

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

**ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№4
2025**

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

2025 • 4



**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 NAS RK, Acting President of RPA NAS RK, General Director of JSC "Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky" (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

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>

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Director of the International Science and Production Holding "Phytochemistry" (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

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>

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>

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

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>

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>

BERSIMBAYEV Rakhmetkazi 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>

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

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>

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

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>

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>

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>

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>

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>

DAVLETOV Askar Erbulanovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Branch of NRNU MEPhI Kazakh National University named after Al-Farabi (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

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

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>

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:

ЖУРЫНОВ Мұрат Жұрынулы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҰҒА РҚБ президенті м.а., АҚ «Д.В. Сокольский атындағы Отын, катализ және электрохимия институтының» бас директоры (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

Редакция ұжымы:

ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нүрәліұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мыңжасарұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «Фитохимия» халықаралық ғылыми-өндірістік холдингінің директоры (Қарағанды, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

РАМАЗАНОВ Тілекқабұл Сәбитұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>

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

ОЛИВЬЕРО Россин Сезаре, PhD (химия), Калабрия университетінің профессоры (Калабрия, Италия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>

ТИГИНЯНУ 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>

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

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>

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

БОШКАЕВ Қуанғай Ағвазыұлы, 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>

Бүркітбаев Мұхамбетқали, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>

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

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>

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>

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>

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

ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, ҰЯЗУ МИФИ әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

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

ӘБІЛМАҒЖАНОВ Арпан 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>

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** Күзлік.

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 НАН РК, и.о. президента РОО НАН РК, Генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского» (Алматы, Казахстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

Редакционная коллегия:

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

АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного научно-производственного холдинга «Фитохимия» (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

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>

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>

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

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>

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>

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

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

БОШКАЕВ Куантай Авгазиевич, 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>

БҮРКИТБАЕВ Мухамбеткали, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>

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

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>

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>

ТАКИБАЕВ Нургали Жабагаевич, 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>

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

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович, кандидат физико-математических наук, доцент, Филиал НИЯУ МИФИ Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

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

АБИЛЬМАГЖАНОВ 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>

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», 2025

CONTENTS

PHYSICS

U.A. Ualikhanova, Y.Y. Kurban, A.M. Syzdykova, A.B. Altaibayeva, G.S. Altayeva
Dynamical systems analysis of the Starobinsky cosmological model.....11

M.B. Zhassybayeva, Z. Myrzakulova, M. Abeuova
Darboux transformation for the two-layer M-LXXII equation.....24

G.K. Beketova, N.N. Zhanturina, Z.K. Aimaganbetova
Cs₂AgBiBr₆ double halide perovskites as advanced materials for high-efficiency solar cells.....38

L.I. Shestakova, R.R. Spassyyuk
Spectral studies of the k–f corona interface at 5000–6000 Å.....52

A.Khazhidinova, A. Khazhidinov
On the issue of fuel consumption of a thermal power plant.....66

T.B. Koshtybayev, K.K. Zhantleuov, M.E. Aliyeva
Greens function in the theory of quantum fluids.....77

A.V. Serebryanskiy, Ch.B. Akniyazov, Ch.T. Omarov, S. Sittykova, D. Kadyrova
Analysis of lunar impact flashes statistics.....91

G.T. Omarova, Zh.T. Omarova
The Lagrange - Jacobi equation and its application to the N - body problem.....105

Zh. Muratkhan, M. Khassanov
Methods for estimation of stellar wind parameters in high-mass X-ray binary systems with neutron stars.....113

V. Mukamedenkyzy, A. Izbasar, A. Aqikat
Investigation of structured flows induced by concentration-driven convection in ternary gases systems.....127

K. Saurova, S. Nysanbaeva, G. Turlybekova
Modeling of the optical system of a star tracker for accurate spacecraft attitude determination.....140

CHEMISTRY

- B.S. Serikbayeva, M.S. Satayev, N.K. Sarypbekova**
Study of the electroplating process on polypropylene using a conductive layer.....157
- A.P. Auyeshov, Ch.Z. Yeskibayeva, A.K. Dikanbayeva**
Resource-efficient utilization of serpentinite waste for magnesium sulfate production.....172
- A.K. Kozybaev, Zh.D. Alimkulova, S.O. Abilkasova**
Kinetic and thermodynamic studies of heavy metal adsorption onto water-washed Ca-montmorillonite clay.....184
- A.Abdрахmanova, V. Krivchenko, A. Sabitova1, B. Kuderina**
DOL-enhanced electrolytes as a route to stable anodes in Li–V₂O₅ systems.....196
- B.K. Massalimova, A.S. Shayakhmetova, A.S.Darmenbayeva**
Water resources of Northern Kazakhstan: environmental monitoring and sustainable anagement.....208
- A. Rakhimov, N. Zhanikulov, B. Taimasov, E. Potapova, A.K. Sviderskiy**
Investigation of lead slag processing waste as raw material for cement industry.....227
- L.M. Kalimoldina, K.Zh. Zhalgasbayev, A.S. Dauletbayev**
Comparative study of industrial wastewater treatment methods.....241
- A. Nurlan, S.R. Konuspayev, T.S. Abildin, K. Toshtay**
Transformations of hydrocarbons during the hydrogenation of gasoline containing benzene.....256
- G.J. Baisalova, B.K. Yertay, A.A. Taltenov, P. Kuzhatova, G. Saspugayeva**
A quantitative determination of the phenol compounds sum in the thallus of *Parmelia sulcata*.....274
- B.E. Myrzabekov, A.B. Makhanbetov, T.E. Gaipov, B.S. Abzhalov, N.N. Nurgaliyev**
Electrochemical reduction of manganese (II) ions on titanium and lead electrodes.....286
- A.S. Darmenbayeva, G.M. Zhussipnazarova, R. Reshmy, Zh.B. Mukazhanova, V.A. Rube**
Biocoatings based on flax stem cellulose and their properties.....298

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

У.А. Уалиханова, Е.Е. Құрбан, А.М. Сыздыкова, А.Б. Алтайбаева, Г.С. Алтаева Старобинскийдің космологиялық моделін динамикалық жүйелер арқылы талдау.....	11
М.Б. Жасыбаева, Ж. Мырзақұлова, М. Абеуова Қос қабатты М-LXXII теңдеуі үшін дарбу түрлендіруі.....	24
Г.К. Бекетова, Н.Н. Жантурина, З.К. Аймағанбетова Cs ₂ AgBiBr ₆ қос галоидты перовскиттер: күн батареяларына арналған тиімділігі жоғары жаңа озық материалдары.....	38
Л.И. Шестакова, Р.Р. Спасюк 5000–6000 Å диапазонында k- және f-короналар арасындағы өтпелі аймақты спектрлік зерттеу.....	52
А. Хажидинова, А. Хажидинов Жылу электр станциясының отын тұтыну мәселесі.....	66
Т.Б. Қоштыбаев, К.Қ. Жантлеуов, М.Е. Алиева Кванттық сұйықтар теориясындағы Грин функциялары.....	77
А.В. Серебрянский, Ч.Б. Акниязов, Ч.Т. Омаров, С. Ситтыкова, Д. Кадырова Айдың беткі қабатына метеоридтардың соқтығысуын статистикалық тұрғыдазерттеу.....	91
Г.Т. Омарова, Ж.Т. Омарова Лагранж – Якоби тундеуі және оны N -денелі есепке қолдану.....	105
Ж. Мұратхан, М. Хасанов Нейтрон жұлдыздары бар массивті рентгендік екілік жүйелердегі жұлдыздық жел параметрлерін бағалау әдістері.....	113
В. Мукамеденқызы, А. Избасар, А. Ақиқат Үшкомпонентті газ жүйелеріндегі концентрациялық конвекцияның әсерінен құрылымдық ағындардың пайда болуын зерттеу.....	127
К. Саурова, С. Нысанбаева, Г. Турлыбекова Ғарыш аппараттарының ориентациясын нақты анықтау үшін жұлдыз сенсорының оптикалық жүйесін модельдеу.....	140

ХИМИЯ

Б.С. Серикбаева, М.С. Сагаев, Н.К. Сарыпбекова

Электрөткізгіш қабатты қолданып, полипропиленге гальваникалық қаптама алу процесін зерттеу.....157

А.П. Ауешов, Ч.З. Ескибаева, А.К. Диканбаева

Серпентинит қалдығынан магний сульфатын алудың техникалық-экономикалық зерттеуі.....172

А.К. Қозыбаев, Ж.Д. Әлімқұлова, С.О. Әбілқасова

Сумен жуылған са-монтмориллонит сазында ауыр металдардың сорбциясының кинетикасы мен термодинамикасы.....184

А. Абдрахманова, В. Кривченко, А. Сабитова, Б. КудеринаLi–V₂O₅ жүйесіндегі тұрақты анодтарға қол жеткізуге арналған DOL-мен модификацияланған электролиттер.....196**Б.К. Масалимова, А.С. Шаяхметова, А.С. Дарменбаева**

Солтүстік Қазақстанның су ресурстары: экологиялық мониторинг және ұтымды басқару.....208

А. Рахимов, Н. Жаникулов, Б. Таймасов, Е. Потапова, А.К. Свидерский

Цемент өнеркәсібі үшін шикізат ретінде қорғасын қожын өндеу қалдықтарын зерттеу.....227

Л.М. Калимолдина, Қ.Ж. Жалғасбаев, А.С. Даулетбаев

Өнеркәсіптік сарқынды суларды тазартудың әдістерін салыстырмалы түрде зерттеу.....241

Ә. Нұрлан, С.Р. Конуспаев, Т.С. Абильдин, К. Тоштай

Құрамында бензол бар бензинді гидрлеу кезінде көмірсутектердің өзгеруі.....256

Г.Ж. Байсалова, Б.К. Ертай, А.А.Талтенов, П. Кужатова, Г.Е. Саспугаева*PARMELIA SULCATA* талломындағы фенолды қосылыстардың жиынтық мөлшерін сандық анықтау.....274**Б.Э. Мырзабеков, А.Б. Маханбетов, Т.Э. Гаипов, Б.С. Абжалов, Н.Н. Нұрғалиев**

Марганец (II) ионының титан және қорғасын электродында электрохимиялық тотықсыздануы.....286

А.С. Дарменбаева, Г.М. Жусипназарова, Р. Решми, Ж.Б. Мукажанова, В.А. Рубе

Зығыр сабағынан алынған целлюлоза негізіндегі биожабындар және олардың қасиеттері.....298



СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

У.А. Уалиханова, Е.Е. Курбан, А.М. Сыздыкова, А.Б. Алтайбаева, Г.С. Алтаева Анализ космологической модели старобинского с помощью динамических систем.....	11
М.Б. Жасыбаева, Ж. Мырзакулова, М. Абеуова Преобразование Дарбу для двухслойного уравнения M-LXXII.....	24
Г.К. Бекетова, Н.Н. Жантурина, З.К. Аймаганбетова Cs ₂ AgBiBr ₆ : двойные галоидные перовскиты как передовые материалы для высокоэффективных солнечных элементов	38
Л.И. Шестакова, Р.Р. Спасюк Спектральные исследования области перехода между К и F короной в диапазоне 5000–6000Å.....	52
А. Хажидинова, А. Хажидинов К вопросу о расходе топлива на тепловой электростанции.....	66
Т.Б. Коштыбаев, К.К. Жантлеуов, М.Е. Алиева Функции Грина в теории квантовых жидкостей	77
А.В. Серебрянский, Ч.Б. Акниязов, Ч.Т. Омаров, С. Ситтыкова, Д. Кадырова Исследование статистики ударов метеороидов о поверхность луны	91
Г.Т. Омарова, Ж.Т. Омарова Уравнение Лагранжа – Якоби и его применение к задаче N -тел.....	105
Ж. Муратхан, М. Хасанов Методы оценки параметров звездного ветра в массивных двойных рентгеновских системах с нейтронными звездами.....	113
В. Мукамеденкызы, А. Избасар, А. Акикат Исследование возникновения структурированных течений, обусловленных концентрационной конвекцией в трёхкомпонентных газовых системах.....	127
К. Саурова, С. Нысанбаева, Г. Турлыбекова Моделирование оптической системы звёздного датчика для точного определения ориентации космических аппаратов.....	140

ХИМИЯ

Б.С. Серикбаева, М.С. Сагаев, Н.К. Сарыпбекова

Исследование процесса гальванопокрытия на полипропилене с использованием электропроводного слоя.....157

А.П. Ауешов, Ч.З. Ескибаева, А.К. Диканбаева

Технико-экономическое исследование получения сульфата магния из серпентинитового отхода.....172

А.К. Козыбаев, Ж.Д. Алимкулова, С.О. Абилкасова

Кинетика и термодинамика сорбции тяжелых металлов на промытой водой кальциево-монтмориллонитовой глине.....184

А. Абдрахманова, В. Кривченко, А. Сабитова, Б. КудеринаDOL – модифицированные электролиты как путь к стабильным анодам в системах $Li-V_2O_5$196**Б.К. Масалимова, А.С. Шаяхметова, А.С. Дарменбаева**

Водные ресурсы Северного Казахстана: экологический мониторинг и устойчивое управление.....208

А. Рахимов, Н. Жаникулов, Б. Таймасов, Е. Потапова, А.К. Свицерский

Исследование отходов переработки свинцового шлака в качестве сырья для цементной промышленности.....227

Л.М. Калимолдина, К.Ж. Жалгасбаев, А.С. Дәулетбаев

Сравнительное исследование методов очистки промышленных сточных вод.....241

А. Нурлан, С.Р. Конуспаев, Т.С. Абильдин, К. Тоштай

Превращения углеводов при гидрировании бензина, содержащего бензол.....256

Г.Ж. Байсалова, Б.К. Ертай, А.А.Талтенов, П. Кужатова, Г.Е. СаспугаеваКоличественное определение суммы фенольных соединений в талломе *PARMELIA SULCATA*.....274**Б.Э. Мырзабеков, А.Б. Маханбетов, Т.Э. Гайпов, Б.С. Абжалов, Н.Н. Нургалиев**

Электрохимическое восстановление ионов марганца (II) на титановом и свинцовом электродах.....286

А.С. Дарменбаева, Г.М. Жусипназарова, Р. Решми, Ж.Б. Мукажанова, В.А. Рубе

Биопокрытия на основе целлюлозы из стебля льна и их свойства.....298



ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES
ISSN 2224-5227
Volume 4.
Number 356 (2025), 77–90

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1483.385>

UDC 538.94
MPHTI 29.17.21

©T.B. Koshtybayev¹, K.K. Zhantleuov², M.E. Aliyeva², 2025.

¹Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan;

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: moldir-2008@mail.ru

GREENS FUNCTION IN THE THEORY OF QUANTUM FLUIDS

Koshtybayev Talgat — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics of the Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: koshtybayev70@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7344-6801>;

Zhantleuov Kenzhebek — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics and Mathematical Modelling of the Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: Kzhantleuov@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6658-1165>;

Aliyeva Moldir — Master of Sciences, Senior lecturer of the Physics Department of the Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: moldir-2008@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0440-6211>.

Abstract. This article is devoted to the theoretical investigation of processes in macroscopic systems based on the corpuscular–wave dualism and quantum statistical distributions using the Green's function method. In particular, it provides a detailed description of the characteristics and properties of the Green's function for an ideal Fermi liquid, single- and two-particle Green's functions, as well as Green's functions for extreme temperatures and the Dirac and Schrödinger equations. The work analyzes aspects of applying the Green's function method to processes in many-particle quantum systems and to solutions of equations describing the particles that constitute such systems. For a given operator and boundary conditions, the Green's function can be defined, and the solution to the corresponding equation describing the fluid can be written in integral form using this function. A distinctive feature of this method lies in the application of mathematical physics tools – such as Fourier methods, integral transforms, special functions, and mathematical analysis – to solve problems in quantum macrophysics that are governed by the principles of quantum and statistical mechanics. The relevance of this study stems from the application of the Green's function method to quantum phenomena. This approach is considered one of the most effective methods for solving partial differential equations that describe various processes. It requires transforming

the original differential equation into an equivalent integral equation involving Green's functions, which is then solved. The transformation involves moving to momentum representation and applying Fourier transforms via complex variables.

Keywords: Fermi liquid, Fourier transform, momentum representation, macroscopic system, Green's function, quantum system

©Т.Б. Қоштыбаев¹, К.Қ. Жантлеуов², М.Е. Алиева², 2025.

¹Қазақ ұлттық педагогикалық қыздар университеті, Алматы, Қазақстан;

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: moldir-2008@mail.ru

КВАНТТЫҚ СҰЙЫҚТАР ТЕОРИЯСЫНДАҒЫ ГРИН ФУНКЦИЯЛАРЫ

Қоштыбаев Талғат — Физика—математика ғылымдарының кандидаты, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университетінің доценті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: koshtybayev70@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7344-6801>;

Жантлеуов Кенжебек — Физика—математика ғылымдарының кандидаты, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің доценті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: Kzhanntleuov@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6658-1165>;

Алиева Мәлдір — Жаратылыстану ғылымдарының магистрі, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің аға оқытушысы, Алматы, Қазақстан,

E-mail: moldir-2008@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0440-6211>.

Аннотация. Мақала корпускула–толқындық екіжақтылық және кванттық статистикалық үлестірімдерге негізделген макрокопиялық жүйелердегі процестерді Грин функциялары тәсілімен теориялық тұрғыда зерттеуге арналған. Нақты айтқанда, идеал ферми–сұйықтың Грин функциялары, бір және екі бөлшектік Грин функциялары, шекті температураға және Дирак, Шредингер теңдеулеріне арналған Грин функцияларының ерекшеліктері мен қасиеттері талданып көрсетілген. Көпбөлшекті кванттық жүйелерде өтетін процестер мен сондағы бөлшектерге арналған теңдеулерді шешуде Грин функциялары әдісін қолданудың тиімді тұстары сараланған. Нақтылы бір оператор мен шекаралық шарттар үшін Грин функциясын анықтап, осы функцияның көмегімен сұйықты сипаттайтын теңдеудің шешімін интеграл түрінде жазуға болады. Бұл әдістің өзіндік бір ерекшелігі кванттық механика мен статистикалық механика заңдылықтарына жүгінетін кванттық макрофизиканың осы тектес есептерін шығару барысында математикалық физикадағы Фурье әдісі, интегралдық түрлендірулер әдісі мен арнайы функциялар, математикалық талдаудың әдістері қолданылады. Тақырыптың өзектілігі кванттық құбылыстарға Грин функцияларын қолдану тәсілімен байланысты екендігін айтып өттік. Себебі, бұл тәсіл түрлі процестерге сәйкес келетін дербес туындылы дифференциалдық теңдеулерді шешудің ең бір қолайлы тәсілдерінің біріне саналады, яғни құбылысты сипаттайтын дифференциалдық теңдеуден соған эквивалентті түрдегі интегралдық теңдеуге өтіп, Грин функциясы қатысатын осы теңдеуді шешу қажет болады. Дифференциалдық теңдеуден интегралдық теңдеуге өту барысында импульстік

көрініске ауысу, комплекстік айнаымалылыр арқылы Фурье түрлендірулері жасалынады. Нөлдік және бірінші жуықтау шарттары бойынша интегралдық өрнектерге қол жеткізіліп, құбылыстың ерекшеліктеріне қарай интеграл шектері бойынша интегралдауды орындау арқылы нақты шешімдер алынатын болады. Қарастырылған макроскопиялық жүйелер толқындық функциялары тұрақты, ал физикалық шамаларға сәйкес қойылатын операторлары уақытқа тәуелді болатын гейзенберттік ұстанымға сәйкестендірілді. Есептеулер сыртқы өрістің әсері ескерілген және ескерілмеген жағдайлар үшін жүргізілді, сонымен бірге нөлінші және бірінші жуықтау шарттарына сәйкес келетін нәтижелер келтірілді.

Түйін сөздер: ферми–сұйық, Фурье–түрлендіру, импульстік көрініс, макроскопиялық жүйе, Грин функциясы, кванттық жүйе

©Т.Б. Коштыбаев¹, К.К. Жантлеуов², М.Е. Алиева², 2025.

¹Казахский национальный женский педагогический университет,
Алматы, Казахстан;

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая,
Алматы, Казахстан.

E-mail: moldir-2008@mail.ru

ФУНКЦИИ ГРИНА В ТЕОРИИ КВАНТОВЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Коштыбаев Талгат — кандидат физико-математических наук, доцент, Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан,

E-mail: koshtybayev70@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7344-6801>;

Жантлеуов Кенжебек — кандидат физико-математических наук, доцент, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы,

E-mail: Kzhantleuov@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6658-1165>;

Алиева Молдир — магистр естественных наук, старший преподаватель, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан,

E-mail: moldir-2008@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0440-6211>.

Аннотация. Статья посвящена теоретическому изучению процессов в макроскопических системах на основе корпускулярно-волнового дуализма и квантовых статистических распределений с использованием метода функций Грина. Подробно описаны особенности и свойства функции Грина идеальной ферми-жидкости, одно- и двухчастичных функций Грина, а также функций Грина для предельных температур и для уравнений Дирака и Шредингера. Проанализированы аспекты применения метода функций Грина к процессам, протекающим в многочастичных квантовых системах, и к решению уравнений, предназначенных для частиц, образующих такие системы. Для заданного оператора и граничных условий можно определить функцию Грина и через неё представить решение уравнения, описывающего жидкость, в виде интеграла. Отличительная особенность метода заключается в том, что при решении задач квантовой макрофизики, основанных на законах квантовой механики и статистической физики, используются методы математической физики:

преобразования Фурье, интегральные преобразования и специальные функции. Актуальность исследования связана с применением метода функций Грина к квантовым явлениям. Такой подход является одним из наиболее эффективных способов решения уравнений в частных производных, описывающих различные физические процессы. Переход от дифференциального уравнения к эквивалентному интегральному, учитывающему функцию Грина, включает переход к импульсному представлению и применение преобразований Фурье с использованием комплексных переменных. В нулевом и первом приближениях получаются интегральные выражения, а конкретные решения зависят от выполнения интегрирования по соответствующим пределам, определяемым физической природой явления. Рассматриваемые макроскопические системы соответствуют гейзенберговскому представлению, в котором волновые функции постоянны, а операторы, соответствующие физическим величинам, зависят от времени.

Ключевые слова: ферми-жидкость, преобразование Фурье, импульсное представление, макроскопическая система, функция Грина, квантовая система

Кіріспе. 1938 жылы П. Капица мен Д. Аллен ашқан кванттық сұйықтар–кванттық эффекттерге (мысалы, энергияның квантталуына, бөлшектердің корпускула–толқындық екіжақтылығына және кванттық статистикалық үлестірімдерге) негізделген макроскопиялық жүйе. Кванттық механикада жекелеген бөлшектердің жай–күйін, олардың өзара әсерлесулерін сипаттауға мүмкүндік бар, ал кванттық сұйықтағы саны көп бөлшектерді жеке–дара алып қарастыру мүмкін емес. Олардың ұжымдастығына негізделген процестер кезінде ғана кванттық қасиеттер байқалады. Төменгі температуралардағы фермиондардан құрылған асқынаққыш гелий–4 пен ферми–сұйық гидродинамиканың негізгі зерттеу нысаны болып табылады және бұлардың табиғаты кванттық сұйық талаптарын толығымен қанағаттандырады. Бұл орталарда негізінен кванттық макроскопиялық құбылыстар өтеді (Матухин и др. 2018:55). Металдар мен жартылай өткізгіштердегі электрондар, диэлектриктердегі экситондар және атом ядросындағы нуклондар кванттық сұйық қатарына қосыла алады.

1830 жылы британдық математик Джордж Грин электростатика мен жылу өткізгіштікке қатысты біртекті шекті есептерді шешу барысында өзінің атымен аталатын функцияларды енгізіп, олардың теориялық құрылымының негізін жасап шыққан болатын. Математикалық физикадағы негізгі математикалық ұғым немесе құралы болып табылатын осы функциялар ХХ ғасыр бойы жетіле (дами) отырып электродинамикадағы, өрістің кванттық теориясындағы, шашыраулар теориясындағы шекаралық шарттары бар сызықтық біртекті дифференциалдық теңдеулерді шешуді анағұрлым жеңілдетіп берді. Нақтылай айтсақ, өрістердің кванттық теориясында Грин функциялары кеңістік–уақыттың бір нүктесінен басқа бір нүктесіне өту ықтималдылығын сипаттаса, шашыраулар теориясында бұлар бөлшектердің әртүрлі нысандардан шашырауын сипаттап беруге қауқарлы болды. Сонымен бірге, ауытқулар теориясында да Грин функциялары әртүрлі

кванттық процестерге арналған Фейнмандық диаграммаларды тұрғызуға септігін тигізді.

Кванттық сұйыққа арналған Грин функциясы көп денелі жүйелердің қасиеттерін сипаттауға арналған математикалық құрыл (аппарат, инструмент) есебінде қолданылатыны айтылды. Ол сыртқы әсерлердің жүйеге жасайтын ықпалын, жүйенің осы ықпалға қатысты іс-әрекетін және жүйенің термодинамикалық және динамикалық қасиеттерін бағалауға мүмкіндік береді, яғни ол жүйенің тепе-теңділік пен тепе-теңсіздік күйлердегі жағдайларынан хабардар етуге қауқарлы. Сонымен бірге, Грин функцияларын тығыздықты, корреляциялық функцияларды, квазибөлшектер спектрін және т.б. маңызды шамаларды есептеуге жемісті түрде қолданылып келеді. Ферми-сұйықтың температурасына қатысты есептер жылулық эффекттерді ескеретін температуралық Грин функциялары арқылы шешіледі (Малышев, 2022:435). Ал, жеке дара бөлшектің басқа бөлшектер арасындағы қозғалысына қатысты мәселер бір бөлшектік Грин функциялары бойынша шешілсе, екі бөлшектік Грин функциялары екі бөлшек арасындағы корреляцияны анықтап бере алады.

Ұсынылып отырған мақалада жоғарыда келтірілген теориялық мәселелердің бірқатарына есептеулер жүргізіліп, олар жүйеленіп, ықшамды түрлерде көрсетілетін болады. Атап айтқанда, макроскопиялық жүйелер мен идеал ферми-сұйықтың Грин функциялары, екі бөлшектік және шекті температуралық Грин функциялары, Дирак, Шредингер теңдеулеріне арналған Грин функциялары қарастырылатын болады. Алынған нәтижелер салыстырмалы бағаланатын болады.

Зерттеу материалдары. Төменгі температуралардағы сұйық гелийді кванттық сұйық ретінде қарастыра отырып оны Грин функциялары арқылы зерттеу кезіндегі материал ретінде әсерлесуші кванттық жүйелердің термодинамикасы мен динамикасын сипаттаудағы теориялық принциптер мен олардың қолданылу жағдайларын алуға болады. Мұндай көзқарас арқылы бір бөлшекті және көп бөлшекті корреляциялық функцияларды есептеуге, термодинамикалық шамалардың спектрлерін, микроскоптық әсерлесулердің макроқасиеттермен байланыстырын анықтауға мүмкіндік береді. Негізгі материалдарға қасиеттері кванттық эффекттерге негізделген кванттық сұйықтар жатады. Сонымен бірге, зерттеу материалдары кезінде мына мәселелердің қамтылуы қажетті: көп бөлшекті кванттық жүйелер, кванттық сұйықтар ұғымы, нейтралды ферми-сұйық және оның тепе-теңділік қасиеттері және ферми-сұйықтың квазибөлшектеріне арналған кинетикалық теңдеулер.

Зерттеу әдістері. Грин функцияларына негізделген әдіс бойынша кванттық сұйықты зерттеу кезінде сұйық бөлшектерінің өзара әсерлесулерін ескеруге мүмкіндік туындайды (b Kalmenov et. al., 2008:180; Балагуров и др, 2019:475). Бұл әдіс нақтылы бір оператор мен шекаралық шарттарға сәйкес келетін Грин функциясын анықтап, осы функцияның көмегімен сұйықты сипаттайтын теңдеудің шешімін интеграл түрінде жазуға жағдай жасайды. Кванттық механика мен статистикалық механика заңдылықтарына жүгінетін кванттық

макрофизиканың осы тектес есептерін шығару барысында математикалық физикадағы Фурье әдісі, интегралдық түрлендірулер әдісі мен арнайы функциялар, математикалық талдаудың әдістері қолданылады. Осылармен бірге, мына тізімдегі математикалық физиканың математикалық аппараттары қолданылады: дербес туындылы дифференциалдық тендеулер, математикалық интегралдық тендеулер, функцияналдық талдау және ықтималдылықтар теориясы. Физикалық жүйенің стационар күйлерін табуға жағдай жасайтын вариациялық есептеулер де зерттеу барысында маңызды рөл атқарады.

Нәтижелер. Кванттық макрофизика теориялық физиканың дербес бір бөлімі ретінде қалыптасып, қатты және сұйық фазалардағы құбылыстарды бөлшектердің ансамблі негізінде кванттық механика, статистикалық механика және электродинамика заңдылықтары бойынша зерттей алады. Олардың табиғатын белгілі бір математикалық модельдер арқылы зерттей алады. Мысалы, металдардың қасиеттерін тереңірек зерттеу үшін ондағы электрондарды ферми–сұйық деп алу қажеттілігі туындайды. Электрондық сұйықтың теориясын жасауға кристалдық тор көп қиындық келтіретін болғандықтан, алдымен біртекті және изотроптық жағдайларға арналған заңдылықтарды бекітіп алу керек болды. Дәл осылайша металдардың асқын өткізгіштігін электрондық сұйықтың асқын аққыштығына арналған қарапайым изотроптық модель арқылы түсіндіруге болады.

Сұйықтағы атомдардың жылулық қозғалыстарына жауапты де бройльдік толқын ұзындық атомдар аралық өлшемдермен бірдей болатын төменгі температураларда (1–2 К) сұйықтағы макроскопиялық құбылыстар кванттық заңдылықтарға бағынатын болады. Классикалық көзқарастар бойынша абсолют ноль температурада барлық заттар қатты күйге айналып кетулері тиіс болатын. Алайда, гелийдің сұйық He^3 және He^4 изотоптары атомдарының өзара әлсіз әсерлесулері салдарынан абсолют ноль температура маңайында кванттық құбылыстар байқалатын сұйық күйде қала береді. Осы жағдайдан соң олар үшін қатты күй аса маңызды емес.

Жарты спинді бөлшектерден тұратын макроскопиялық жүйені толқындық функциялары тұрақты, ал физикалық шамаларға сәйкес қойылатын f операторлары уақытқа тәуелді болатын гейзенберттік ұстанымда қарастырар болсақ, онда (a Kalmenov et. al., 2008:426; Mamchuev 2023:38)

$$f_a(t, \vec{r}) = f_a(\vec{r}) \exp(iHt) \exp(-iHt)$$

$$f_a^*(t, \vec{r}) = f_a^*(\vec{r}) \exp(iHt) \exp(-iHt)$$

Жүйенің бір бөлшектік Грин функциясы үшін төмендегі өрнекті жазуға болады:

$$G_{ab}(Z_1, Z_2) = -i \overline{N f_a(Z_1) f_b^*(Z_2)}$$

Мұнда (1)–гі t, \vec{r} айнымалылары t_1, \vec{r}_1 және t_2, \vec{r}_2 болып өзгеріп, олар сәйкесінше Z_1, Z_2 арқылы белгіленді; N – хронологиялық көбейту символы; төбелік жалпы сызық жүйенің негізгі күйі бойынша орташалау дегенді білдіріп тұр. Грин функциясының сыртқы өріс болмаған кездегі спиндік тәуелділігі екінші ранктегі δ_{ab} спинор арқылы мына түрде анықталады:

$$G_{ab}(Z_1, Z_2) = \delta_{ab} G(Z_1, Z_2)$$

Жүйедегі бөлшектер тығыздығының координаталық матрицасы

$$\rho_{ab}(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = n^{-1} \overline{f_b^*(t, \vec{r}_2) f_a(t, \vec{r}_1)} \quad (1)$$

Бұл өрнек арқылы жеке бөлшекке қатысты кез–келген физикалық шаманың орташа мәнін анықтауға болады. (4)–ті Грин функциясы арқылы да жазайық:

$$\rho_{ab}(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = in^{-1} G_{ab}(t_1, \vec{r}_1; t_1 \rightarrow 0, \vec{r}_2)$$

Осы функцияның Фурье–жіктелуі бөлшектердің импульстер бойынша үлестірімін анықтауға мүмкіндік береді (Andreev et. al., 2019:1046; Кукушкин и др, 2015:774):

$$\begin{aligned} n(\vec{p}) &= n \int \rho(\vec{r}_1, \vec{r}_2) \exp\{-i\vec{p}(\vec{r}_1 - \vec{r}_2)\} d^3(x_2 - x_1) = \\ &= -i \int G(t, \vec{r}) \exp\{-i\vec{p}\vec{r}\} d^3x \end{aligned} \quad (2)$$

Бұл өрнек импульс мәндері $\frac{d^3 p}{(2\pi)^3}$ аралығында болатын шынайы (квази емес)

бөлшектердің концентрациясы екенін байқау қиын емес. (2)–ні квазибөлшектердің үлестірім функциясымен шатастырып алмау қажет. Егер де біз (2)–гі импульстік бейнедегі Грин функциясының

$$G(t, \vec{r}) = \int G(\omega, \vec{p}) \exp\{i(\vec{p}\vec{r} - \omega t)\} \frac{d\omega d^3 p}{(2\pi)^4}$$

түрде жазылған үлгісін қолданар болсақ, (2)–өрнектің жазылуы төмендегіше болады:

$$n(\vec{p}) = -i \lim_{t \rightarrow 0} \int_{-\infty}^{\infty} G(\omega, \vec{p}) \exp\{-i\omega t\} \frac{d\omega}{2\pi}$$

мұндағы ω –комплексті айнымалы; ал

$$G(\omega, \vec{p}) = \int G(t, \vec{r}) \exp\{-i(\vec{p}\vec{r} - \omega t)\} dt d^3x \quad (3)$$

$G(t, \vec{r})$ функциясының үзілістілік қасиетін ескере отырып (3)–өрнектегі dt бойынша орындалатын интегралдауды шектері $-\infty$ тен 0 -ге дейін және 0 -ден ∞ дейін болатын екі итегралға бөліп, матрицаларды көбейту ережесін қолданатын болсақ, нәтижеде a сортты бөлшектің m күйлеріне арналған мына теңдікті аламыз (Коган, 2004:102; Дикарева, 2015:65):

$$G(t, \vec{r}) = -\frac{i}{2} \sum_m \overline{|f_a(Z_1)| m \cdot m | f_a^*(Z_2)|}$$

Бұл жерде қосындылау амалы жүйедегі барлық кванттық күйлер бойынша жүргізіледі.

Еркін бөлшектер жүйесіне арналған гейзенбергтік f оператор төмендегі теңдеуді қанағаттандырады:

$$i \frac{\partial f_a}{\partial t} = -\frac{1}{2m} \Delta f_a - \mu f_a$$

Жоғарыда келтірілген тұжырымдар мен қатынастарды ескеретін болсақ, онда бұл теңдеудің Грин функциясы арқылы жазылған түріне қол жеткізе аламыз:

$$\left(i \frac{\partial}{\partial t} = -\frac{\Delta}{2m} + \mu \right) G(t, \vec{r}) = \delta(t) \delta(\vec{r})$$

Мұндағы μ –сұйықтың химиялық потенциялы. Осы теңдеуді Фурье бойынша түрлендірсек, онда

$$\left(\omega - \frac{\vec{p}^2}{2m} + \mu \right) G_0(\omega, \vec{p}) = 1$$

Бұл өрнектегі G_0 –бөлшектер арасында әсерлесулер болмаған жағдайға сәйкес келетін Грин функциясы (Деминов и др, 2018:70; Ирхин, 2011:459):

$$G_0(\omega, \vec{p}) = [\omega - \frac{\vec{p}^2}{2m_0} + \mu + i\text{sign}\omega]^{-1}$$

Негізгі N күй бойынша төрт гейзенбергтік f операторлардың төмендегі көбейтіндісін *екі бөлшектік Грин функциясы* деп атайды:

$$Q_{34,12} = \overline{Nf_3 f_4 f_1^* f_2^*} \quad (4)$$

Бұл функцияны біртекті жүйе үшін импульстік бейнеде (көріністе) қарастырған ыңғайлы, яғни ол үш ғана аргументтер айырмасына тәуелді болады:

$$Z_3 - Z_2, Z_4 - Z_2, Z_1 - Z_2$$

Себебі, барлық Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 айнымалылар бойынша жүргізілетін Фурье жіктеулерінің компонентіне (кұрушысына) δ -функция кіретін болады:

$$\int Q_{34,12} \exp\{i(p_3 Z_3 + p_4 Z_4 - p_1 Z_1 - p_2 Z_2)\} d^4 Z_1 d^4 Z_2 d^4 Z_3 d^4 Z_4 = \\ = (2\pi)^4 \delta^{(4)}(p_3 + p_4 - p_1 - p_2) Q_{\delta,ab}(p_3, p_4, p_1, p_2)$$

Грин функциясының аргументтері үшін $p_1 + p_2 = p_3 + p_4$ тендігі орындалады. Нольдік жуықтаудағы бұл функция бір бөлшекті Грин функцияларының айырымы арқылы төмендегідей түрде жазылады:

$$Q_{\delta,ab}^0(p_3, p_4, p_1, p_2) = (2\pi)^4 [\delta^{(4)}(p_1 - p_3) G_a^0(p_1) G_b^0(p_2) - \delta^{(4)}(p_1 - p_4) G_b^0(p_2) G_a^0(p_1)]$$

Келесі жуықтауларда Грин функциясына енбей қалған қосымша мүшелер пайда болады:

$$Q_{A_3 A_4, A_1 A_2}^0 = (2\pi)^4 [\delta^{(4)}(p_1 - p_3) G_{A_3 A_4}^0(p_1) G_{A_1 A_2}^0(p_2) - \delta^{(4)}(p_1 - p_4) G_{A_3 A_2}^0(p_2) G_{A_4 A_1}^0(p_1)] + \\ + G_{A_3 B_3}(p_3) G_{A_4 B_4}(p_4) iR_{B_3 B_4, B_1 B_2}(p_3, p_4, p_1, p_2) G_{B_1 A_1}(p_1) G_{B_2 A_2}(p_2)$$

Бұл жерде жүйедегі бөлшектердің ab компоненттері AB белгілеулеріне ауыстырылды. Соңғы жазылған өрнектегі R -шыңдық функция деп аталады және оның импульстік бейнедегі жазылу түрі төмендегідей:

$$R_{\delta a,ab}(p_3, p_4, p_1, p_2) = -R_{\delta b,ab}(p_4, p_3, p_1, p_2) = -R_{\delta b,ba}(p_3, p_4, p_2, p_1)$$

Макроскопиялық жүйенің нөлдік емес температурадағы Грин функциясын табу үшін тұйық жүйенің негізгі күйі бойынша орташалаудан Гибс үлестірімі бойынша орташалауға ($\langle \rangle$) ауысу керек. Шекті температуралардағы Грин функциясының аналитикалық қасиеттерін қарастыруда *кідірісті және ілгерілегіш Грин функцияларын* қолданған маңызды. Кідірісті Грин функциясының жазылу түрі төмендегідей:

$$iG_{ab}^{\alpha}(Z_1, Z_2) = \langle f_a(Z_1) f_b^*(Z_2) + f_b^*(Z_2) f_a(Z_1) \rangle$$

Сыртқы өріс жоқ кезде бұл функция тек $Z = Z_1 - Z_2$ айырмасына ғана тәуелді болатын төмендегі скаляр функцияға айналады:

$$G_{ab}^{\alpha}(Z_1, Z_2) = \delta_{ab} \frac{1}{2} G_{aa}^{\alpha}$$

$t < 0$ шартында $G^{\alpha}(t, \vec{r}) = 0$ болғандықтан жоғарыда келтірілген функцияның импульстік бейнесі

$$G^{\alpha}(\omega, \vec{p}) = \int \int_0^{\infty} \exp i(\omega t - \vec{p}\vec{r}) G^{\alpha}(t, \vec{r}) dt d^3z$$

Ілгерілегіш G^{β} Грин функциясын дәл осындай жолдармен шығарып алуға болады. Температураны сипаттағыш Грин функциясы

$$G(\omega, \vec{p}) = -\frac{(2\pi)^3}{2} \sum_{n,m} \omega_n A_{mn} \delta(\vec{p} - \vec{k}_{nm}) \left\{ \frac{1}{\omega_{nm} - \omega} \left(1 + e^{-\frac{\omega_{nm}}{T}} \right) \right\}$$

Стандартты модельдегі процестерді есептеу үшін математикалық физика тәсілдері мен арнайы функциялар теориясын қолдану қажеттілігі туындайды. Өйткені, скаляр, векторлық және спиндік бөлшектерге арналған теңдеулер әртүрлі ретті дифференциалдық теңдеулер болып табылады. Осы айтылған жағдайға мысал ретінде электромагниттік өрістегі электронға арналған төменде келтірілетін Дирак теңдеуін Грин функциясы тәсілімен шешуді қарастырамыз:

$$(i\sigma^{\alpha} \partial_{\alpha} - m)\varphi(x) = -e\sigma^{\alpha} E_{\alpha}(x)\varphi(x) \quad (5)$$

мұндағы $\sigma^{\alpha} = \{\sigma^0, \sigma^1, \sigma^2, \sigma^3\}$ – Дирак матрицалары; e – электронның заряды. (5) – теңдеуді шешу үшін төмендегі қосымша есепті шешіп алу керек болады:

$$(i\sigma^\alpha \partial_\alpha - m)G(x, x^0) = \delta^{(4)}(x - x^0)$$

Сонда, (5)–тің шешімі (Defenu et al., 2024:52; Nussinov, 2020):

$$\varphi(x) = -e \int G(x, x^0) \sigma^\alpha E_\alpha(x^0) \varphi(x^0) dx^0$$

Осындағы Грин функциясының импульстік бейнесі:

$$G(x, x^0) = \frac{1}{(2\pi)^4} \int S(p) \exp\{-ip(x - x^0)\} d^4 p \quad (6)$$

Мұндағы $S(p)$ – Фурье бейнедегі Грин функциясы. Дирактың дельта-функциясының

$$\delta^{(4)}(x - x^0) = \frac{1}{(2\pi)^4} \int \exp\{-ip(x - x^0)\} d^4 p$$

өрнегін, $\sigma^\alpha p_\alpha = \not{p}$ белгілеуімен Дирак матрицаларының $\sigma^\alpha \sigma^\beta + \sigma^\beta \sigma^\alpha = 2\theta^{\alpha\beta}$ орын ауыстырымдылық қасиетін қолдансақ, онда Фурье бейнедегі Грин функциясы мен Дирак теңдеуіне сәйкес келетін Грин функциясының өрнектері мынадай болады:

$$S(p) = \frac{\not{p} + m}{p^2 - m^2}$$

$$G(x, x^0) = \frac{1}{(2\pi)^4} \int \frac{\not{p} + m}{p^2 - m^2 + i\varepsilon} \exp\{-ip(x - x^0)\} d^4 p$$

Талқылау. Кванттық жүйелердегі сыртқы өрістегі бөлшек Шредингер теңдеуімен сипатталатыны белгілі:

$$(\hat{H} - E)\psi(\vec{r}) = -\hat{F}\psi(\vec{r}) \quad (7)$$

мұндағы \hat{F} – әсерлесуге жауапты оператор, \hat{H} – гамильтониан,

$$\psi(\vec{r}) = \exp(i\vec{k}\vec{r}) \quad (8)$$

(7)–тендеуді Грин функциясы тәсілімен шешу үшін осы дифференциалдық теңдеуден эквивалентті интегралдық теңдеуге ауысу қажет ((8)–түрдегі толқындық функцияға Грин функциясы енетін интегралдық мүше қосылатын болады) (Beekman et al., 2017:82):

$$\psi(\vec{r}) = \exp(i\vec{k}\vec{r}) + \int G(E, \vec{r}, \vec{r}') F(\vec{r}') \psi(\vec{r}') d\vec{r}'$$

Мұндағы $G(E, \vec{r}, \vec{r}')$ – гамильтон операторына сәйкес келетін және Дирактың дельта–функциясы $(\delta(\vec{r} - \vec{r}'))$ бар төмендегі $(E - \hat{H})G(E, \vec{r}, \vec{r}') = \delta(\vec{r} - \vec{r}')$ теңдеуін қанағаттандыратын Грин функциясы. Оның спектрлік көрінісі

$$G(E, \vec{r}, \vec{r}') = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\psi_n(\vec{r}) \psi_n^*(\vec{r}')}{E_0 - E_n}$$

Үзіліссіз спектр жағдайында

$$G(E, \vec{r}, \vec{r}') = \int \frac{\psi_n(\vec{r}) \psi_n^*(\vec{r}')}{E_0 - E_n} \frac{d\vec{k}}{(2\pi)^3}$$

Көріп отырғанымыздай, эквивалентті интегралдық теңдеулерге кіретін Гриндік функциялардың импульстік, спектральдық бейнелерде және Фурье түрлендірулері бойынша жазылуы қойылған есептердегі процестердің кеңістіктік фазадағы анықталу аймақтарын дәл бағалап отыруға мүмкіндік берсе, екінші жағынан комплексті айнымалы функциялар теориясымен ұштаса отырып процестің өту тездігін бағалауды оңтайландырады. Алынған нәтижелерді шашырау теориясына құрылған есептерді шешуде және спиндік бөлшектердің кванттық-өрістік амплитудаларын есептеп шығаруда қолдануға болады.

Қорытынды. Мақаланың тақырыбында қамтылған идеяларға сәйкес макроскопиялық жүйелер мен идеал ферми–сұйықтың Грин функциялары, екі бөлшектік және шекті температуралық Грин функциялары, Дирак теңдеуінің Грин функциясы қарастырылды. Тақырыптың өзектілігі кванттық құбылыстарға Грин функцияларын қолдану тәсілімен байланысты екендігін айтып өту қажет. Себебі, бұл тәсіл түрлі процестерге сәйкес келетін дербес туындылы дифференциалдық теңдеулерді шешудің ең бір қолайлы тәсілдерінің біріне саналады, яғни құбылысқа берілген тікелей теңдеуді шешу барысында операторлық көріністегі Грин функциясы қатысатын қосымша қарапайым дербес туындылы теңдеу шешіледі. Әрі қарай импульстік көрініске ауыса отырып комплекстік айнымалылар арқылы Фурье түрлендірулері жасалады. Нөлдік және бірінші жуықтау шарттары бойынша интегралдық өрнектерге қол жеткізіліп, құбылыстың ерекшеліктеріне қарай интеграл шектері бойынша нақты шешімдер алынатын болады. Мұндай модельде математикалық физиканың басқа да тәсілдері мен

арнайы функцияларының алатын орны ерекше екендігі ауқымды есептеулерді жүргізген кезде айқын байқалады. Мақала мазмұнында келтірілген нәтижелердің математикалық есептеулері ықшамды түрде ғана ұсынылып отырды. Басты бағыт-макроскопиялық жүйелердегі кванттық эффекттерге сәйкес келетін теңдеулерді шешуде Грин функцияларын қолданудың ерекшеліктерін көрсету болды.

Әдебиеттер

a) Kalmenov T.Sh., Koshanov B.D. Representation for the Green's function of the Dirichlet problem for the polyharmonic equations in a ball. *Siberian Mathematical Journal*. — 2008. — Т. 49, № 3. — С. 423—428. — DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11202-008-0042-8>

Andreev A. F., Zakharov V. E., Kolokolov I. V., Lebedev V.V., Mineev V.P., Novikov S.P., Pitaevskii L.P., Pokrovskii V.L., Starobinskii A.A., Feigel'man M.V., Fomin I.A., Eliashberg G.M. Isaak Markovich Khalatnikov (on his 100th birthday). *Успехи физических наук (Phys. Usp.)*. — 2019. — Т. 62. — С. 1046—1047. — DOI: 10.3367/UFNe.2019.08.038651

b) Kalmenov T.Sh., Koshanov B.D., Nemchenko M.Y. Green function representation for the Dirichlet problem of the polyharmonic equation in a sphere. *Complex Variables and Elliptic Equations*. — 2008. — Т. 53, № 2. — С. 177—183. — DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/17476930701671726>

Beekman A.J., Nissinen J., Wu K., Liu K., Slager R.-J., Nussinov Z., Cvetković V., Zaanen J. Dual gauge field theory of quantum liquid crystals in two dimensions. *Physics Reports*. — 2017. — Т. 683. — С. 1—110. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2017.03.004>

Defenu N., Leroze A., Pappalardi S. Out-of-equilibrium dynamics of quantum many-body systems with long-range interactions. *Physics Reports*. — 2024. — Т. 1074. — С. 1—92. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2024.04.005>

Mamchuev M.O. Green's function of the problem with local displacement for the fractional telegraph equation. *Adyge international scientific journal*. — 2023. — Т. 23, № 4. — С. 34—42. — DOI: <http://dx.doi.org/10.47928/1726-9946-2023-23-4-34-42>

Nussinov Z. Macroscopic length correlations in non-equilibrium systems and their possible realizations. *Nuclear Physics B*. — 2020. — Т. 953. — 114 948. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysb.2020.114948>

Балагуров Б.Я. Функция Грина уравнения Шредингера в методе квантования потенциала. *ЖЭТФ*. — 2019. — Т. 155, № 3. — С. 472—480. — DOI: 10.1134/S004445101903009X

Деминов Р.Г., Кочелаев Б.И., Тагиров Л.Р. Методы квантовой теории поля в физике конденсированного состояния: конспект лекций. — Казань: Казан. ун-т, 2018. — 92 с.

Дикарева Е. В. Метод функций Грина в математических моделях для двухточечных краевых задач. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. — 2015. — № 3. — С. 62—67. — DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2015-3-62-67>

Ирхин В.Ю. Метод двухвременных функций Грина в теории магнетизма металлов с сильными корреляциями. *Теоретическая и математическая физика*. — 2011. — Т. 168, № 3. — С. 453—466. — DOI: <https://doi.org/10.4213/tmf6693>

Коган Вадим Романович. Метод квазиклассической функции Грина в мезоскопической физике: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.02. — Москва, 2004. — 159 с.

Кукушкин И. В., Шмульц С. Ферми-жидкостные эффекты и перенормировка массы квазичастиц в системе двумерных электронов с сильным взаимодействием. *Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики*. — 2015. — Т. 101, № 10. — С. 770—776. — DOI: <https://doi.org/10.7868/S0370274X15100082>

Малышев К.Ю. Представление функций Грина волнового уравнения на отрезке в конечном виде. *Известия Саратовского университета*. — 2022. — Т. 22, № 4. — С. 430—446. — DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9791-2022-22>

Матухин В.Л., Шмидт Е.В. Основы статистической физики. — Казань: Казан. гос. ун-т, 2018. — 84 с.

References

Andreev A.F., Zakharov V.E., Kolokolov I.V., Lebedev V.V., Mineev V.P., Novikov S.P., Pitaevskii L.P., Pokrovskii V.L., Starobinskii A.A., Feigel'man M.V., Fomin I.A., Eliashberg G.M. (2019) Isaak Markovich Khalatnikov (on his 100th birthday). *Physics — Uspekhi*, 62. — P. 1046—1047. <https://doi.org/10.3367/UFNe.2019.08.038651>

Balagurov B. Ya. (2019) Funktsiya Grina uravneniya Shredingera v metode kvantovaniya potentsiala [Green's function of the Schrödinger equation in the method of potential quantization]. *Journal of Experimental and Theoretical Physics (JETP)*, 155(3). — P. 472—480. <https://doi.org/10.1134/S004445101903009X> (in Russian)

Beekman A.J., Nissinen J., Wu K., Liu K., Slager R.-J., Nussinov Z., Cvetković V., Zaanen J. (2017) Dual gauge field theory of quantum liquid crystals in two dimensions. *Physics Reports*, 683. — P. 1—110. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2017.03.004>

Defenu N., Lerose A., Pappalardi S. (2024) Out-of-equilibrium dynamics of quantum many-body systems with long-range interactions. *Physics Reports*, 1074. — P. 1—92. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2024.04.005>

Deminov R.G., Kochelaev B.I., Tagirov L.R. (2018) *Metody kvantovoy teorii polya v fizike kondensirovannogo sostoyaniya: konspekt lektsiy* [Methods of quantum field theory in condensed matter physics: lecture notes]. Kazan: Kazan University. 92 p. (in Russian)

Dikareva E.V. (2015) Metod funktsii Grina v matematicheskikh modelyakh dlya dvukhtocheknykh kraevykh zadach [Method of Green's functions in mathematical models for two-point boundary value problems]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* (Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies), (3). — P. 62—67. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2015-3-62-67> (in Russian)

Irkhin V.Yu. (2011) Metod dvukhvremennykh funktsiy Grina v teorii magnetizma metallov s sil'nymi korrelyatsiyami [The method of two-time Green's functions in the theory of magnetism of strongly correlated metals]. *Theoretical and Mathematical Physics*, 168(3). — P. 453—466. <https://doi.org/10.4213/tmf6693> (in Russian)

Kalmenov T. Sh., Koshanov B. D., Nemchenko M.Y. (2008) Green function representation for the Dirichlet problem of the polyharmonic equation in a sphere. *Complex Variables and Elliptic Equations*, 53(2). — P. 177—183. <https://doi.org/10.1080/17476930701671726>

Kalmenov T.Sh., Koshanov B.D. (2008) Representation for the Green's function of the Dirichlet problem for the polyharmonic equations in a ball. *Siberian Mathematical Journal*, 49(3). — P. 423—428. <https://doi.org/10.1007/s11202-008-0042-8>

Kogan V.R. (2004) *Metod kvaziklassicheskoy funktsii Grina v mezoskopicheskoy fizike* [The method of quasiclassical Green's function in mesoscopic physics]. Cand. Phys.-Math. Sci. Diss., 01.04.02. Moscow. — P. 159. (in Russian)

Kukushkin I.V., Schmult S. (2015) Fermi-liquid effects and quasiparticle mass renormalization in a strongly interacting two-dimensional electron system. *JETP Letters*, 101(10). — P. 770—776. <https://doi.org/10.7868/S0370274X15100082> (in Russian)

Malyshev K.Yu. (2022) Predstavlenie funktsii Grina volnovogo uravneniya na otrezke v konechnom vide [Representation of Green's functions of the wave equation on a segment in closed form]. *Izvestiya of Saratov University*, 22(4). — P. 430—446. <https://doi.org/10.18500/1816-9791-2022-22> (in Russian)

Mamchuev M.O. (2023) Green's function of the problem with local displacement for the fractional telegraph equation. *Adyge International Scientific Journal*, 23(4). — P. 34—42. <https://doi.org/10.47928/1726-9946-2023-23-4-34-42>

Matukhin V. L., Schmidt E.V. (2018) *Osnovy statisticheskoi fiziki* [Fundamentals of Statistical Physics]. Kazan: Kazan. gos. un-t. — P. 84. (in Russian)

Nussinov Z. (2020) Macroscopic length correlations in non-equilibrium systems and their possible realizations. *Nuclear Physics B*, 953, 114948. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysb.2020.114948>

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

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

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

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

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

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

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the Central Asian Academic Research Center LLP.

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

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

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

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

Подписано в печать 29.12.2025.

Формат 60x88¹/₈.
18,0 п.л. Заказ 4.