

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

2025 • 1



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ
АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

БАЯНДАМАЛАРЫ

ДОКЛАДЫ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН»

REPORTS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

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 Максат Нұрәділұлы, 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 Тілекқабыл 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 Росси 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), наноқұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>

БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фарабиатындағы 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 Арлан Зайнуталлайұлы, химия ғылымдарының кандидаты, Д.В. Сокольский атындағы "Отын, катализ және электрохимия институты" АҚ Бас директорының бірінші орынбасары, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>

«Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының баяндамалары»

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

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» Республикалық қоғамдық бірлестігі (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 **31.01.2025 ж.** берген № **KZ31VPY0011215** 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>

ОЛИВЬЕРО 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 Қуантай 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>

БУРКИТБАЕВ 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 Жабгаевич, 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>

Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан»

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

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).

Свидетельство №KZ31VPY0011215 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 **31.01.2025**

Тематическая направленность: *физика, химия*.

Периодичность: 4 раза в год.

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

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 Zainutalievich, 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>

Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

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

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of Information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan No. KZ31VPY00111215 issued 31. 01. 2025

Thematic scope: *physics and chemistry*.

Periodicity: 4 times a year.

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

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2025

***D.M. Zazulin^{1,2}, S.E. Kemelzhanova^{1,3}, N.A. Beissen¹, A.Sh. Tursumbekov¹,
M.O. Alimkulova¹, 2025.**

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

²Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan;

³Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan.

*E-mail: denis_zazulin@mail.ru

GEOMETROTHERMODYNAMICS OF A HOLOGRAPHIC SYSTEM WITH ZERO SOUND

Zazulin Denis Mikhailovich – Candidate of physical and mathematical sciences, lecturer at the al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; senior researcher at the Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan, E-mail: denis_zazulin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2115-6226>;

Kemelzhanova Sandugash Esteuovna – Master, senior lecturer at the Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan; senior lecturer at the al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, kemelzhanova.sandugash@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5469-3960>;

Beissen Nurzada Abdibekovna – Candidate of physical and mathematical sciences, professor, dean of the faculty of physics and technology, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: nurzada.beissen@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1957-2768>;

Tursumbekov Alisher Shakarimovich – Master, PhD doctoral student, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: alishertursumbekov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-3142-6348>;

Alimkulova Madina Orynbekovna – Master, PhD doctoral student, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: m.alimkulova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4977-7980>.

Abstract. This paper presents the results of studying the geometric properties of the equilibrium manifold of a strongly interacting thermodynamic system of a new type, which was discovered in the course of research in the field of holographic dualities. The method of holographic dualities describes various quantum field theories and quantum many-particle systems with strong coupling between particles. In this description, there is a relationship between the four-dimensional quantum theory in the strong coupling regime in Minkowski space and the theory of ten-dimensional gravity in anti-De Sitter space. At low energies, the system we studied has a zero-sound mode in its spectrum, despite the behavior of its heat capacity that is uncharacteristic for a Fermi liquid. The work was carried out within the framework of geometrothermodynamics, which allows obtaining results that are invariant with respect to Legendre transformations, i.e. independent of the choice of thermodynamic potentials. As a thermodynamic potential, we used a chemical potential dependent on temperature and density. For

the system under consideration, the corresponding metric and scalar curvature were calculated in a wide range of thermodynamic parameters, the stability region of this system was determined, and its thermodynamic and metric properties were described. Three-dimensional graphs were obtained for the chemical potential, for the derivative of the chemical potential with respect to density, and for the scalar curvature. The region of thermodynamic stability of the system was determined from the graph for the derivative of the chemical potential with respect to density. The graph for the scalar curvature clearly shows at what values of thermodynamic variables it tends to infinity or is close to zero, which indicates possible phase transitions and possible compensation of interactions by quantum effects, respectively.

Keywords: geometrothermodynamics, Legendre transformations, metric tensor, scalar curvature, holographic dualities, zero sound.

***Д.М. Зазулин^{1,2}, С.Е. Кемелжанова^{1,3}, Н.Ә. Бейсен¹, А.Ш. Турсумбеков¹,
М.О. Алимкулова¹, 2025.**

¹Әл-Фараби Атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан;

²Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан;

³Абай Атындағы Қазақ Ұлттық Педагогикалық Университеті,
Алматы, Қазақстан.

*E-mail: denis_zazulin@mail.ru

НӨЛДІК ДЫБЫСЫ БАР ГОЛОГРАФИЯЛЫҚ ЖҮЙЕНІҢ ГЕОМЕТРОТЕРМОДИНАМИКАСЫ

Зазулин Денис Михайлович – Физика-математика ғылымдарының кандидаты, әл-Фараби Қазақ ұлттық университетінің оқытушысы, Алматы, Қазақстан; Ядролық Физика Институтының аға ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан, E-mail: denis_zazulin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2115-6226>;

Кемелжанова Сандугаш Естеуовна – магистр, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің аға оқытушысы, Алматы, Қазақстан; әл-Фараби Қазақ ұлттық университетінің аға оқытушысы, Алматы, Қазақстан, kemelzhanova.sandugash@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5469-3960>;

Бейсен Нұрзада Әбдібекқызы – Физика-математика ғылымдарының кандидаты, профессор, әл-Фараби Қазақ ұлттық университетінің физика-техника факультетінің деканы, Алматы, Қазақстан, E-mail: nurzada.beissen@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1957-2768>;

Турсумбеков Алишер Шакаримович – Магистр, PhD докторанты, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, E-mail: alishertursumbekov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-3142-6348>;

Алимкулова Мадина Орынбековна – магистр, PhD докторанты, әл-Фараби Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: m.alimkulova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4977-7980>.

Аннотация. Ұсынылған жұмыста голографиялық дуализм саласындағы зерттеулер барысында ашылған жаңа типті күшті әсерлесетін термодинамикалық жүйенің тепе-теңдік алуан түрлілігінің геометриялық қасиеттерін зерттеу нәтижелері берілген. Голографиялық дуалиттер әдісі әр түрлі кванттық өріс

теорияларын және бөлшектер арасындағы күшті байланысы бар кванттық көп бөлшекті жүйелерді сипаттайды. Бұл сипаттамада Минковски кеңістігіндегі күшті байланыс режиміндегі төрт өлшемді кванттық теория мен анти-Де Ситтер кеңістігіндегі он өлшемді ауырлық теориясы арасында байланыс бар. Төмен энергияларда біз зерттеген жүйенің жылу сыйымдылығы Ферми сұйықтығына тән емес екеніне қарамастан, оның спектрінде нөлдік дыбыс режимі бар. Жұмыс геометротермодинамика шеңберінде жүргізілді, бұл Леджендре түрлендірулері бойынша инвариантты нәтижелерді алуға мүмкіндік береді, яғни термодинамикалық потенциалдарды таңдауға тәуелсіз. Термодинамикалық потенциал ретінде біз температура мен тығыздыққа тәуелді химиялық потенциалды қолдандық. Қарастырылып отырған жүйе үшін термодинамикалық параметрлердің кең диапазонында сәйкес метрикалық және скалярлық қисықтық есептеледі, бұл жүйенің тұрақтылық аймағы анықталады, оның термодинамикалық және метрикалық қасиеттері сипатталады. Химиялық потенциал үшін, тығыздыққа қатысты химиялық потенциалдың туындысы үшін және скалярлық қисықтық үшін үш өлшемді графиктер алынды. Тығыздыққа қатысты химиялық потенциалдың туындысына арналған графиктен жүйенің термодинамикалық тұрақтылық аймағы анықталды. Скалярлық қисықтық графигі термодинамикалық айналымылардың қандай мәндерінде оның шексіздікке ұмтылатынын немесе нөлге жақын екенін анық көрсетеді, бұл сәйкесінше мүмкін болатын фазалық ауысуларды және өзара әрекеттесулердің кванттық әсерлер арқылы мүмкін өтелуін көрсетеді.

Түйін сөздер: геометротермодинамика, Лежендр түрлендірулері, метрикалық тензор, скалярлық қисықтық, голографиялық дуализм, нөлдік дыбыс.

*Д.М. Зазулин^{1,2}, С.Е. Кемелжанова^{1,3}, Н.А. Бейсен¹, А.Ш. Турсумбеков¹,
М.О. Алимкулова¹, 2025.

¹Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

²Институт Ядерной Физики, Алматы, Казахстан;

³Казахский Национальный Педагогический Университет им. Абая,
Алматы, Казахстан.

*E-mail: denis_zazulin@mail.ru

ГЕОМЕТРОТЕРМОДИНАМИКА ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С НУЛЕВЫМ ЗВУКОМ

Зазулин Денис Михайлович – кандидат физико-математических наук, преподаватель Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; старший научный сотрудник Института Ядерной Физики, Алматы, Казахстан, E-mail: denis_zazulin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2115-6226>;

Кемелжанова Сандугаш Естеуовна – магистр, старший преподаватель Казахского национального педагогического университета им. Абая, Алматы, Казахстан; старший преподаватель Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, kemelzhanova.sandugash@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5469-3960>;

Бейсен Нурзада Абдибековна – кандидат физико-математических наук, профессор, декан Физико-технического факультета Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы,

Казахстан, E-mail: nurzada.beissen@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1957-2768>;

Турсумбеков Алишер Шакаримович – магистр, студент PhD Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, E-mail: alishertursumbekov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-3142-6348>;

Алимкулова Мадина Орынбековна – магистр, студент PhD Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, E-mail: m.alimkulova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4977-7980>.

Аннотация. В данной работе представлены результаты исследования геометрических свойств равновесного многообразия сильновоздействующей термодинамической системы нового типа, обнаруженной в рамках исследований голографических дуальностей. Метод голографических дуальностей позволяет описывать различные квантовые теории поля и квантовые многочастичные системы с сильным взаимодействием между частицами. В этом подходе существует взаимосвязь между четырёхмерной квантовой теорией в режиме сильного взаимодействия в пространстве Минковского и теорией десятимерной гравитации в пространстве анти-де Ситтера.

Исследуемая система при низких энергиях демонстрирует наличие моды нулевого звука, несмотря на её нетипичное для ферми-жидкости поведение теплоёмкости. Работа выполнена в рамках геометротермодинамики, что позволяет получать результаты, инвариантные относительно преобразований Лежандра, то есть независимые от выбора термодинамических потенциалов. В качестве термодинамического потенциала использован химический потенциал, зависящий от температуры и плотности.

Для рассматриваемой системы рассчитаны соответствующие метрика и скалярная кривизна в широкой области термодинамических параметров, определена область её стабильности, а также описаны термодинамические и метрические свойства. Получены трёхмерные графики химического потенциала, его производной по плотности и скалярной кривизны. Анализ графика производной химического потенциала по плотности позволил определить область термодинамической стабильности системы. График скалярной кривизны демонстрирует, при каких значениях термодинамических переменных она стремится к бесконечности или остаётся близкой к нулю, что указывает на возможные фазовые переходы и компенсацию взаимодействий квантовыми эффектами соответственно.

Ключевые слова: геометротермодинамика, преобразования Лежандра, метрический тензор, скалярная кривизна, голографические дуальности, нулевой звук.

Благодарности

Данная работа поддержана Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № AP23490322 «Исследование термодинамических свойств релятивистских компактных объектов в рамках геометротермодинамики (ГТД)»).

Введение. Одним из применений метода голографических дуальностей (Maldacena, 1998) является описание квантовой теории поля и квантовых термодинамических систем в режиме сильной связи (Mateos, 2007). В первых работах было найдено соответствие между теорией 10 мерной супергравитации в пространстве, представляющем собой прямое произведение 5 мерного пространства Анти Де Ситтера и 5 мерной сферы $AdS_5 \times S_5$ и 4 мерной суперсимметричной конформной квантовой теорией поля в режиме сильной связи в пространстве Минковского (граница AdS_5). Все частицы этой 4 мерной теории находятся в присоединенном представлении компактной калибровочной группы. В работе (Karch, 2002) предложен метод включения в голографическую систему материи в фундаментальном представлении, необходимость которого связана с тем, что фермионная составляющая в квантовой хромодинамике (для описания которой в режиме сильной связи и был, в основном, разработан голографический метод) как раз находится в фундаментальном представлении калибровочной группы $SU(3)$. В работах (Sakai, 2005; Aharony, 2007) голографический метод был обобщен для описания различных фазовых переходов в дуальных квантовых термодинамических сильно взаимодействующих системах и для любой пространственной размерности. В настоящее время голографические модели приводят к предсказаниям, многие из которых хорошо согласуются с экспериментальными данными. Более того с помощью голографического метода предсказываются новые типы квантовых систем. Например, в работе (Karch, 2009) обнаружена система, у которой при низких температурах имеется нулевая звуковая мода как у Ферми жидкости, но у этой системы совершенно иная температурная зависимость теплоемкости. В работе (Karch, 2007), при исследовании голографической теории с ненулевой барионной плотностью при нулевой температуре обнаружен фазовый переход второго рода, когда химический потенциал становится равным массе барионов. В связи с вышеприведенным, задача всестороннего изучения (различными термодинамическими методами) термодинамических свойств новых квантовых систем, предсказанных методом голографических дуальностей, становится актуальной.

В настоящей работе было проведено исследование термодинамических свойств голографической системы с нулевым звуком, описанной в работе (Karch, 2009). В качестве метода исследования использовалась геометротермодинамика, а в качестве вычислительной системы Wolfram Mathematica 12.

Связь между термодинамикой и геометрией рассматривалась ранее в работах (Weinhold, 1976; Ruppeiner, 1979; Amari, 1990). Было показано, что сопоставление термодинамических величин с компонентами метрического тензора может быть проведено на основе различных принципов. В геометродинамике, предложенной Э. Кеvedо в работах (Quevedo, 2007) таким принципом является требование инвариантности скалярной кривизны равновесного метрического многообразия относительно соответствующих термодинамических преобразований Лежандра. В этом случае имеется прямая аналогия со специальной теорией относительности и преобразованиями Лоренца. В геометротермодинамике взаимодействия между

частицами в термодинамических системах описывается с помощью кривизны равновесного многообразия. Например, как это было показано в (Quevedo, 2007), идеальный газ, частицы которого не взаимодействуют друг с другом, соответствует многообразию с нулевой кривизной. В случае взаимодействующих систем с нетривиальной структурой фазовых переходов, геометротермодинамика воспроизводит поведение системы вблизи областей, где происходят фазовые переходы. Как было показано на примере газа Ван-дер-Ваальса (Quevedo 2007) в области фазового перехода скалярная кривизна становится бесконечной. В последующих работах различных авторов геометротермодинамика была опробована на многих других ранее изученных термодинамических системах. Так в работах (Quevedo, 2008 1; Quevedo, 2008 2) с помощью геометротермодинамики была исследована термодинамика различных черных дыр. В работе (Zazulin, 2020 1) рассматривалась геометротермодинамика двумерного Бозе газа и системы Березинского - Костерлица – Таулесса, а в работе (Zazulin, 2020 2) методы геометротермодинамики были применены для описания термодинамических свойств голографической системы с конечной барионной плотностью, описанной в работе (Karch, 2007). Во всех перечисленных работах области термодинамических и геометротермодинамических фазовых переходов совпали. Особенность поведения скалярной кривизны удобно использовать для поисков неизвестных фазовых переходов в малоизученных термодинамических системах.

Модель и вычислительные методы. Для изучения голографической системы с нулевым звуком в рамках геометротермодинамики мы вычисляли метрические тензоры соответствующих равновесных многообразий, детерминанты метрических тензоров и скалярные кривизны. В качестве формулы для вычисления метрик и соответствующих метрических тензоров мы использовали (Quevedo, 2007):

$$dl^2 = E_a \frac{\partial \Phi}{\partial E^a} \delta_{ab} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial E^b \partial E^c} dE^a E^c \quad (1)$$

где l^2 - квадрат термодинамической длины, $\Phi \equiv \Phi(E^a)$ – термодинамический потенциал, который явно зависит от других термодинамических потенциалов - E^a ($a = 1, \dots, n$), n – количество термодинамических потенциалов (в нашем случае $n = 2$) и $\delta_{ab} = \text{diag}(1, 1, \dots, 1)$. Соотношение (1) инвариантно относительно преобразований Лежандра.

Выражение для тензора кривизны имеет обычный вид:

$$R_{abcd} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 g_{ad}}{\partial E^b \partial E^c} + \frac{\partial^2 g_{bc}}{\partial E^a \partial E^d} - \frac{\partial^2 g_{ac}}{\partial E^b \partial E^d} - \frac{\partial^2 g_{bd}}{\partial E^a \partial E^c} \right) + g_{np} (\Gamma_{bc}^n \Gamma_{ad}^p - \Gamma_{bd}^n \Gamma_{ac}^p), \quad (2)$$

Где g^{nm} (g_{nm}) – контравариантный (ковариантный) метрический тензор, $\Gamma_{bc}^n = \frac{1}{2} g^{nm} \left(\frac{\partial g_{mb}}{\partial E^c} + \frac{\partial g_{mc}}{\partial E^b} - \frac{\partial g_{bc}}{\partial E^m} \right)$ – символы Кристоффеля. Далее, скалярная кривизна вычисляется по формуле: $R = g^{ac} g^{bd} R_{abcd}$.

Поскольку в дальнейшем мы будем иметь дело с системой, зависящей только

от двух термодинамических потенциалов, то выражение для скалярной кривизны упрощается до:

$$\hat{R} = \frac{2R_{1212}}{\det(g)}, \quad (3)$$

где $\det(g)$ – детерминант двумерного метрического тензора.

Результаты и обсуждение. Рассмотрим сначала голографическую систему с нулевым звуком в пределе низких температур (точнее случай $Td^{\frac{-1}{p}} \ll 1$, где T – температура, d – барионная плотность, p – размерность пространства). Величины T и d в нашей работе приведены в относительных единицах. При $p = 3$, согласно (Karch, 2009) зависимость энтропии этой системы от температуры и плотности в относительных единицах имеет вид: $S(T, d) = \frac{T^{\hat{c}}}{2d}$. Используя формулы (1) и (3) получим метрический тензор:

$$g_{mn}(T, d) = \begin{bmatrix} \frac{180T^{10}}{d^2} & \frac{-15T^{11}}{d^3} \\ \frac{-15T^{11}}{d^3} & \frac{-2T^{12}}{d^4} \end{bmatrix}.$$

Детерминант этого тензора:

$$\det(g) = \frac{-585T^{22}}{d^6},$$

И скалярную кривизну:

$$R = \frac{-985d^2}{1352T^{12}}. \quad (4)$$

Из формулы (4) следует, что особенность скалярной кривизны (а значит и возможная термодинамическая особенность, связанная с фазовым переходом) возникает только в пределе $\frac{d}{T^6} \rightarrow \infty$. С другой стороны, из (4) следует, что при повышении температуры и при уменьшении барионной плотности эффективное взаимодействие между частицами системы ослабевает.

Далее рассмотрим, согласно (Karch, 2009), точное выражение теперь уже для химического потенциала, определенное через гипергеометрическую функцию Гаусса и гамма-функции Эйлера:

$$\mu(T, d) = \frac{d^{1/6} \Gamma\left[\frac{1}{3}\right] \Gamma\left[\frac{2}{3}\right]}{\sqrt{\pi}} - \pi T {}_2F_1\left[\frac{1}{6}, \frac{1}{2}, \frac{7}{6}, -\frac{\pi^6 T^6}{d^2}\right] \quad (5)$$

Первое слагаемое справа представляет химический потенциал системы при нулевой температуре. На рисунке 1 показан график функции (5) для некоторого диапазона параметров T и d .

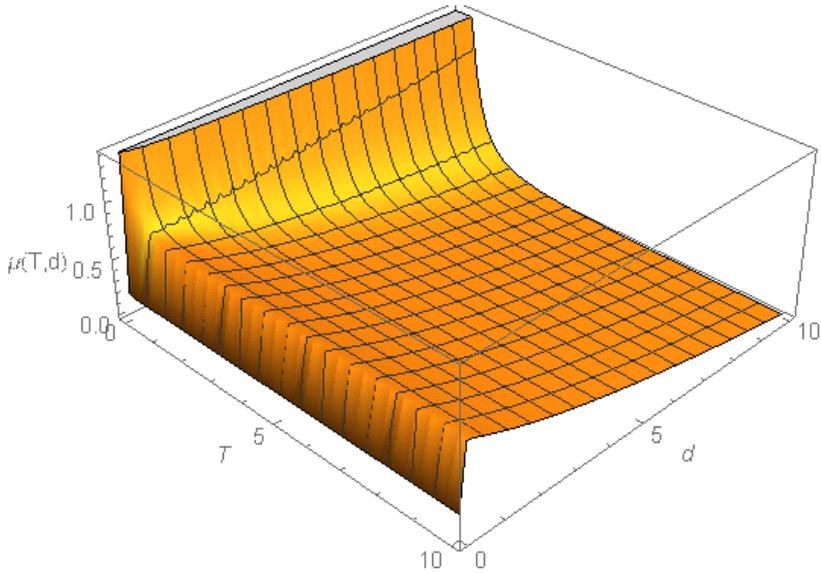


Рисунок 1. Химический потенциал $\mu(T,d)$, определенный формулой (5) в зависимости от температуры и плотности для голографической жидкости с нулевым звуком (Karch 2009).

На рисунке 2 представлен график $d\mu/dd(T,d)$ с помощью которого определена область термодинамической стабильности (при $d\mu/dd(T,d) > 0$) в некотором диапазоне значений T и d . На рисунке 3 эта область расположена слева от кривой.

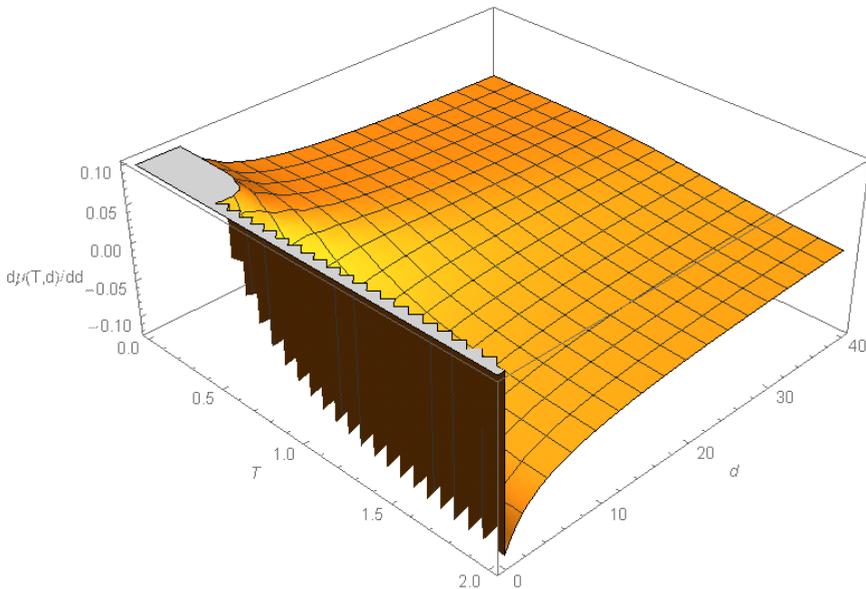


Рисунок 2. Величина $d\mu/dd(T,d)$ в зависимости от температуры и плотности для голографической системы с нулевым звуком (Karch, 2009).

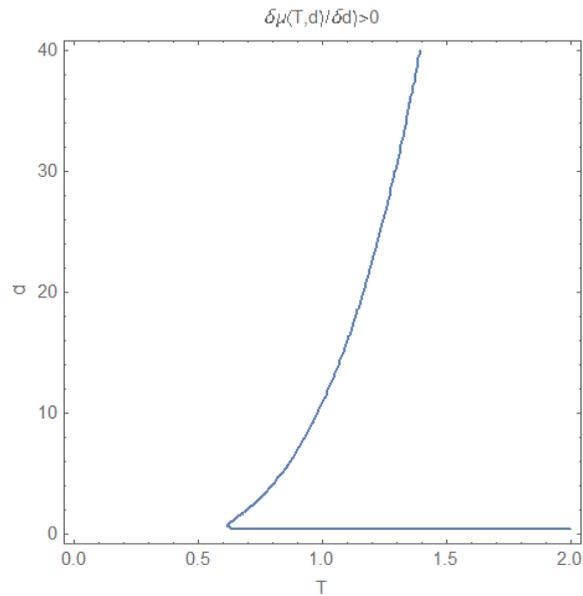


Рисунок 3. Область стабильности. Слева от кривой расположена область термодинамической стабильности системы с нулевым звуком (Karch 2009). Величина $d\mu/dd(T,d)$ в этой области больше 0.

Применяя к выражению (5) последовательно формулы (1), (2) и (3) получим результат для скалярной кривизны, трехмерный график которой приведен на рисунке 4.

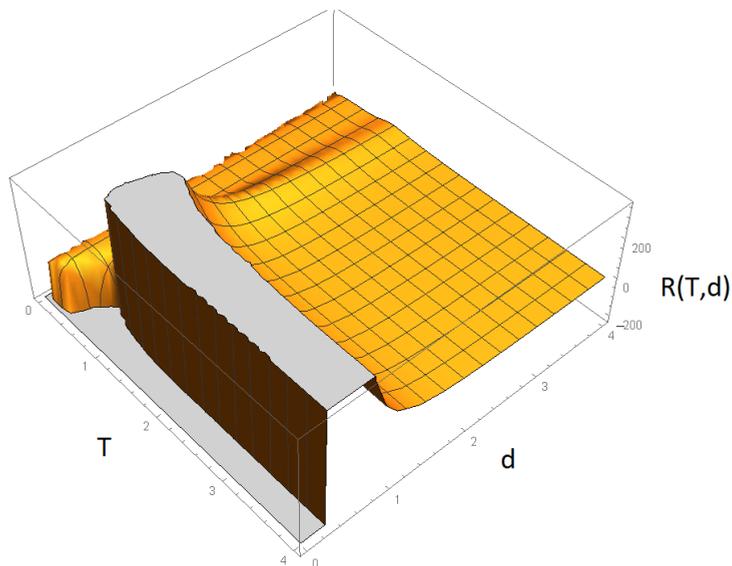


Рисунок 4. Скалярная кривизна $R(T,d)$ в зависимости от температуры и плотности для голографической жидкости с нулевым звуком (Karch, 2009).

Как видно из рисунка 4 при конечных температурах в диапазоне значений T от 0.2 до 4 и барионной плотности в районе $d = 1$ в значениях скалярной кривизны наблюдается разрыв. Таким образом, в этой области параметров T и d в рассматриваемой термодинамической системе возможен фазовый переход. С учетом того, что для термодинамического потенциала – энтропии S , полученной в пределе $Td^{\frac{-1}{p}} \ll 1$ никакого разрыва в величине скалярной кривизны не наблюдается то можно предположить что разрыв в величине скалярной кривизны (и следовательно возможный фазовый переход в исследуемой термодинамической системе) является непертурбативным эффектом. Так же из рисунков 3 и 4 видно, что разрыв в величине скалярной кривизны находится в области термодинамической нестабильности т.е. в области где $d\mu/dd(T,d) < 0$.

Заключение. В настоящей работе в рамках геометротермодинамики рассмотрено равновесное многообразие сильно взаимодействующей квантовой системы с нулевым звуком, предсказанной методом голографических дуальностей. Вычислены соответствующие метрические тензоры и скалярные кривизны.

В качестве термодинамического потенциала для случая $Td^{\frac{-1}{p}} \ll 1$ использовалась энтропия $S(T,d)$, а для общего случая химический потенциал (точное выражение), зависящий от температуры и плотности. В области конечных температур и плотностей для первого случая никаких указаний на фазовые переходы для голографической системы с нулевым звуком обнаружено не было. В то время как при исследовании с помощью точной формулы найдена область возможного фазового перехода.

В работе представлены графики для химического потенциала, для производной от химического потенциала по плотности и для скалярной кривизны. Определена область термодинамической стабильности системы. На графике для скалярной кривизны видны области термодинамических переменных, в которых она стремится к бесконечности или близка к нулю, что указывает на возможные фазовые переходы в системе и на возможную компенсацию взаимодействий квантовыми эффектами соответственно.

В дальнейшем, желательно изучить свойства голографической системы с нулевым звуком в других областях термодинамических параметров и используя стандартные методы теории фазовых переходов с нахождением критических индексов.

Декларация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, имеющих отношение к предмету данной рукописи.

References

Maldacena J.M. (1998) The large N limit of superconformal field theories and supergravity, Adv. Theor. Math. Phys. 2, 231-252. Doi: <https://doi.org/10.4310/ATMP.1998.v2.n2.a1> (in Eng.)

Witten E. (1998) Anti de Sitter space and holography, Adv. Theor. Math. Phys. 2, 253-291. Doi: <https://dx.doi.org/10.4310/ATMP.1998.v2.n2.a2> (in Eng.)

- Witten E. (1998) Anti-de Sitter space, thermal phase transition, and confinement in gauge theories, *Adv. Theor. Math. Phys.* 2, 505-532. Doi: 10.4310/ATMP.1998.v2.n3.a3 (in Eng.)
- Gubser S., Klebanov I. and Polyakov A. (1998) Gauge theory correlators from noncritical string theory, *Phys. Lett. B* 428, 105-114. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0370-2693\(98\)00377-3](https://doi.org/10.1016/S0370-2693(98)00377-3).(in Eng.)
- Mateos D., Myers R., Thomson R. (2007) Thermodynamics of the brane, *JHEP05(2007)067*, 1 - 61. Doi: <https://doi.org/10.1088/1126-6708/2007/05/067> (in Eng.)
- Erdmenger J., Evans N., Kirsch I., Threlfall E. (2008) Mesons in gauge/gravity duals - a review, *Eur. Phys. J. A* 35, 81 – 133. Doi: 10.1140/epja/i2007-10540-1.(in Eng.)
- Karch Andreas and Katz Emanuel. (2002) Adding flavor to AdS/CFT, *JHEP*, *JHEP06(2002)043*, 1 – 15. Doi: 10.1088/1126-6708/2002/06/043.(in Eng.)
- Sakai T. and Sugimoto S. (2005) Low energy hadron physics in holographic QCD, *Prog. Theor. Phys.* 113, 843–882. Doi: <https://doi.org/10.1143/PTP.113.843>.(in Eng.)
- Aharony O., Sonnenschein J. and Yankielowicz S. (2007) A holographic model of deconfinement and chiral symmetry restoration, *Annals Phys.* 322, 1420 – 1443. Doi: 10.1016/j.aop.2006.11.002.(in Eng.)
- Karch A., Son D.T., and Starinets A.O. (2009) Holographic quantum liquid, *Phys. Rev. Lett.* 102, 051602-1 - 051602-4, Doi: 10.1103/PhysRevLett.102.051602. (in Eng.)
- Karch A., O'Bannon A. (2007) Holographic thermodynamics at finite baryon density: some exact results, *JHEP* 0711:074(2007), 1 – 20. Doi: 10.1088/1126-6708/2007/11/074.(in Eng.)
- Weinhold F.(1976) Thermodynamics and geometry, *Physics Today* 29, 3, 23–30. Doi:10.1063/1.3023366. (in Eng.)
- Ruppeiner G. (1979) Thermodynamics: A Riemannian geometric model, *Phys. Rev. A* 20, 1608 – 1613. Doi: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.20.1608>.(in Eng.)
- Amari S. (1990) *Differential-geometrical methods in statistics*, (Springer – Verlag Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Hong Kong) 1 – 294. ISBN-13: 978-0-387-96056-2, Doi:10.1007/978-1-4612-5056-2.(in Eng.)
- Quevedo H. (2007) Geometrothermodynamics, *J. Math. Phys.* 48, 013506-1 - 013506-14, Doi: <https://doi.org/10.1063/1.2409524> (in Eng.)
- Quevedo H., Sanchez A., Taj S., Vazquez A. (2011) Phase transitions in Geometrothermodynamics, *Gen. Rel. Grav.* 43, 1153–1165. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10714-010-0996-2>. (in Eng.)
- Quevedo H. (2008) 1 Geometrothermodynamics of black holes, *Gen. Rel. Grav.* 40, 5, 971 – 984. Doi:10.1007/s10714-007-0586-0.(in Eng.)
- Quevedo H., Sanchez A. (2008) 2 Geometrothermodynamics of asymptotically de Sitter black holes, *JHEP* 09 034, 1 - 20. Doi: 10.1088/1126-6708/2008/09/034.(in Eng.)
- Zazulin D.M., Kemelzhanova S.E., Satyshev I., Ormantaev O. (2020) 1 Application of geometrothermodynamics to the two-dimensional systems: ideal Bose-gas and system with strong interaction, *News of the NAS of the RK Al-farabi KazNU ser. phys.-math.* 332, 4, 68 - 76. Doi: <https://doi.org/10.26577/RCPH.2020.v73.i2.03>. (in Eng.)
- Zazulin D.M., Kemelzhanova S.E., Ezau P.D., Satyshev I. (2020) 2 Application of geometrothermodynamics to the system with finite baryon density described by the method of holographic dualities, *Recent Contributions to Physics* 73, 2, 22 - 31. Doi: <https://doi.org/10.26577/RCPH.2020.v73.i2.03>. (in Eng.)

CONTENTS

PHYSICS

B.Zh. Abdikarimov, A.Zh. Seitmuratov, B.K. Kaliev, A.G. Ganiulla, T.M. Karabala VISCOSITY PROPERTIES OF THE ISOBUTYRIC ACID-WATER SOLUTION NEAR THE CRITICAL SEPARATION TEMPERATURE.....	5
D.T. Agishev, S.A. Khokhlov, A.T. Agishev, N.L. Vaidman, A.T. Agishev THE STUDY OF RADIATIVE AND CONVECTIVE TRANSPORT IN CLOSE BINARY SYSTEMS WITH LOW ACCRETION RATES.....	17
T.M. Aldabergenova, M.F. Vereshchak, A.S. Dikov, S.B. Kislitsin FINE STRUCTURE OF COATING BASED ON HIGH ENTROPY ALLOY NITRIDES (ALTiZrYNb)N, DETERMINED BY THE CAMS METHOD ON IMPLANTED IRON-57 CORES.....	29
E. Bondar, A. Shongalova, A. Fedosimova, S. Ibraimova, A. Kemelbekova ENHANCING HYDRONIUM ION MOBILITY IN GRAPHENE OXIDE-BASED PROTON EXCHANGE MEMBRANES.....	39
N.N. Zhanturina, G.K. Beketova, Z.K. Aimaganbetova, K.B. Bizhanova MODERN PEROVSKITE SOLAR CELLS: INNOVATIONS IN MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR ENHANCED EFFICIENCY.....	50
U.K. Zhapbasbayev, G.I. Ramazanova, M.A. Pakhomov TURBULENT FLOW OF VISCOPLASTIC FLUID IN A PIPE WITH SUDDEN EXPANSION.....	64
D.M. Zazulin, S.E. Kemelzhanova, N.A. Beissen, A.Sh. Tursumbekov, M.O. Alimkulova GEOMETROTHERMODYNAMICS OF A HOLOGRAPHIC SYSTEM WITH ZERO SOUND.....	78
Y. Myrzakulov, A. Altaibayeva, A. Bulanbayeva PHASE TRANSITIONS AND THERMODYNAMIC BEHAVIOR OF AdS BLACK HOLES COUPLED WITH NONLINEAR ELECTRODYNAMICS.....	89
Sh.A. Myrzakulova, A.A. Zhadyranova INVESTIGATION OF F(G) GRAVITY USING NOETHER SYMMETRY.....	101

D.A. Tolekov, D.M. Zharylgapova, A.M. Mukhambetzhan, A.A. Almagambetova, U.A. Abitaeva
ELECTRON-HOLE TRAPPING CENTERS IN ULTRA-VIOLET IRRADIATED
LI₂SO₄-Mn CRYSTALS.....115

S.U. Sharipov, I.F. Spivak-Lavrov
ELECTROSTATIC CHARACTERISTICS OF THE EDGE FIELD BETWEEN
THE DEFLECTOR PLATES AND THE GROUNDED SCREEN.....125

L.I. Shestakova, A.V. Serebryanskiy, Spassiyuk Ruslan, Ch.T. Omarov
SEARCH FOR COMETARY-METEORITIC DUST IN THE INNER REGION OF
THE SOLAR SYSTEM: THERMAL EMISSION IN THE DUST CORONA.....138

CHEMISTRY

R.S. Abzhalov, Sh.T. Koshkarbayeva, A.K. Dikanbayeva, M.S. Satayev, B.S. Serikbayeva
STUDY OF THE OBTAINING OF SILVER NANOPARTICLES ON THE
POLYMER SURFACE USING PHOTOCHEMICAL ACTIVATION.....147

K.T. Arynov, A.P. Auyeshov, Ch.Z. Yeskibayeva, A.K. Dikanbayeva, A.M. Ibrayeva
X-RAY PHASE AND THERMOANALYTICAL STUDY OF NEMALITE FROM
THE ZHITIKARINSKOE DEPOSIT (KAZAKHSTAN).....160

G.Zh. Baisalova, A.S. Zhumadil, B.B. Torsykbaeva, D.T. Sadyrbekov, K.T. Umerdzhanova
CHEMICAL COMPOSITION OF FRUITS OF ELEAAGNUS
ANGUSTIFOLIA.....173

N.N. Zhanikulov, D.K. Zhurgarayeva, G. Mukhtarhanova
INVESTIGATION OF THE SUITABILITY OF HEAP LEACHING WASTE FROM
THE PROCESSING OF GOLD-BEARING ORE AS A RAW MATERIAL
FOR PORTLAND CEMENT.....184

A.A. Zheldybaeva, A.CH. Katashova, K.A. Iskakov, D.E. Nurmukhanbetova, A. Azamatkyzy
NATURAL CRITERIA OF VEGETABLE JUICES AND THEIR QUALITY
DETERMINATION.....196

A.B. Issayeva, A.A. Sharipova, M.O. Issakhov, G.A. Kadyrbekova
ROLE OF MICROENCAPSULATED HUMIC ACID BASED ON BIOPOLYMERS
IN PLANT GROWTH STIMULATION.....205

- A.T. Massenova*, A.S. Zhumakanova, I.I. Torlopov, K.S. Rakhmetova, A.Z. Abilmagzhanov, 2025.**
HIERARCHICAL ZEOLITES BASED ON SYNTHETIC ZEOLITES ZSM-5, HY AND BEA FOR ALKYLATION OF AROMATIC HYDROCARBONS.....219
- A.K. Nurlybekova, A.A. Minkayeva, E. Shybyrai, H.A. Aisa, J. Jenis**
GC-MS STUDY OF ORGANIC AND MINERAL COMPONENTS IN ARTEMISIA SPECIES FROM KAZAKHSTAN.....233
- T.S. Khosnutdinova, A.O. Sapieva, N.G. Gemedzhieva, Zh.Zh. Karzhaubekova, N.A. Sultanova**
DEVELOPMENT OF A BIOLOGICALLY ACTIVE COMPLEX FROM THE ROOTS OF *FERULA FOETIDA* (BUNGE) REGEL EXHIBITING ANTIOXIDANT ACTIVITY.....252

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

- Б.Ж. Әбдікәрімов, А.Ж. Сейтмұратов, Б.К. Калиев, Ә.Ғ. Ғаниұлла,
Т.М. Қарабала**
СЫНДЫҚ ТЕМПЕРАТУРА МАҢЫНДАҒЫ ИЗОМАЙ ҚЫШҚЫЛЫ – СУ
ЕРІТІНДІСІНІҢ ТҮТҚЫРЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ.....5
- Д.Т. Агишев, С.А. Хохлов, А.Т. Агишев, Н.Л. Вайдман, А.Т. Агишев**
АККРЕЦИЯ ҚАРҚЫНЫ ТӨМЕН ТЫҒЫЗ ҚОС ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ
РАДИАЦИЯЛЫҚ ЖӘНЕ КОНВЕКТИВТІ ТАСЫМАЛДАУДЫ ЗЕРТТЕУ.....17
- Т.М. Алдабергенова, М.Ф. Верещак, А.С. Диков, С.Б. Кислицин**
ИМПЛАНТАЦИЯЛАНҒАН ТЕМІР-57 ЯДРОЛАРЫНДА КИМС ӘДІСІМЕН
АНЫҚТАЛҒАН ЖОҒАРЫ ЭНТРОПИЯЛЫҚ ҚОРЫТПА НИТРИДТЕРІ
(ALTIZYNB) N НЕГІЗІНДЕГІ ЖҰҚА ЖАБЫН ҚҰРЫЛЫМЫ.....29
- Е. Бондарь, А. Шонғалова, А. Федосимова, С. Ибраимова, А. Кемелбекова**
ГРАФЕН ОКСИДІ НЕГІЗІНДЕГІ ПРОТОН АЛМАСУ МЕМБРАНАЛАРЫНДА
ГИДРОНИЙ ИОНДАРЫНЫҢ ҚОЗҒАЛҒЫШТЫҒЫН АРТТЫРУ.....39
- Н.Н. Жантурина, Г.К. Бекетова, З.К. Аймаганбетова, К.Б. Бижанова,
Л.У. Таймуратова**
ҚАЗІРГІ ЗАМАНҒЫ ПЕРОВСКИТТІ КҮН БАТАРЕЯЛАРЫ: ТИІМДІЛІКТІ
АРТТЫРУҒА АРНАЛҒАН МАТЕРИАЛДАР МЕН ТЕХНОЛОГИЯЛАРДАҒЫ
ИННОВАЦИЯЛАР.....50
- Ұ.Қ. Жапбасбаев, Г.І. Рамазанова, М.Ф. Пахомов**
КЕНЕТТЕН КЕҢЕЮІ БАР ҚҰБЫРДАҒЫ ТҮТҚЫР-ПЛАСТИКАЛЫҚ
СҰЙЫҚТЫҚТЫҢ ТУРБУЛЕНТТІК АҒЫНЫ.....64
- Д.М. Зазулин, С.Е. Кемелжанова, Н.Ә. Бейсен, А.Ш. Турсумбеков,
М.О. Алимқулова**
НӨЛДІК ДЫБЫСЫ БАР ГОЛОГРАФИЯЛЫҚ ЖҮЙЕНІҢ
ГЕОМЕТРОТЕРМОДИНАМИКАСЫ.....78
- Е.М. Мырзакулов, А.Б. Алтайбаева, А.С. Бұланбаева**
СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС ЭЛЕКТРОДИНАМИКАМЕН БАЙЛАНЫСҚАН AdS ҚАРА
ҚҰРДЫМДАРДЫҢ ФАЗАЛЫҚ АУЫСУЛАРЫ МЕН ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ
СИПАТТАМАЛАРЫ.....89

Ш.А. Мырзакулова, А.А. Жадыранова НЕТЕР СИММЕТРИЯСЫН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, F(G) ГРАВИТАЦИЯСЫН ЗЕРТТЕУ.....	101
Д.А. Төлеков, Д.М. Жарылғапова, А.М. Мұхамбетжанова, А.А. Алмағамбетова, Ұ.Ә. Әбітаева УЛЬТРА-КҮЛГІНМЕН СӘУЛЕЛЕНГЕН Li_2SO_4 -Mn-дегі ЭЛЕКТРОНДЫ- КЕМТІКТІ ҚАРМАУ ОРТАЛЫҚТАРЫ.....	115
С.У. Шарипов, И.Ф. Спивак-Лавров ДЕФЛЕКТОРЛЫҚ ПЛАСТИНАЛАР МЕН ЖЕРГЕ ТҰЙЫҚТАЛҒАН ЭКРАН АРАСЫНДАҒЫ ШЕТТІК ӨРІСТІҢ ЭЛЕКТРОСТАТИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ.....	125
Л.И. Шестакова, А.В. Серебрянский, Р.Р. Спасюк, Ч.Т. Омаров КҮН ЖҮЙЕСІНІҢ ШІКІ АЙМАҒЫНДАҒЫ КОМЕТАЛЫҚ-МЕТЕОРЛЫҚ ШАҢДЫ ІЗДЕУ: ШАҢДЫ КОРОНАДАҒЫ ЖЫЛУ ЭМИССИЯСЫ.....	138
ХИМИЯ	
Р.С. Абжалов, Ш.Т. Кошкарбаева, А.К. Диканбаева, М.С. Сатаев, Б.С. Серикбаева ФОТОХИМИЯЛЫҚ АКТИВТЕНДІРУ АРҚЫЛЫ ПОЛИМЕР БЕТІНЕН КҮМІС НАНОБӨЛШЕКТЕРДІ АЛУДЫ ЗЕРТТЕУ.....	147
К. Арынов, А. Ауешов, Ч. Ескибаева, А. Диканбаева, А. Ибраева ЖІТІҚАРА КЕНОРНЫНЫҢ НЕМАЛИТҚҰРАМДАС ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТІН РЕНТГЕНОФАЗАЛЫҚ ЖӘНЕ ТЕРМОАНАЛИТИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ.....	160
Г.Ж. Байсалова, Ә.С. Жұмаділ, Б.Б. Торсыкбаева, Д.Т. Садырбеков, К.Т. Умерджанова ELAEAGNUS ANGUSTIFOLIA ЖЕМІСТЕРІНІҢ ХИМИЯЛЫҚ КОМПОНЕНТТЕРІ.....	173
Н.Н. Жаникулов, Д.К. Жургараева, Г. Мұхтарханова, А.С. Байлен, А.К. Свидерский ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ АЛУ ҮШІН АЛТЫН КЕНІН ӨНДЕУДЕН АЛЫНҒАН ҮЙІНДІ ШАЙМАЛАУ ҚАЛДЫҚТАРДЫ ШИКІЗАТ РЕТІНДЕ ЖАРАМДЫЛЫҒЫН ЗЕРТТЕУ.....	184
А.А. Жельдыбаева, А.Ч. Каташева, К.А. Искаков, Д.Е. Нурмуханбетова, А. Азаматқызы КӨКӨНІС ШЫРЫНДАРЫНЫҢ ТАБИҒИ КРИТЕРИЙЛЕРІ МЕН САПАСЫН АНЫҚТАУ.....	196

- А.Б. Исаева, А.А. Шарипова, М.О. Исахов, Г.А. Кадирбекова**
БИОПОЛИМЕРЛЕРГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН МИКРОКАПСУЛДАНҒАН
ГУМИН ҚЫШҚЫЛЫНЫҢ ӨСІМДІКТЕРДІҢ ӨСУІН ЫНТАЛАНДЫРУДАҒЫ
РӨЛІ.....205
- А.Т. Масенова, А.С. Жумақанова, И.И. Торлопов, К.С. Рахметова,
А.З. Абильмагжанов**
АРОМАТТЫ КӨМІРСУТЕКТЕРДІ АЛКИЛДЕУГЕ АРНАЛҒАН ZSM-5, НҮ
ЖӘНЕ ВЕА СИНТЕТИКАЛЫҚ ЦЕОЛИТТЕРІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН
ИЕРАРХИЯЛЫҚ ЦЕОЛИТТЕР.....219
- А.К. Нурлыбекова, А.А. Минкаева, Е. Шыбырай, Х.А. Айса, Ж. Жеңіс**
ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ *ARTEMISIA* ТҮРЛЕРІНІҢ ОРГАНИКАЛЫҚ ЖӘНЕ
МИНЕРАЛДЫ ҚҰРАМЫН ГХ-МС АРҚЫЛЫ ЗЕРТТЕУ.....233
- Т.С. Хоснутдинова, А.О. Сәпиева, Н.Г. Гемеджиева, Ж.Ж. Қаржаубекова,
Н.А. Сұлтанова**
FERULA FOETIDA (BUNGE) REGEL ТАМЫРЫНАН АНТИОКСИДАНТТЫҚ
БЕЛСЕНДІЛІГІ БАР БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ КЕШЕНДІ АЛУ.....252

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

- Б.Ж. Абдикаримов, А.Ж. Сейтмуратов, Б.К. Калиев, А.Г. Ганиулла, Т.М. Карабала**
СВОЙСТВА ВЯЗКОСТИ РАСТВОРА ИЗОМАСЛЯНАЯ КИСЛОТА – ВОДА ВБЛИЗИ КРИТИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ РАССЛОЕНИЯ.....5
- Д.Т. Агишев, С.А. Хохлов, А.Т. Агишев, Н.Л. Вайдман, А.Т. Агишев**
ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО И КОНВЕКТИВНОГО ПЕРЕНОСА В ТЕСНЫХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМАХ С МАЛЫМ ТЕМПОМ АККРЕЦИИ ВЕЩЕСТВА.....17
- Т.М. Алдабергенова, М.Ф. Верещак, А.С. Диков, С.Б. Кислицин**
ТОНКАЯ СТРУКТУРА ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ НИТРИДОВ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА (ALTiZrYn₃)N, ОПРЕДЕЛЕННАЯ КЭМС МЕТОДОМ НА ЯДРАХ ИМПЛАНТИРОВАННОГО ЖЕЛЕЗА-57.....29
- Е. Бондарь, А. Шонгалова, А. Федосимова, С. Ибраимова, А. Кемелбекова**
ПОВЫШЕНИЕ ПОДВИЖНОСТИ ИОНОВ ГИДРОНИЯ В ПРОТОНООБМЕННЫХ МЕМБРАНАХ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ГРАФЕНА....39
- Н.Н. Жантурина, Г.К. Бекетова, З.К. Аймаганбетова, К.Б. Бижанова, Л.У. Таймуратова**
СОВРЕМЕННЫЕ ПЕРОВСКИТНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ: ИННОВАЦИИ В МАТЕРИАЛАХ И ТЕХНОЛОГИЯХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....50
- У.К. Жапбасбаев, Г.И. Рамазанова, М.А. Пахомов**
ТУРБУЛЕНТНОЕ ТЕЧЕНИЕ ВЯЗКОПЛАСТИЧНОЙ ЖИДКОСТИ В ТРУБЕ С РЕЗКИМ РАСШИРЕНИЕМ.....64
- Д.М. Зазулин, С.Е. Кемелжанова, Н.А. Бейсен, А.Ш. Турсумбеков, М.О. Алимкулова**
ГЕОМЕТРОТЕРМОДИНАМИКА ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С НУЛЕВЫМ ЗВУКОМ.....78
- Е.М. Мырзакулов, А.Б. Алтайбаева, А.С. Буланбаева**
ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ AdS ЧЕРНЫХ ДЫР СВЯЗАННЫХ С НЕЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКОЙ....89

Ш.А. Мырзакулова, А.А. Жадыранова
ИССЛЕДОВАНИЕ $F(G)$ ГРАВИТАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИММЕТРИИ
НЁТЕР.....101

**Д.А. Толеков, Д.М. Жарылгапова, А.М. Мухамбетжанова,
А.А. Алмагамбетова, У.А. Абитаева**
ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫЕ ЦЕНТРЫ ЗАХВАТА В ОБЛУЧЕННОМ
УЛЬТРА-ФИОЛЕТОМ-КРИСТАЛАХ Li_2SO_4 -Mn.....115

С.У. Шарипов, И.Ф. Спивак-Лавров
ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРАЕВОГО ПОЛЯ МЕЖДУ
ДЕФЛЕКТОРНЫМИ ПЛАСТИНАМИ И ЗАЗЕМЛЕННЫМ ЭКРАНОМ.....125

Л.И. Шестакова, А.В. Серебрянский, Р.Р. Спасюк, Ч.Т. Омаров
ПОИСК ПЫЛИ КОМЕТНО-МЕТЕОРНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ВО
ВНУТРЕННЕЙ ОБЛАСТИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ: ТЕПЛОВАЯ
ЭМИССИЯ В ПЫЛЕВОЙ КОРОНЕ.....138

ХИМИЯ

**Р.С. Абжалов, Ш.Т. Кошкарбаева, А.К. Диканбаева, М.С. Сатаев,
Б.С. Серикбаева**
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА НА
ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРА С ПОМОЩЬЮ ФОТОХИМИЧЕСКОЙ
АКТИВАЦИИ.....147

К.Т. Арынов, А.П. Ауешов, Ч.З. Ескибаева, А.К. Диканбаева, А.М. Ибраева
РЕНТГЕНОФАЗОВОЕ И ТЕРМОАНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
НЕМАЛИТА ЖИТИКАРИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
(КАЗАХСТАН).....160

**Г.Ж. Байсалова, А.С.Жумадил, Б.Б. Торсыкбаева, Д.Т. Садырбеков,
К.Т. Умерджанова**
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛОДОВ *ELAEAGNUS ANGUSTIFOLIA*.....173

**Н.Н. Жаникулов, Д.К. Жургараева, Г. Мухтарханова, А.С. Байлен,
А.К. Свидерский**
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИГОДНОСТИ ОТХОДОВ КУЧНОГО
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД В
КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА.....184

А.А. Жельдыбаева, А.Ч. Каташева, К.А. Искаков, Д.Е. Нурмуханбетова, А. Азаматкызы ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ КРИТЕРИЕВ И КАЧЕСТВА ОВОЦНЫХ СОКОВ.....	196
А.Б. Исаева, А.А. Шарипова, М.О. Исахов, Г.А. Кадирбекова РОЛЬ МИКРОКАПСУЛИРОВАННОЙ ГУМИНОВОЙ КИСЛОТЫ НА ОСНОВЕ БИОПОЛИМЕРОВ В СТИМУЛЯЦИИ РОСТА РАСТЕНИЙ.....	205
А.Т. Масенова, А.С. Жумаканова, И.И. Торлопов, К.С. Рахметова, А.З. Абильмагжанов ИЕРАРХИЧЕСКИЕ ЦЕОЛИТЫ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЦЕОЛИТОВ ZSM-5, HY И BEA ДЛЯ АЛКИЛИРОВАНИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ.....	219
А.К. Нурлыбекова, А.А. Минкаева, Е. Шыбырай, Х.А. Айса, Ж. Женис ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ ВИДОВ <i>ARTEMISIA</i> ИЗ КАЗАХСТАНА МЕТОДОМ ГХ-МС.....	233
Т.С. Хоснутдинова, А.О. Сапиева, Н.Г. Гемеджиева, Ж.Ж. Каржаубекова, Н.А. Султанова ПОЛУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОГО КОМПЛЕКСА ИЗ КОРНЕЙ <i>FERULA FOETIDA</i> (BUNGE) REGEL, ОБЛАДАЮЩЕГО АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТЬЮ.....	252

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

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

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the 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.

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>

Директор отдела издания научных журналов НАН РК *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Ж.Ш. Әден*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 31.03.2025.

Формат 60x88¹/₈.

18,0 п.л. Заказ 1.