interaction is obtained. Instead, the analysis is used to place constraints on its possible parameters. The fitting procedure yields upper limits on the parameter α_G for $\lambda \approx 0.1 - 1 \text{ \AA}$.

The obtained results indicate that, if an additional short-range interaction exists, its strength must be significantly weaker than the gravitational interaction. These findings demonstrate the high sensitivity of neutron interferometry at atomic length scales and confirm its effectiveness for probing new physics.

Keywords: Standard Model, dark matter, dark energy, modified gravity, Yukawa potential, neutron interferometry, short-range interactions, scattering amplitude

Financing. This research was conducted as part of the targeted funding program for the project AP23484023, titled “Investigation of exotic interactions of neutrons with matter”.

For citations: Massak B., Agyl-Mussapar O., Amangeldinova S., Kurmangaliyeva V., Snow M. Constraints on Yukawa-Type Short-Range Interactions from Neutron Interferometry Data. *Academic Journal of Physical and Chemical Sciences*. 2026. No.2. Pp. 60–69. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.437>

©Масақ Б.¹, Ағыл-Мұсапар О.¹, Амангелдинова С.¹, Курманғалиева В.^{*1},
Сноу М.², 2026.

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

²Индиана Университеті, Блумингтон, АҚШ.

*E-mail: venera_baggi@mail.ru

НЕЙТРОНДЫҚ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ НЕГІЗІНДЕ ЮКАВА ТИПТІ ҚЫСҚА-ҚАШЫҚТЫҚТАҒЫ ӨЗАРА ӘСЕРЛЕСУЛЕРГЕ ШЕКТЕУЛЕР ҚОЮ

Масақ Бекарыс — PhD докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: bekarysbereketov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3003-6210>;

Ағыл-Мұсапар Оразбай — PhD докторант, ө әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: oagilmuzaffar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1160-1226>;

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

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

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

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

Сноу Майкл — профессор, Индиана университеті, Блумингтон, АҚШ,

E-mail: wsnow@iu.edu, <https://orcid.org/0000-0002-8931-5513>.

Аннотация. Бұл жұмыста нейтрондық интерферометрия деректері негізінде Юкава типті қысқа-қашықтықтағы өзара әрекеттесулерге талдау жүргізілді.

Зерттеудің мақсаты – ангстремдік масштабтарда гравитациялық өзара әрекеттесудің ықтимал модификацияларын тексеру және олардың параметрлеріне эксперименттік шектеулер қою. Мұндай зерттеулердің өзектілігі Стандартты модельден тыс бірқатар теориялардың өте қысқа қашықтықтарда байқалуы мүмкін жана әлсіз әсерлесулердің болуын болжауымен байланысты болып табылады. Осындай әсерлесулер гипотетикалық жеңіл бөлшектердің алмасуы нәтижесінде туындап, гравитациялық потенциалға Юкавалық түзетулер енгізуі мүмкін.

Нейтрондардың кристалдағы когерентті шашырауын сипаттайтын теориялық модель аясында $b(Q)/b(0)$ нормаланған шашырау амплитудасының импульс берілісіне тәуелділігі қарастырылды. Модельде Стандартты модель шеңберіндегі негізгі әсерлесулер ескеріліп, қосымша ықтимал әсер ретінде Юкава типті түзету енгізілді. Нәтижесінде толық теориялық тәуелділік Стандартты модель үлесі мен ықтимал жана әсерлесудің қосындысы түрінде жазылды.

Теориялық есептеулер эксперименттік деректермен салыстырылып, өлшенген шамалардың теориялық болжамдармен жақсы сәйкес келетіні анықталды. Деректерде жүйелі ауытқулардың байқалмауы жана күштің тікелей тіркелмегенін көрсетеді. Осыған байланысты жана әсерлесуді анықтаудан гөрі оның параметрлеріне шектеулер қою міндеті қарастырылды. Жүргізілген сәйкестендіру нәтижесінде $\lambda \approx 0.1-1 \text{ \AA}$ диапазонында α_G параметрінің жоғарғы шектері анықталды.

Алынған нәтижелер көрсеткендей, егер қысқа-қашықтықтағы қосымша өзара әрекеттесу шын мәнінде бар болса, онда оның күші гравитациялық әсерлесумен салыстырғанда едәуір әлсіз болуы тиіс. Зерттеу нәтижелері нейтрондық интерферометрияның атомаралық масштабтардағы ерекше жоғары сезімталдығын растайды және оның жана физиканы іздеудегі, сондай-ақ іргелі өзара әрекеттесулерді тексерудегі тиімді эксперименттік құрал екенін көрсетеді.

Түйін сөздер: Стандартты модель, қараңғы материя, қараңғы энергия, модификацияланған гравитация, Юкава потенциалы, нейтрондық интерферометрия, қысқа-қашықтықтағы өзара әсерлесулер, шашырау амплитудасы

©Масак Б.¹, Агыл-Мусапар О.¹, Амангелдинова С.¹, Курмангалиева В.^{*1},
Сноу М.², 2026.

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

²Университет Индианы, Блумингтон, США.

*E-mail: venera_baggi@mail.ru

ОГРАНИЧЕНИЯ НА ЮКАВОВСКИЕ КОРОТКОДЕЙСТВУЮЩИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ НЕЙТРОННОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Масак Бекарыс — PhD докторант, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: bekarysbereketov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3003-6210>;

Агыл-Мусапар Оразбай — PhD докторант, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,



E-mail: oagilmuzaffar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1160-1226>;

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

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

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

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

Сноу Майкл — профессор, Университет Индианы, Блумингтон, США,

E-mail: wsnow@iu.edu, <https://orcid.org/0000-0002-8931-5513>.

Аннотация. В данной работе проведён анализ короткодействующих взаимодействий юкавовского типа на основе данных нейтронной интерферометрии. Целью исследования является проверка возможных модификаций гравитации на ангстремных масштабах и установление экспериментальных ограничений на параметры дополнительных взаимодействий. Актуальность исследования обусловлена тем, что ряд современных теоретических моделей, выходящих за рамки Стандартной модели, предполагает существование новых слабых взаимодействий, проявляющихся на малых расстояниях и вызывающих отклонения от ньютоновского закона тяготения. В рамках теоретической модели когерентного рассеяния нейтронов в кристалле исследована зависимость нормированной амплитуды рассеяния ($b(Q)/b(0)$) от передаваемого импульса. При этом учитывались основные взаимодействия, описываемые Стандартной моделью, а также дополнительная поправка юкавовского типа, рассматриваемая как возможное проявление новой физики. Полная теоретическая зависимость представлена в виде суммы вклада Стандартной модели и дополнительного взаимодействия. Сравнение теоретических расчётов с экспериментальными данными показало их хорошее согласие и отсутствие систематических отклонений. В связи с этим прямых свидетельств существования новой силы обнаружено не было, однако получены строгие ограничения на её параметры. В результате проведённого фитирования определены верхние пределы параметра αG в диапазоне характерных длин $\lambda \approx 0,1-1 \text{ \AA}$. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в случае существования дополнительного короткодействующего взаимодействия его интенсивность должна быть существенно ниже силы гравитационного взаимодействия. Это подтверждает высокую чувствительность методов нейтронной интерферометрии на атомарных масштабах и демонстрирует их эффективность для поиска новой физики и проверки фундаментальных взаимодействий на ультракоротких расстояниях.

Ключевые слова: Стандартная модель, тёмная материя, тёмная энергия, модифицированная гравитация, потенциал Юкавы, нейтронная интерферометрия, короткодействующие взаимодействия, амплитуда рассеяния

Кіріспе. Элементар бөлшектердің Стандартты моделі электромагниттік, әлсіз және күшті өзара әсерлесулерді жоғары дәлдікпен сипаттайды. Алайда ол гравитацияның кванттық сипаттамасын қамтымайды және заманауи физиканың бірқатар іргелі мәселелеріне толық жауап бермейді. Атап айтқанда, қараңғы

материя мен қараңғы энергияның табиғаты, сондай-ақ қысқа қашықтықтардағы мүмкін болатын гравитациялық ауытқулар мәселелері ашық күйінде қалып отыр. Осыған байланысты Стандартты модельден тыс әлсіз жаңа әсерлесулерді іздеу қазіргі теориялық және эксперименттік физиканың маңызды бағыттарының бірі болып табылады (Mostepanenko and Novello, 2001; Bezerra et al., 2010).

Көптеген кеңейтілген теорияларда (Klimchitskaya and Mostepanenko, 2017) кәдімгі материя бөлшектері арасында қосымша әлсіз күштерді тудыруы мүмкін жеңіл тасымалдаушы бөлшектердің болуы болжанады. Мұндай жаңа әсерлесулер өте қысқа қашықтықтарда тиімді потенциалдың өзгеруі арқылы байқалуы мүмкін. Макроскопиялық масштабта Ньютонның кері квадраттар заңы жоғары дәлдікпен тексерілгенімен, субнанометрлік диапазонда гравитацияны тікелей өлшеу оның аса әлсіз болуына байланысты мүмкін емес. Сол себепті бұл масштабта ықтимал ауытқуларды тек жоғары дәлдікті жанама әдістер арқылы ғана зерттеуге болады (Chen et al., 2016; Masuda and Sasaki, 2009).

Осындай әдістердің бірі — мінсіз кристалдарда жүргізілетін нейтрондық интерферометриялық және дифракциялық өлшеулер. Нейтрон электрлік бейтарап бөлшек болғандықтан, электростатикалық фондық әсерлерге аз ұшырайды және зат арқылы терең ене алады. Бұл қасиеттер оны ангстремдік масштабтағы әлсіз өзара әсерлесулерді зерттеу үшін тиімді құрал етеді (Heacock et al., 2021). Нейтронның $b(Q)$ шашырау амплитудасының берілген Q импульске тәуелділігін талдау арқылы әсерлесу потенциалының кеңістіктік құрылымы жөнінде ақпарат алуға болады және Стандартты модель болжамынан мүмкін болатын ауытқулар анықталуы мүмкін.

Осы жұмыста нейтрондық интерферометрия нәтижелері негізінде ықтимал гравитациялық модификацияларға шектеу қою мүмкіндігі талданады. Теориялық модель мен эксперименттік деректерді статистикалық салыстыру арқылы қосымша әлсіз әсерлесу параметрлеріне шектеулер қойылады. Осылайша, зерттеу ангстремдік қашықтықтарда іргелі заңдарды тексеру аясын кеңейтуге бағытталған.

Зерттеу материалдары және әдістері. Нейтронның кристаллда шашырауын сипаттау үшін ең алдымен оның атомдармен әсерлесу потенциалы қарастырылады. Шашырау амплитудасы кеңістіктегі осы потенциалдың Фурье түрлендіруімен анықталатындықтан, амплитуданың берілген импульс Q -ға тәуелділігі өзара әрекеттесудің кеңістіктік құрылымын тікелей бейнелейді. Сондықтан өлшенетін $b(Q)/b(0)$ шамасының теориялық болжамнан ауытқуы жаңа физиканың белгісі болуы мүмкін. Мұнда $b(Q)$ — берілген Q импульс кезіндегі нейтронның шашырау амплитудасы, ал $b(0)$ — нөлдік импульс жағдайындағы (яғни алға бағытталған шашырау) амплитуда. Солайша $b(Q)/b(0)$ шамасы амплитуданың салыстырмалы өзгерісін сипаттайды және әсерлесу потенциалының кеңістіктік құрылымы туралы ақпарат береді. Стандартты модель аясында бұл шаманың импульске тәуелділігі толық анықталған және барлық белгілі әсерлесулерді ескереді. Егер эксперименттік деректер осы тәуелділіктен жүйелі түрде ауытқыса, бұл әсерлесу потенциалына қосымша белгісіз мүше енгізілгенін, яғни Стандартты модельден тыс жаңа өзара әрекеттесудің бар екенін көрсетуі мүмкін.

Стандартты модель шеңберінде нейтрон мен кристалл атомдарының арасындағы әсерлесу бірнеше физикалық үлестердің қосындысынан тұрады. Біріншіден, нейтрон ядромен күшті әсерлеседі. Екіншіден, нейтронның ішкі құрылымына байланысты электрондармен әсерлесудің әлсіз электромагниттік үлес бар. Үшіншіден, кристалл торының жылулық тербелістері шашырау амплитудасын әлсіретеді. Осы әсерлерді ескергенде нормаланған амплитуда келесі түрде жазылады:

$$\frac{b(Q)}{b(0)} = e^{-W} \left(1 - Z \frac{b_{ne}}{b(0)} \right) + f_e(hkl) \frac{b_{ne}}{b(0)} \quad (1)$$

Мұнда W — Дебай–Уоллер факторы, ол атомдардың жылулық қозғалысын сипаттайды; Z — атомдық номер; b_{ne} — нейтронның электрондармен шашырау амплитудасы; ал $f_e(hkl)$ — кристалдағы электрондық зарядтың кеңістіктік таралуын сипаттайтын және дифракциялық жазықтыққа тәуелді электрондық форм-фактор. Берілген Q импульс кристалл геометриясымен және Миллер индекстерімен (hkl) анықталады, сондықтан әртүрлі шағылулар әртүрлі Q мәндерін береді:

$$Q = \frac{2\pi}{a} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \quad (2)$$

мұндағы a — кристалл торының параметрі. Осылайша, бірнеше Q нүктесін салыстыру арқылы амплитуданың қашықтық масштабына тәуелділігі зерттеледі. Бұл сипаттама Стандартты модель аясында толық анықталған және қосымша еркін параметрлерді енгізбейді. Алайда егер нейтрон мен атом арасында қосымша әлсіз әсерлесу бар болса, ол потенциалға жаңа мүше қосады. Ньютонның бүкіләлемдік тартылыс заңынан мүмкін болатын ауытқуларды сипаттаудың бірден-бір әмбебап және кеңінен қолданылатын әдісі — Юкава типті модификацияланған гравитациялық потенциалды енгізу болып табылады (Mostepanenko and Novello, 2001; Bezerra et al., 2010). Бұл әдістер нақты бір фундаменталды теорияға сүйенбейді және Стандартты модельден тыс ықтимал өзара әрекеттесулердің кең ауқымды тобын феноменологиялық әдіспен, яғни эксперименттік құбылыстарға негізделген параметрлер арқылы сипаттауға мүмкіндік береді.

Классикалық Ньютон физикасында r арақашықта орналасқан нүктелік m_1 және m_2 массалары арасындағы гравитациялық потенциал келесі түрде ие

$$V_N(r) = -G \frac{m_1 m_2}{r} \quad (3)$$

мұндағы G —гравитациялық тұрақты. Егер де табиғатта қосымша әлсіз әсерлесулер бар болатын болса, онда потенциалдық энергия аз арақашықтықта кері квадраттар заңынан ауытқуға алып келетін қосымша қосылғышқа ие болады. Осындай түзетудің ең кең таралған түрі Юкава-потенциалы түрінде жазылады:

$$V_N(r) = -G \frac{m_1 m_2}{r} \left(1 + \alpha e^{-\frac{r}{\lambda}} \right) \quad (4)$$

Бұл жердегі α параметрі ньютондық гравитациямен салыстырғандағы жаңа әсерлесудің салыстырмалы күшін сипаттайды, ал λ параметрі сол әсерлесудің әсер ету қашықтығын немесе сипаттамалық радиусын анықтайды. Физикалық тұрғыдан λ параметрі болжамды әсерлесуді тасымалдаушы бөлшектің массасымен келесідей байланысқан:

$$\lambda = \frac{\hbar}{mc} \quad (5)$$

мұндағы m - қосымша әсерлесуді қамтамасыз етуші бозонның массасы. Осылайша, Юкава-потенциалы нуклондар арасындағы жеңіл скаляр немесе векторлық бөлшектердің алмасуы нәтижесінде табиғи түрде пайда болады (Klimchitskaya and Mostepanenko, 2017). α параметрінің таңбасы әсерлесудің түрін анықтайды. $\alpha > 0$ жағдайында қосымша күш тартылыс күші болып, ал $\alpha < 0$ жағдайында тебілу күші болып табылады.

Жаңа әсерлесу күшінің әсер ету аймағы өте үлкен жағдайда, яғни $\lambda \gg r$ жағдайында Юкавалық қосылғыш шамамен тұрақты шамаға айналып ($e^{-\frac{r}{\lambda}} \approx 1$), жаңа әсерлесудің күші гравитациялық тұрақтының тиімді өзгеруіне алып келеді, яғни гравитациялық тұрақтының күшеюі немесе әлсіреуі түрінде байқалады. Ал әсерлесу күшінің әсер ету аймағы өте кіші жағдайда, яғни $\lambda \ll r$ жағдайында экспоненталық шама өте кішкентай мәнге ие болып ($e^{-\frac{r}{\lambda}} \approx 0$), жаңа әсерлесуші күш тез «өшіп қалады», яғни ол тәжірибеде байқалмайды. Осыған байланысты Юкава-потенциалын тексеруге арналған тәжірибелер λ -ның белгілі бір аймағы үшін ғана сезімтал болады. Бір әдіс микрометрді тексерсе, екіншісі нанометрді, басқасы миллиметрді, яғни λ -ның барлық аймағын бір ғана тәжірибе жаба алмайды. Әр әдіс параметрлік кеңістіктің шектеулі бөлігін ғана қамтиды.

Нейтронның шашырау амплитудасы әсерлесу потенциалының кеңістіктегі құрылымымен анықталатындықтан, потенциалға қосымша мүше енгізілсе, амплитуданың импульске тәуелділігі де өзгереді. Басқаша айтқанда, жаңа Юкава типті әсерлесу потенциалдың формасын өзгертеді, ал бұл өзгеріс Фурье түрлендіру арқылы шашырау амплитудасында көрініс табады. Борн жуықтауында амплитуда потенциалдың Фурье түрлендіруіне пропорционал болғандықтан, Юкава типті қосымша мүше Q -ға тәуелді ерекше функция береді:

$$\delta \left(\frac{b(q)}{b(0)} \right) = \alpha \frac{Q^2 \lambda^2}{1 + Q^2 \lambda^2} e^{-w} \quad (6)$$

Бұл өрнек жаңа әсерлесудің қандай жағдайда байқалуы мүмкін екенін көрсетеді. Егер $Q\lambda$ өте кіші болса, әсер әлсірейді; егер $Q\lambda$ шамамен бірге тең болса, ықпал максималды болады; ал өте үлкен мәндерде функция қанығу режиміне өтеді. Демек, эксперименттің сезімталдығы қолжетімді Q диапазонымен анықталады.

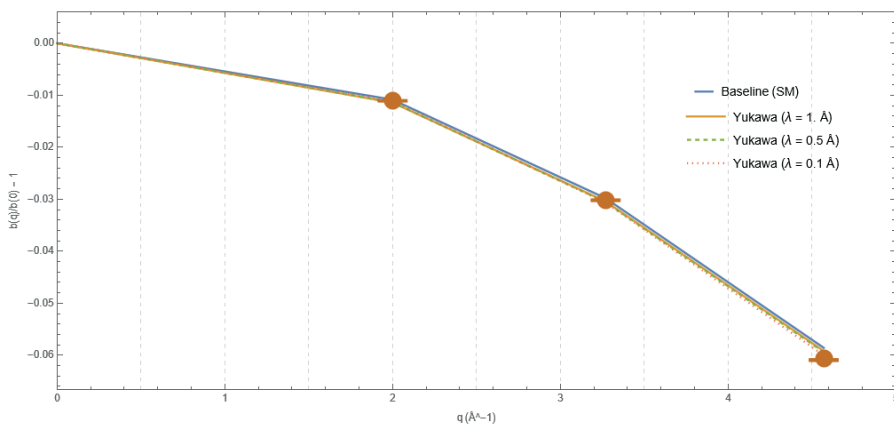
Осылайша толық теориялық тәуелділік Стандартты модель үлесі мен ықтимал Юкава түзетуінің қосындысы ретінде жазылады.

$$\frac{b(Q)}{b(0)} = e^{-W} \left(1 - Z \frac{b_{nE}}{b(0)} \right) + f_s(hkl) \frac{b_{nE}}{b(0)} \quad (7)$$

Мұндағы e^{-W} – Дебай-Уоллер факторы, атомдардың жылулық тербелістерін сипаттайды, Z - атомдық номер, $f_s(hkl)$ - электрондық форма-фактор, b_{nE} – нейтрон-электрон шашырау амплитудасы, $b(Q)$ және $b(0)$ - сәйкесінше импульс берілімі Q кезіндегі және нөлдік импульс кезіндегі шашырау амплитудалары.

Нәтижелер мен талқылаулар. Тәжірибелік деректерді талдау нейтронның кристалда шашырауын сипаттайтын теориялық модель аясында жүргізілді. Бұл модельде шашырау амплитудасының $b(Q)/b(0)$ қатынасы импульс берілісіне тәуелді түрде анықталады және нейтронның шашырауына әсер ететін негізгі белгілі физикалық факторларды ескереді. Сонымен қатар, ықтимал жаңа әсерлесулерді есепке алу үшін Юкава типті түзету енгізілді.

Осыған байланысты өлшенген $b(Q)/b(0)$ мәндері Стандартты модель және Юкава түзетуі бар теориялық қисықтармен салыстырылды. Бұл салыстырудың нәтижелері 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1. Нормаланған $b(Q)/b(0)$ шашырау амплитудасының Q импульс берілісіне тәуелділігі және Юкава типті түзетудің ықпалы.

Суреттен көрінгендей, эксперименттік нүктелер Стандартты модель қисығына жақсы сәйкес келеді. Юкава типті түзетуді енгізу теориялық қисықтың пішінін аздап өзгертеді, алайда бұл өзгерістер эксперименттік қателіктер шегінде қалып отыр. Яғни, деректерде Стандартты модельден жүйелі ауытқу байқалмайды.

Тәжірибелік деректерде (Heacock et al., 2021) айқын ауытқу байқалмағандықтан, талдаудың негізгі мақсаты — өлшеулермен үйлесетін α_G параметрінің шекті мәндерін анықтау болып табылады. Өртүрлі λ мәндері үшін α_G параметрінің жоғарғы шектері анықталып, нәтижелері 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1. Юкава типті потенциал үшін α_G параметрінің жоғарғы шектері.

$\lambda(\text{Å})$	α_G
1	1.8928×10^{-28}
0.5	2.8367×10^{-28}
0.1	2.4250×10^{-27}

Кестеден көрінгендей, әсер ету радиусы азайған сайын α_G параметріне қойылатын шектеулер әлсірейді. Бұл қысқа қашықтықтарда Юкава потенциалының үлесі азаюымен байланысты.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер $\lambda \approx 0.1-1 \text{ Å}$ диапазонында жаңа күштің айқын белгілері байқалмайтынын көрсетеді. Бұл тәсіл нейтрондық интерферометрияны ангстремдік масштабтағы ықтимал гравитациялық модификацияларды зерттеудің жанама, бірақ сезімтал құралы ретінде пайдалануға мүмкіндік береді.

Қорытынды. Бұл жұмыста нейтрондық интерферометрия деректері негізінде Юкава типті қысқа-қашықтық өзара әрекеттесулерге талдау жүргізілді. Эксперименттік нәтижелер Стандартты модель болжамдарымен сәйкес келетіні және жүйелі ауытқулар байқалмайтыны көрсетілді.

Жүргізілген сәйкестендіру нәтижесінде $\lambda \approx 0.1-1 \text{ Å}$ диапазонында α_G параметріне жоғарғы шектеулер қойылды. Алынған нәтижелер жаңа әсерлесудің ықтимал күші гравитациямен салыстырғанда өте әлсіз болуы тиіс екенін көрсетеді.

Нейтрондық интерферометрия атомаралық масштабтарда жоғары сезімтал әдіс болып табылады және қысқа-қашықтықтағы ықтимал жаңа физиканы зерттеуде тиімді құрал ретінде қарастырылады.

References

Banishev A.A., Wagner J., Emig T., Zandi R., Mohideen U. (2013) Demonstration of angle-dependent Casimir force. *Physical Review Letters*. – Vol. 110. – P. 250403. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.110.250403> (in Eng.).

Banishev A.A., Wagner J., Emig T., Zandi R., Mohideen U. (2014) Angular dependence of the Casimir force. *Physical Review B*. – Vol. 89. – P. 235436. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.89.235436> (in Eng.).

Bezerra V.B., Klimchitskaya G.L., Mostepanenko V.M., Romero C. (2010) Advance and prospects in constraining Yukawa-type corrections to Newtonian gravity. *Physical Review D*. – Vol. 81. – P. 055003. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.81.055003> (in Eng.).

Bimonte G., López D., Decca R.S. (2016) Isoelectronic determination of the thermal Casimir force. *Physical Review B*. – Vol. 93. – P. 184434. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.93.184434> (in Eng.).

Chen Y.J., Tham W.K., Krause D.E., López D., Fischbach E., Decca R.S. (2016) Stronger limits on Yukawa interactions. *Physical Review Letters*. – Vol. 116. – P. 221102. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.221102> (in Eng.).

Chiu H.C., Klimchitskaya G.L., Marachevsky V.N., Mostepanenko V.M., Mohideen U. (2009) Demonstration of the asymmetric lateral Casimir force. *Physical Review B*. – Vol. 80. – P. 121402. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.80.121402> (in Eng.).

Chiu H.C., Klimchitskaya G.L., Marachevsky V.N., Mostepanenko V.M., Mohideen U. (2010) Lateral Casimir force between sinusoidally corrugated surfaces. *Physical Review B*. – Vol. 81. – P. 115417. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.81.115417> (in Eng.).



Decca R.S., Fischbach E., Klimchitskaya G.L., Krause D.E., López D., Mostepanenko V.M. (2003) Improved tests of extra-dimensional physics. *Physical Review D*. – Vol. 68. – P. 116003. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.68.116003> (in Eng.).

Decca R.S., López D., Chan H.B., Fischbach E., Krause D.E., Jamell C.R. (2005) Constraining new forces using isoelectronic technique. *Physical Review Letters*. – Vol. 94. – P. 240401. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.94.240401> (in Eng.).

Decca R.S., López D., Fischbach E., Klimchitskaya G.L., Krause D.E., Mostepanenko V.M. (2005) Precise comparison of theory and experiment for the Casimir force. *Annals of Physics*. – Vol. 318. – P. 37–80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aop.2005.03.003> (in Eng.).

Decca R.S., López D., Fischbach E., Klimchitskaya G.L., Krause D.E., Mostepanenko V.M. (2007) Tests of new physics from Casimir pressure measurements. *Physical Review D*. – Vol. 75. – P. 077101. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.75.077101> (in Eng.).

Decca R.S., López D., Fischbach E., Klimchitskaya G.L., Krause D.E., Mostepanenko V.M. (2007) Constraints on light particles from Casimir effect. *European Physical Journal C*. – Vol. 51. – P. 963–975. DOI: <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-007-0324-4> (in Eng.).

Ederth T. (2000) Template-stripped gold surfaces with rms roughness suitable for force measurements. *Physical Review A*. – Vol. 62. – P. 062104. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.62.062104> (in Eng.).

Heacock B., Fujiie T., Haun R.W. et al. (2021) Pendellösung interferometry probes neutron charge radius. *Science*. – Vol. 373. – P. 1239–1243. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.abc2794> (in Eng.).

Klimchitskaya G.L., Mostepanenko V.M. (2017) Constraints on axionlike particles and non-Newtonian gravity. *Physical Review D*. – Vol. 95. – P. 123013. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.95.123013> (in Eng.).

Masuda M., Sasaki M. (2009) Limits on nonstandard forces. *Physical Review Letters*. – Vol. 102. – P. 171101. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.102.171101> (in Eng.).

Mostepanenko V.M., Novello M. (2001) Constraints on non-Newtonian gravity from the Casimir force measurements between two crossed cylinders. *Physical Review D*. – Vol. 63. – P. 115003. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.63.115003> (in Eng.).

Sedighi M., Svetovoy V.B., Broer W.H., Palasantzas G. (2014) Casimir forces from silicon carbide surfaces. *Physical Review B*. – Vol. 89. – P. 195440. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.89.195440> (in Eng.).

Sedighi M., Svetovoy V.B., Palasantzas G. (2016) Casimir force measurements from silicon carbide surfaces. *Physical Review B*. – Vol. 93. – P. 085434. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.93.085434> (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*