

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

**ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**Nº4
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), (Daejeon, Korea), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>

BERSIMBAEV Rakhatkazhi 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 Zhabagayevich, 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 Мурат Жүрінұлы, химияғылымдарының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, КР ҰҒА РКБ 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:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нұрәліұлы, физика-математикағылымдарының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мынжасарұлы, химияғылымдарының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, «Фитохимия» халықаралық ғылыми-өндірістік холдингтің директоры (Қарағанды, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

РАМАЗАНОВ Тілекқабыл Сәбітұлы, физика-математикағылымдарының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеттің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>

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

ОЛИМЬЕРО Rossi Cesare, PhD (химия), Калабрия университеттің профессоры (Калабрия, Италия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=5722137597>

ТИГИНИНУ Ион Михайлович, физика-математикағылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университетті (Кишинев, Молдова) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>

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

БЕРСІМБАЕВ Рахметқұлы Ескендеріұлы, биологияғылымдарының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетті (Астана, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>

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

БОШКАЕВ Қуантай Авғазғыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фарабийнадағы Қазақ ұлттық университетті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>

Бұркітбаев Мұхамбетқали, химияғылымдарының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>

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

ЖҮСІПОВ Марат Абжанұлы, физика-математикағылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математикағылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Колданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>

ТАКІБАЕВ Нұргали Жабагаұлы, физика-математикағылымдарының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>

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

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербұланович, физика-математикағылымдарының кандидаты, доцент, ҰЯЗУ МИФИ әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

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

ӘБІЛМАҒЖАНОВ Арлан Зайнутталайұлы, химияғылымдарының 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 баспасоз басылымын, ақпарат агенттігін және желелік басылымды қайта есепке қою туралы КР Мәдениет және Ақпарат министрлігі «Ақпарат комитеті» Республикалық мемлекеттік мекемесі **05.06.2025 ж.** берген № KZ93VPY00121157 Қуалық.

Такырыптық бағыты: *физика, химия*.

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

ТИГИНИЯНУ 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 бионики и биотехнологии (KRIBB), (Дэчон, Корея), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>

БЕРСИМБАЕВ Раҳметқажи Исқендирович, 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 Авғазыевич, 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>

БҮРКИТТАЕВ Мұхамбетқали, 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>

ЖУСПОВ 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>

АБИЛЫМАГЖАНОВ Арлан Зайнутталаевич, 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>

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	
Cs ₂ AgBiBr ₆ double halide perovskites as advanced materials for high-efficiency solar cells.....	38
L.I. Shestakova, R.R. Spassuk	
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.Abdrakhmanova, V. Krivchenko, A. Sabitova1, B. Kuderina DOL-enhanced electrolytes as a route to stable anodes in Li–V ₂ O ₅ 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. Saspuagayeva A quantitative determination of the phenol compounds sum in the thallus of <i>Parmelia sulcata</i>	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. Мырзакулова, М. Абейова Көс қабатты M-LXXII теңдеуі үшін дарбу түрлендіруі.....	24
Г.К. Бекетова, Н.Н. Жантурина, З.К. Аймаганбетова $Cs_2AgBiBr_6$ қос галоидты первовскиттер: күн батареяларына арналған тиімділігі жогары 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 Айдын беткі қабатына метеоридтардың соқтығысын статистикалық түрғыда зерттеу.....	91
Г.Т. Омарова, Ж.Т. Омарова Лагранж – Якоби түндеуі және оны N -денелі есепке қолдану.....	105
Ж. Мұратхан, М. Хасанов Нейтрон жүлдіздары бар массивті рентгендік екілік жүйелердегі жүлдіздық жел параметрлерін бағалау әдістері.....	113
В. Мукамеденқызы, А. Ізбасар, А. Ақиқат Үшкомпонентті газ жүйелеріндегі концентрациялық конвекцияның әсерінен құрылымдық ағындардың пайда болуын зерттеу.....	127
К. Саурова, С. Нысанбаева, Г. Турлыбекова Фарыш аппараттарының ориентациясын нақты анықтау үшін жүлдіз сенсорының оптикалық жүйесін модельдеу.....	140

ХИМИЯ

Б.С. Серикбаева, М.С. Сатаев, Н.К. Сарыбекова	
Электроткізгіш қабатты қолданып, полипропиленге гальваникалық қаптама алу процесін зерттеу.....	157
А.П. Аушов, Ч.З. Ескибаева, А.К. Диканбаева	
Серпентинит қалдығынан магний сульфатын алудың техникалық-экономикалық зерттеуі.....	172
А.Қ. Қозыбаев, Ж.Д. Әлімқұлова, С.О. Әбілқасова	
Сүмен жуылған са-монтажориллонит сазында ауыр металдардың сорбциясының кинетикасы мен термодинамикасы.....	184
А. Абдрахманова, В. Кривченко, А. Сабитова, Б. Кудерина	
Li–V ₂ O ₅ жүйесіндегі тұрақты анодтарға қол жеткізуге арналған DOL-мен модификацияланған электролиттер.....	196
Б.К. Масалимова, А.С. Шаяхметова, А.С. Дағменбаева	
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 өңдеу қалдықтарын зерттеу.....	227
Л.М. Калимолова, Қ.Ж. Жалгасбаев, А.С. Даuletbaev	
Өнеркәсіптік сарқынды суларды тазартудың әдістерін салыстырмалы түрде зерттеу.....	241
Ә. Нұрлан, С.Р. Конуспаев, Т.С. Абильдин, Қ. 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.Ә. Мырзабеков, А.Б. Маханбетов, Т.Ә. Гаипов, Б.С. Абжолов, Н.Н. Нұргалиев	
Марганец (II) ионының титан және қорғасын электродында электрохимиялық тотықсыздануы.....	286
А.С. Дағменбаева, 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. Жантурин, З.К. Аймаганбетова $Cs_2AgBiBr_6$: двойные галоидные перовскиты как передовые материалы для высокоэффективных солнечных элементов	38
Л.И. Шестакова, Р.Р. Спасюк Спектральные исследования области перехода между K 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. Сатаев, 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. Кудерина	
DOL – модифицированные электролиты как путь к стабильным анодам в системах $\text{Li}-\text{V}_2\text{O}_5$	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. Свидерский	
Исследование отходов переработки свинцового шлака в качестве сырья для цементной промышленности.....	227
Л.М. Калимoldина, К.Ж. Жалгасбаев, А.С. Дэулетбаев	
Сравнительное исследование методов очистки промышленных сточных вод	241
А. Нурлан, С.Р. Конуспаев, Т.С. Абильдин, К. Тоштай	
Превращения углеводородов при гидрировании бензина, содержащего бензол.....	256
Г.Ж. Байсалова, Б.К. Ертай, А.А. Талтенов, П. Кужатова, Г.Е. Саспугаева	
Количественное определение суммы фенольных соединений в талломе <i>PARMELIA SULCATA</i>	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), 113–126

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1483.388>

UDC 524.354.4-327

©Zh. Muratkhan^{1,2*}, M. Khassanov¹, 2025.

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

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

E-mail: muratkhan_zhantay1@live.kaznu.kz

METHODS FOR ESTIMATION OF STELLAR WIND PARAMETERS IN HIGH-MASS X-RAY BINARY SYSTEMS WITH NEUTRON STARS

Muratkhan Zhantay — PhD student, Department of Theoretical physics, Faculty of Physics and Technics, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, Lecturer, Department of Physics, Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: muratkhan_zhantay1@live.kaznu.kz; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7186-0273>;

Khassanov Manas — PhD, senior researcher, Department of Theoretical physics, Faculty of Physics and Technics, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: khassanov.manas@kaznu.kz; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9857-0658>.

Abstract. The article discusses a new approach to studying the parameters of the stellar wind from hot stars in massive binary X-ray systems with a neutron star (NS), which manifest themselves as accreting X-ray pulsars. The proposed technique is based on the analysis of the observed characteristics of neutron stars in these systems. In particular, it is shown that the rotational evolution of the NS can be used to determine the stellar wind velocity of the massive companion at the orbital radius of the compact source. This approach relies on the fact that the transfer of angular momentum during wind accretion is directly linked to the local properties of the stellar wind, such as its velocity and density structure. The relevance of the problem is due to the insufficient study of the stellar wind parameters of hot stars, since traditional spectroscopic methods do not always allow us to reliably detect wind components in the spectra of sources, especially in systems with strong X-ray irradiation or complex wind geometry. In such cases, the wind structure may be significantly modified by the presence of the compact object, leading to deviations from standard theoretical wind models. The proposed method provides an independent and complementary diagnostic tool, allowing wind parameters to be constrained through X-ray timing observations rather than optical or ultraviolet spectroscopy. This significantly expands the range of systems for which wind properties can be investigated.

Keywords: stellar wind, X-ray pulsars, massive binary systems, wind accretion, neutron stars

Financing. The research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant No. AP23489541), titled “methods for estimation of stellar wind parameters in high-mass x-ray binary systems with neutron stars”.

©Мұратхан Ж.^{1,2*}, Хасанов М.¹, 2025.

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

²Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: muratkhan_zhantay1@live.kaznu.kz

НЕЙТРОН ЖҰЛДЫЗДАРЫ БАР МАССИВТІ РЕНТГЕНДІК ЕКІЛІК ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ ЖҰЛДЫЗДЫҚ ЖЕЛ ПАРАМЕТРЛЕРИН БАҒАЛАУ ӘДІСТЕРІ

Мұратхан Жантай — PhD, докторант, әл-фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,
E-mail: muratkhan_zhantay1@live.kaznu.kz; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7186-0273>.

Хасанов Манас — PhD, әл-фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті физика-техникалық факультетінің ағағылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан.
E-mail: khassanov.manas@kaznu.kz; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9857-0658>.

Аннотация. Бұл мақалада нейtron жұлдызы (НЖ) бар массивті рентгендік қос жүйелердегі ыстық жұлдыздардың жұлдыздық жел параметрлерін зерттеудің жаңа тәсілі қарастырылады. Мұндай жүйелер аккрекцияланатын рентгендік пульсарлар ретінде байқалады. Ұсынылған әдіс осы жүйелердегі нейtron жұлдыздарының бақыланатын сипаттамаларын талдауға негізделген. Атап айтқанда, нейtron жұлдызының айналу эволюциясын пайдалану арқылы ықшам объектінің орбиталық радиусындағы массивті серіктес жұлдыздың жұлдыздық жел жылдамдығын анықтауға болатыны көрсетіледі. Бұл тәсіл жел арқылы аккрекция кезінде бұрыштық импульстің берілуі жұлдыздық желдің жергілікті қасиеттерімен, атап айтқанда оның жылдамдығы мен тығыздық құрылымымен, тікелей байланысты екеніне негізделген. Мәселенің өзектілігі ыстық жұлдыздардың жұлдыздық жел параметрлерінің жеткілікті дәрежеде зерттелмеуімен түсіндіріледі, себебі дәстүрлі спектроскопиялық әдістер барлық жағдайда көздердің спектрлерінен жел компоненттерін сенімді түрде анықтауға мүмкіндік бере бермейді. Бұл әсіресе күшті рентгендік сәулеленуі бар немесе жел геометриясы күрделі жүйелерге тән. Мұндай жағдайларда ықшам объектінің әсерінен жұлдыздық жел құрылымы айтартылтай өзгеріп, стандартты теориялық жел модельдерінен ауытқуларға әкелуі мүмкін. Ұсынылған әдіс жұлдыздық жел параметрлерін оптикалық немесе ультракүлгін спектроскопия арқылы емес, рентгендік таймингтік бақылаулар көмегімен шектеуге мүмкіндік беретін тәуелсіз әрі толықтырушы диагностикалық құрал болып табылады. Бұл жұлдыздық жел қасиеттерін зерттеуге болатын жүйелер ауқымын едәуір кеңейтеді. Осылайша, аталған тәсіл массивті рентгендік қос жүйелердегі жел сипаттамаларын зерттеуге



манызыды үлес қосып, аккрекция процестерін, бұрыштық импульстің берілуін және нейтрон жұлдыздарының ұзақ мерзімді айналу эволюциясын тереңдерек түсінуге мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: жұлдыздық жел, рентгендік пульсарлар, массивті екілік жүйелер, жел арқылы аккрекция, нейтрон жұлдыздары

©Муратхан Ж.^{1,2*}, Хасанов М.¹, 2025.

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

²Казахский национальный женский педагогический университет,
Алматы, Казахстан.

E-mail: muratkhan_zhantay1@live.kaznu.kz

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ЗВЕЗДНОГО ВЕТРА В МАССИВНЫХ ДВОЙНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ СИСТЕМАХ С НЕЙТРОННЫМИ ЗВЕЗДАМИ

Муратхан Жантай — PhD докторант, Физико-технического факультета Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан,

E-mail: muratkhan_zhantay1@live.kaznu.kz; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7186-0273>;

Хасанов Манас — старший научный сотрудник Физико-технического факультета Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: khassanov.manas@kaznu.kz; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9857-0658>.

Аннотация. В статье рассматривается новый подход к исследованию параметров звёздного ветра в массивных рентгеновских двойных системах с нейтронной звездой (НЗ), проявляющей себя как аккрецирующий рентгеновский пульсар. Предлагаемая методика основана на анализе наблюдаемых характеристик нейтронной звезды, что позволяет использовать эволюцию её вращения для определения скорости звёздного ветра массивного компаньона на орбитальном расстоянии компактного объекта. Метод опирается на то, что перенос углового момента при ветровой акреции напрямую связан с локальными свойствами звёздного ветра — его скоростью и профилем плотности. Актуальность исследования обусловлена тем, что параметры ветра горячих массивных звёзд изучены недостаточно: традиционные спектроскопические методы часто не позволяют надёжно выделить ветровые компоненты, особенно в системах с сильным рентгеновским излучением или сложной геометрией ветра. В подобных условиях структура ветра может существенно искажаться под воздействием компактного объекта, что приводит к отклонениям от стандартных теоретических моделей. Предлагаемый метод является независимым и дополняющим диагностическим инструментом, позволяющим накладывать ограничения на свойства звёздного ветра на основе рентгеновских тайминговых наблюдений, без необходимости использования оптической или ультрафиолетовой спектроскопии. Это расширяет спектр систем, для которых возможно исследование параметров

звёздного ветра. Таким образом, представленная методика является важным дополнением в изучении ветровых характеристик массивных рентгеновских двойных систем и способствует более глубокому пониманию механизмов акреции, переноса углового момента и эволюции спина нейтронных звёзд.

Ключевые слова: звездный ветер, рентгеновские пульсары, массивные двойные системы, ветровая акреция, нейтронные звёзды

Введение. Рентгеновские пульсары в массивных двойных системах являются замагнченными нейтронными звездами (НЗ), компаньонами которых являются массивные невырожденные звезды ранних спектральных классов. Основным механизмом генерации рентгеновского излучения для данных источников является процесс акреции. Захваченное вещество, взаимодействуя с магнитосферой нейтронной звезды, движется вдоль силовых линий в окрестность магнитных полюсов. Несовпадение осей вращения и магнитного диполя НЗ создает эффект пульсирующего излучения для внешнего наблюдателя (Potekhin, 2010).

В HMXB-системах массивный компаньон как правило, не заполняет свою полость Роша, и перенос массы происходит через захват плотного звёздного ветра (режим ветровой акреции). Среди известных HMXB-пульсаров наблюдаются как квазистационарные источники, рентгеновский поток от которых претерпевает плавные вариации без явной вспышечной активности, так и транзиентные объекты, демонстрирующие резкие изменения в наблюдаемом потоке более чем на порядок, что отражает различия в режимах акреции и типах компаньонов (Kim, 2023). Структура акреционного потока в таких системах может существенно различаться в зависимости от условий: рассматриваются различные сценарии акреции: квазисферическая акреция, акреция из кеплеровского диска, а также акреция из магнитно-левитационного диска при захвате вещества из замагнченного ветра (Ikhsanov, 2015). Обмен угловым моментом между акрецируемым потоком и нейтронной звездой влияет на ротационную эволюцию НЗ. В процессе данной эволюции нейтронная звезда стремится к так называемому равновесному периоду, когда ускоряющие и замедляющие моменты сил взаимно компенсируются (Lipunov, 1992).

Процесс ротационной эволюции НЗ существенным образом зависит от характеристик звездного ветра (скорость, плотность, параметры неоднородности ветра, наличие собственного магнитного поля) (Ikhsanov, 2015). Однако, указанные ветровые параметры остаются недостаточно изучены из-за сложности идентификации традиционными (спектральными) методами. Более того, установлено, что ветровой поток горячих звёзд не является однородным и сферически-симметричным по своей структуре (Kudritzki, 2000).

На текущий момент, основным методом изучения ветровых характеристик массивных компонентов HMXB-систем является оптическая спектроскопия, где источниками информации о ветре горячих звезд ранних спектральных классов являются резонансные линии (NV, SiIV, CIV и пр.) в ультрафиолетовой области. Благодаря этому методу удалось изучить быстрые компоненты звездного



ветра массивных звезд, а также оценить их темп истечения в приближении модели однородного сферически-симметричного ветра. По результатам этих исследований, горячие звезды в резонансных линиях ультрафиолета демонстрировали относительно большую скорость эjectируемого вещества, порядка $v_w \sim 1500 - 2000 \text{ км/с}$, с характерным темпом истечения $\sim 10^{-6} - 10^{-9} M_\odot/\text{год}$ (Kudritzki, 2000).

Несмотря на большое количество проведенных спектральных исследований, до сих пор остаются малоизученными вопросы о степени неоднородности звездного ветра (Oskinova, 2013). Также существуют некоторые трудности в изучении ветровых характеристик традиционными (спектральными) методами. В частности, далеко не у всех звезд, и тем более входящие в рентгеновские двойные системы можно наблюдать, вносимые эjectируемым веществом резонансные линии поглощения в спектре, а только в случае непрозрачного (с достаточной оптической толщиной) звездного ветра (Kudritzki, 2000). Таким образом, несмотря на высокую надежность традиционные методы оптической спектроскопии не всегда позволяют получить оценки ветровых характеристик. В данной работе мы предлагаем альтернативную методику определения параметров ветра, где основным источником данных является нейтронная звезда, проявляющая себя как рентгеновский пульсар. Ее наблюдаемые характеристики могут быть использованы для получения косвенных оценок ветровых характеристик ее массивного компаньона.

Материалы и основные методы. Аккреция из звёздного ветра и взаимодействие с магнитосферой нейтронной звезды. Рассмотрим процесс ветровой аккреции в HMXB системе с нейтронной звездой. Когда НЗ движется по орбите сквозь плотный звездный ветер своего массивного компаньона, она гравитационно захватывает часть вещества. Процесс переноса массы в данном случае можно разделить на несколько стадий (Davidson, 1973):

Захват вещества на радиусе Бонди. На расстоянии порядка радиуса гравитационного захвата r_G , определяемого условием равенства энергетики ветра и гравитации, происходит захват материала. Радиус Бонди задаётся формулой:

$$r_G = \frac{2GM_{ns}}{v_{rel}^2} \quad (1)$$

где M_{ns} — масса нейтронной звезды, v_{rel} — её относительная скорость, G — гравитационная постоянная.

1. Формирование квазисферического аккреционного потока. Захваченное вещество направляется в сторону НЗ, формируя изначально квазисферический поток. Этот поток обладает угловым моментом вследствие орбитального движения системы, а также может обладать собственным магнитным полем. Структура потока зависит от множества параметров и описывается в рамках разных аккреционных структур (квазисферического, дискового и др.), однако в данной работе рассматривается квазисферический случай, когда захваченный поток не образует устойчивого Кеплеровского диска (Shakura, 2013).

2. Взаимодействие с магнитосферой. На границе магнитосферы ($r \sim r_m$) движение аккреционного потока тормозится давлением магнитного поля НЗ. Дальнейшее проникновение вещества происходит преимущественно за счёт диффузии или плазменных неустойчивостей в магнитопаузе (Lipunov, 1992).

3. Аккреция на поверхность НЗ. При попадании внутрь магнитосферы плазма движется вдоль силовых линий магнитного поля по направлению к магнитным полюсам НЗ, формируя область горячих пятен, где и происходит генерация рентгеновского излучения за счет ударного нагрева (Lipunov, 1992).

В процессе акреции устанавливается баланс между ускоряющими и тормозящими моментами сил приложенных со стороны аккреционного потока к нейтронной звезде, в этом случае ротационная эволюция НЗ описывается следующим уравнением:

$$I \frac{d\omega_s}{dt} = K_{su} - K_{sd} \quad (2)$$

где I — момент инерции НЗ, $\omega_s = 2\pi/P_s$ — угловая скорость осевого вращения, K_{su} и K_{sd} — ускоряющие и замедляющие моменты сил соответственно. Аккрецирующая нейтронная звезда в процессе своей ротационной эволюции будет стремиться к так-называемому равновесному периоду, когда ускоряющие и тормозящие моменты сил взаимно компенсируют друг друга, таким образом левая часть уравнения (2) обращается в нуль.

В случае стационарной акреции (температура вещества не меняется на масштабе времени) при достижении нейтронной звездой своего равновесного периода темп изменения осевого вращения обращается в нуль $\dot{\omega} = 0$, вследствие взаимной компенсации ускоряющих и тормозящих моментов сил. Но в действительности аккрецирующие рентгеновские пульсы в двойных системах демонстрируют хаотические чередующиеся вариации ускорения и торможения осевого вращения, длиющиеся на масштабах времени от нескольких дней до нескольких месяцев и даже лет (Kim, 2023). Этот факт указывает на то, что нейтронные звезды в данных системах достигли своего усредненного равновесного периода, но следствие небольших изменений в темпе акреции, связанных с неоднородностями звездного ветра, проявляются регулярные незначительные колебания величины P_{eq} вблизи среднего значения.

Условие взаимной компенсации моментов сил ($K_{su} = K_{sd}$), приложенных к НЗ, позволяет оценить величину P_{eq} . В случае ветровой акреции, максимально возможный захватываемый нейтронной звездой угловой момент в единицу времени оценивается как (Davidson, 1973):

$$|K^{(w)}| = \dot{M} \Omega_{orb} r_G^2 \quad (3)$$

где \dot{M} — темп захвата вещества, $\Omega_{orb} = 2\pi/P_{orb}$ — орбитальная угловая скорость НЗ, а r_G — радиус Бонди.



По мере продвижения аккреционного потока к нейтронной звезде часть углового момента диссилирует. Ускоряющий момент сил, приложенный к нейтронной звезде со стороны аккреционного потока с учетом диссипации:

$$K_{su}^{(w)} = \xi \dot{M} \Omega_{orb} r_G^2 \quad (4)$$

В свою очередь тормозящий момент сил, приложенный со стороны аккреционного потока к границе магнитосферы НЗ, выражается как (Ikhsanov, 2014):

$$K_{sd}^{(qsp)} = k_t \dot{M} \omega_s r_m^2 \simeq k_t \dot{M} \omega_s r_A^2 \quad (5)$$

где r_m — радиус магнитосферы НЗ, а k_t — безразмерный коэффициент эффективности передачи углового момента. В рамках квазисферической акреции радиус магнитосферы полагается равным Альвеновскому радиусу $r_m \approx r_A$, на котором давление динамического потока сравнивается с давлением магнитного поля НЗ (Ikhsanov, 2014):

$$r_A = \left(\frac{\mu_{ns}^2}{M \sqrt{2G M_{ns}}} \right)^{2/7} \quad (6)$$

Здесь μ_{ns} — дипольный магнитный момент нейтронной звезды, \dot{M} — темп акреции вещества, G — гравитационная постоянная, M_{ns} — масса нейтронной звезды. Данная формула позволяет оценить область, в которой магнитосфера начинает существенно влиять на аккреционный поток.

При выполнении условия равновесия $K_{su} = K_{sd}$ и с учетом выражения (1) получаем важную оценку относительной скорости нейтронной звезды:

$$v_{rel} = \left(\frac{P_{eq} \xi}{k_t P_{orb}} \right)^{1/4} \left(\frac{\dot{M}^2 [2G M_{ns}]^8}{\mu_{ns}^4} \right)^{1/14} \quad (7)$$

Здесь P_s — период осевого вращения НЗ, а P_{orb} — орбитальный период. Предполагается, что звездный ветер, захватываемый нейтронной звездой, обладает угловой скоростью порядка орбитальной: $\Omega_0 \approx \xi \Omega_{orb} = \xi 2\pi/P_{orb}$, а $0 < \xi \leq 1$ — параметр диссипации углового момента.

Рассматриваемые источники.

CenX-3

Cen X-3 был открыт в 1967 году с помощью космической обсерватории Uhuru, как точечный рентгеновский источник. Дальнейшие наблюдения выявили регулярные пульсации в его рентгеновском излучении с периодом 4.876 ± 0.0154 , что позволило отождествить данный источник с рентгеновским пульсаром (Giacconi, 1971). А обнаружение синусоидальных амплитудных вариаций с периодом ~ 2.087 сут. позволили сделать вывод о том, что Cen X-3 является затменной двойной системой

с массивным компаньоном. Оптические наблюдения в области локализации Cen X-3 с помощью различных телескопов обсерваторий ESO и Las-Campanas в период 1973—1974 гг. позволили идентифицировать оптический компонент системы как звезду раннего спектрального класса 09—09.5 V или B0 I—III. Таким образом, Cen X-3 стал первым объектом, отождествленным как рентгеновский пульсар в массивной двойной системе. Дальнейшие исследования источника в оптическом диапазоне позволили уточнить спектральный класс нормального компонента как O6.5 II—III, массой $\sim 20.2 M_{\odot}$ (Ash, 1999), располагающуюся на расстоянии $d_0 \approx 5.7 \pm 1.5$ кпк. Эксцентриситет орбиты компактного источника характеризуется предельно малой величиной $e \approx 0.00021$, близкой к идеальной круговой орбите.

AO1657-415

АО 1657-415, исходно открытый в 1978 году как затменный рентгеновский источник, спустя год был отождествлен с аккрецирующим рентгеновским пульсаром, период которого на тот момент составлял 38.22 с. Рентгеновская светимость источника на протяжении наблюдений 2002–2016 гг. в диапазоне 18—50 кэВ плавно варьировалась в диапазоне $L_x \approx 0.1 - 2 \times 10^{37} (d/d_0)^2$ эрг/с (Sidoli, 2018). АО 1657-415 расположен на расстоянии $d_0 = 6.4 \pm 1.5$ кпк и отождествлен с массивной рентгеновской двойной системой, имеющей орбитальный период $P_{orb} \approx 10.44$ сут (Fortin, 2023). Эксцентриситет орбиты $e \approx 0.104$. Компонентами системы является нейтронная звезда и массивный сверхгигант спектрального класса Ofne. Нейтронная звезда в настоящую эпоху вращается с периодом $P_s \approx 37.024$ с и обладает магнитным полем, величина которого на ее поверхности, измеренная из анализа циклотронной линии, наблюданной в рентгеновском спектре источника, составляет $B_{ns} = (3.1 \pm 0.2) \times 10^{12}$ Гс.

VelaX-1

Vela X-1 так же, как и Cen X-3 исходно открыт космической обсерваторией Uhuru на заре становления рентгеновской астрономии в 1967 году. В последствие также отождествлен с рентгеновским пульсаром в массивной двойной системе. Период осевого вращения компактного источника составляет $P_s \approx 283.43$ сек. Орбита обладает малым значением эксцентриситета, близким к круговому $e \approx 0.088$, что характерно для квазистационарных пульсаров. Орбитальный период составляет $P_{orb} \approx 8.96$ сут (Fortin, 2023). Компаньоном нейтронной звезды является звезда-сверхгигант HD 77581, расположенной на расстоянии $d_0 = 1.9 \pm 0.2$ кпк, принадлежащая спектральному классу B0.5 Ia, с оценкой массы $M_* \approx 26 M_{\odot}$ (Fortin, 2023). На основании спектральных исследований в видимом и ультрафиолетовом диапазонах, приведенных в работах приведены оценки терминальной скорости ветра в интервале $v_\infty = 600 - 1700$ км/с и темпа потери массы $\dot{M} \approx 4 \times 10^{-6} M_{\odot}/\text{год}$ (Sander, 2018).

4U1538-52



4U 1538—52 был открыт в 1976 году с помощью космической обсерватории OSO-8 как затменный рентгеновский источник в двойной системе. Дальнейшие исследования в рамках космической миссии Ariel-5 позволили обнаружить пульсации в рентгеновском потоке с периодом ~ 528.93 с, связанных с осевым вращением нейтронной звезды. На текущую эпоху осевой период 4U 1538—52 составляет $P_s \simeq 526.23$ с, орбитальный период $P_{orb} \simeq 3.728$ сут (Fortin, 2023). Спектральные наблюдения в оптическом диапазоне на 3.9-м телескопе в обсерватории Сайдинг-Спринг (Австралия) позволили отождествить нормального компаньона системы (QV Nor), как звезду-сверхгигант раннего спектрального класса B0.2 Ia с темпом потери массы $\sim 10^{-6} M_\odot/\text{год}$ (Parkes, 1978). Расстояние до источника оценивается в $d \simeq 5 \pm 0.5$ кпк.

GX301-2

GX 301—2 уникальный объект среди популяции квазистационарных рентгеновских пульсаров в массивных системах, обладающий орбитой со значительной величиной эксцентриситета $e \simeq 0.46$, что более характерно для транзиентных рентгеновских пульсаров, так как в подавляющем большинстве случаев для квазистационарных пульсаров эта величина не превосходит 0.2. Оценка расстояния до источника составляет 3.5 ± 0.5 кпк. Нормальным компонентом системы является звезда-сверхгигант BP Cru (Wray 977) раннего спектрального класса B1.5 Ia с массой $M_* \sim 48 M_\odot$ (Fortin, 2023), наибольшей по величине среди всей галактической популяции рентгеновских пульсаров в МРДС. Спектральные исследования оптического компонента на 3.6-м телескопе ESO (Чили) выявили наличие Р Cyg профиля, позволившего провести оценки темпа истечения вещества $\dot{M} \sim 5 \times 10^{-6} - 10^{-5} M_\odot/\text{год}$ с терминальной скоростью ветра $v_\infty \sim 400$ км/с.

XPer

Источник X Per был изначально известен как пекулярная звезда BS 1209 (HD 24534) раннего спектрального класса, которая затем была отождествлена, как массивный компаньон рентгеновского источника 2ASE 0352+30, открытого космической обсерваторией Uhuru. Дальнейшие наблюдения X Per с помощью рентгеновских телескопов Коперник и Ариэль-5 в период 1972—1975 гг. выявили наличие модуляций в потоке его рентгеновского излучения с периодом ~ 13.93 мин. Значение периода осевого вращения пульсара в настоящую эпоху составляет $P_s \sim 835.29$ с. X Per является рентгеновским источником низкой светимости, в период 2002–2016 гг. его значение плавно варьировалось в интервале $L_x \sim 1.2 - 6.3 \times 10^{34} (d/d_0)^2$ эрг/с в диапазоне измерений 18—50 кэВ (Sidoli, 2018). Массивный компаньон HD 24534 представлен звездой спектрального класса B0 Ve, масса которого оценивается порядка $\sim 15.5 M_\odot$ (Fortin, 2023). Относительная близость системы $d_0 \sim 0.8$ кпк позволила провести детальные исследования оптического компонента, в частности анализ спектральных резонансных линий CIV и SiIV в ультрафиолетовой области оценить терминальную скорость ветра $v_\infty \sim 650$ км/с, что подразумевает темп потери

массы порядка $M_{\text{out}} \sim 5 \times 10^{-9} M_{\odot}/\text{год}$. Орбита компактного источника X Per имеет незначительную величину эксцентриситета $e \sim 0.1$, характерную для квазистационарных пульсаров. Однако существенным является орбитальный период $P_{\text{orb}} \sim 250.3 \text{ сут}$, что говорит о достаточно широкой орбите, по сравнению с другими квазистационарными пульсарами. Пекулярной особенностью данной системы является большое удаление относительно плоскости Галактики $|b| \sim 17.1$ град, для остальных объектов из галактической популяции HMXB пульсаров эта величина не превосходит 4.1 градуса.

RX J0146.9+6121

RX J0146.9+6121 открыт в 1991 году с помощью космической рентгеновской обсерватории ROSAT и в последствие отождествлен как долгопериодический рентгеновский пульсар в массивной двойной системе. На текущую эпоху его период осевого вращения составляет $P_s \sim 1396.14 \text{ с}$. Параметры орбиты и точная величина орбитального периода остаются открытым вопросом, на текущую эпоху известна лишь косвенная оценка $P_{\text{orb}} \sim 330 \text{ сут}$ орбитального периода, полученная на предположении о периодическом изменении рентгеновского потока, связанного при движении компактного источника от апоастра кperiастру. Нормальным компаньоном компактного источника является звезда главной последовательности V831 Cas спектрального класса B1 Ve, масса которой составляет $M_* \sim 11 M_{\odot}$ (Fortin, 2023), располагающаяся на расстоянии $2.3 \pm 0.5 \text{ кпк}$. Светимость рентгеновского источника в диапазоне 18—50 кэВ не претерпевала существенных изменений, варьируясь в интервале $L_x \sim 1 - 1.1 \times 10^{37} (d/d_0)^2 \text{ эрг/с}$ на промежутке времени наблюдений 2002—2016 гг. (Sidoli, 2018).

2S 0114+650

2S 0114+650 был открыт в 1977 году при обзоре неба с помощью космической рентгеновской обсерватории SAS-3. Спустя несколько месяцев после идентификации было обнаружено, что этот компактный источник входит в двойную систему и его компаньоном является массивная звезда LSI +65 010 (V662 Cas). По своим характеристикам 2S 0114+650 является квазистационарным пульсаром, период осевого вращения которого составляет $P_s \sim 9475 \text{ с}$. По величине осевого периода 2S 0114+650 является вторым среди галактической популяции HMXB пульсаров. С момента открытия 2S 0114+650 демонстрирует глобальный тренд раскрутки с темпом $\sim 10^{-6} \text{ с/с}$. Причина его сверхдолгого периода осевого вращения до сих пор неизвестна. Орбитальный период на текущую эпоху составляет $P_{\text{orb}} \simeq 11.591 \text{ сут}$. Массивным компаньоном нейтронной звезды является сверхгигант V662 Cas, принадлежащий спектральному классу B1 Ia (Fortin, 2023). Детальные исследования V662 Cas в оптическом диапазоне, выполненные на 2.5-м телескопе Исаак Ньютона обсерватории Ла-Пальма, позволили провести оценку терминальной скорости ветра $v_{\infty} \simeq 1200 \pm 300 \text{ км/с}$ и темпа истечения вещества $\dot{M} \sim 3 \times 10^{-6} M_{\odot}/\text{год}$ (Reig, 1996).



Результаты. Оценка скорости звёздного ветра из условия равновесия моментов сил. В условии баланса моментов сил, приложенных к НЗ, ее осевой период соответствует равновесному значению $P_s = P_{eq}$. В свою очередь, это условие позволяет оценить скорость звездного ветра на радиусе орбиты нейтронной звезды. В этом случае относительная скорость НЗ v_{rel} определяется вкладом звёздного ветра массивного компаньона и орбитального движения самой НЗ как векторная сумма: $v_{rel}^2 = v_w^2 + v_{orb}^2$ (см. Рис. 1).

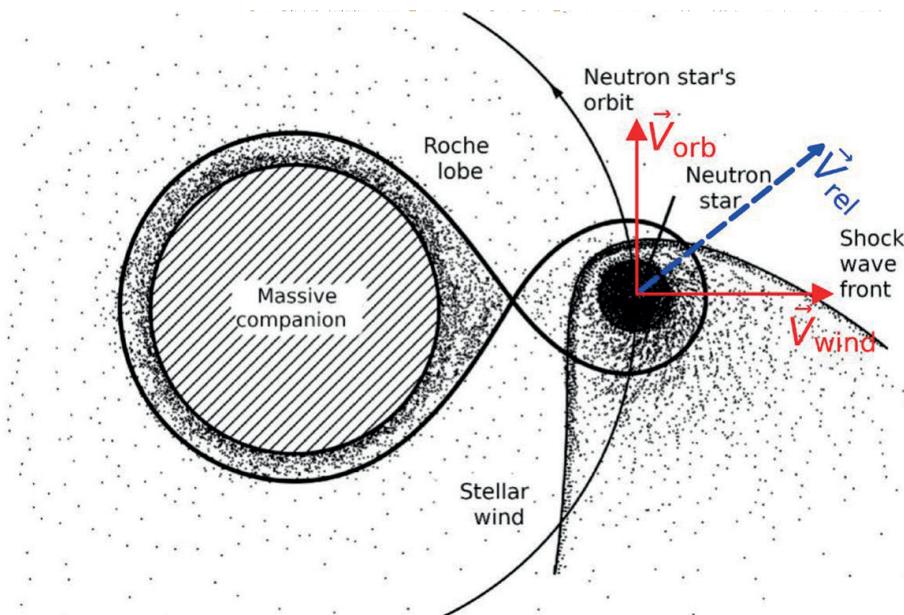


Рисунок 1. — Схема взаимодействия звездного ветра массивного компаньона и нейтронной звезды в HMXB системе.

Таким образом получаем выражение для оценки скорости звездного ветра на радиусе орбиты НЗ:

$$v_w^{qsp} = \sqrt{\frac{(P_s \xi)^{1/2} (\dot{M})^{2/7} (2GM_{ns})^{8/7}}{(k_t P_{orb})^{1/2} \mu_{ns}^{4/7}} - v_{orb}^2}$$

Вышеописанные расчёты равновесного периода и скорости ветра были проведены для ряда конкретных рентгеновских пульсаров, описанных в разделе Рассматриваемые источники. В таблицах 1 и 2 приведены наблюдаемые параметры систем и рассчитанные на их основе характеристики звездного ветра.

Таблица 1. Астрофизические параметры звёзд-компаньонов в HMXB. Параметры рентгеновских пульсаров в HMXB-системах.

Название	$P_s(c)$	P_{orb} (сут)	$M_{opt}(M_\odot)$	Опт. комп.	a (а.е.)	\dot{M} ($M_\odot/\text{год}$)	v_∞ (км/сек)
Cen X-3	4.80	2.09	20.5	O6II(f)	0.062	1×10^{-6}	2000
OAO 1657—415	37.02	10.45	14	Ofpe/WN9	1.96	3×10^{-6}	неизвестно
Vela X-1	283.43	8.96	26	B0.5 Ia	0.33	4×10^{-6}	600
4U 1538—52	526.4	3.73	19	B0I	0.04	3×10^{-7}	600
GX 301—2	672.5	41.5	43	B1Ia+	1.51	1×10^{-6}	400
X Per	835.3	250.3	15	O9.5IIIe	5.5	5×10^{-8}	650
2S 0114+650	9475	11.6	17	B1Ia	2.19	5×10^{-7}	1200

Таблица 2. Астрофизические параметры некоторых высокомассивных рентгеновских пульсаров (HMXB) и расчётные равновесные периоды для режима квазисферической аккурации.

Название	L_x (эрг/с)	B_{ns} ($10^{12}\Gamma c$)	\dot{M} (г/с)	μ_{ns} ($10^{30}\Gamma c \text{ см}^3$)	v_{rel} (км/с)
Cen X-3	4.0×10^{36}	3.0	2.15×10^{16}	1.50	379
OAO 1657—415	5.8×10^{36}	3.3	3.12×10^{16}	1.65	431
Vela X-1	1.3×10^{36}	2.6	7.0×10^{15}	1.30	644
4U 1538—52	9.2×10^{35}	2.3	4.95×10^{15}	1.15	790
GX 301—2	2.8×10^{36}	4.2	1.51×10^{16}	2.10	530
X Per	2.5×10^{34}	5.6	1.35×10^{14}	2.80	200
2S 0114+650	2.1×10^{36}	2.5	1.13×10^{16}	1.25	1572

Таблица 3. Оценочные скорости звёздного ветра массивных компонентов для выбранных HMXB-пульсаров.

Название	$P_s^{(obs)} c$	v_{orb} (км/с)	$v_w^{(asp)}$ (км/с)
Cen X-3	4.80	482	500
OAO 1657—415	37.02	240	360
Vela X-1	283.4	315	560
4U 1538—52	526.4	380	700
GX 301—2	672.5	217	480
X Per	835.3	87	180
2S 0114+650	9475	244.1	1550

Обсуждение. В данной работе приведена новая методика определения скорости ветра массивных компаньонов рентгеновских пульсаров в HMXB системах по наблюдаемым характеристикам нейтронной звезды в режиме квазисферической аккурации. Практическое применение данного подхода продемонстрировано в виде численных оценок на примере нескольких известных квазистационарных



рентгеновских пульсаров. Показано, что модель квазисферической аккреции и учет равновесных периодов позволяет объяснить наличие медленно вращающихся пульсаров в HMXB системах, тогда как модель дисковой аккреции предсказывает значительно более быстрые осевые вращения НЗ.

Рассмотренная методика может быть полезна для косвенного определения эффективных скоростей звёздного ветра в HMXB системах, где традиционные методы, основанные на спектральном анализе, не способны провести оценки. В перспективе сочетание наблюдений ротационной эволюции пульсаров с подобным теоретическим моделированием может дать ограничения на параметры звёздного ветра (плотность, скорость, неоднородности) и эффективность обмена угловым моментом в аккреционных потоках. Кроме того, развитая модель равновесного состояния важна для прогнозирования поведения пульсаров при изменениях аккреционного режима: например, при переходе транзиентных систем из режима пропеллера в режим аккреции и наоборот. Дальнейшее развитие модели может включать более точный учёт неоднородностей звёздного ветра (Oskinova, 2012) и сопоставление с результатами МГД-моделирования аккреции (Manousakis, 2015).

Выводы. Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие заключения. Полученные оценки скорости ветра массивных компаний на радиусе орбиты НЗ хорошо согласуется с теоретическими моделями, показанными в работе (Kudritzki, 2000). Величины $v_w^{(qsp)}$ могут быть значительно меньше терминальных скоростей ветра ($v_w/v_\infty \ll 1$). Это связано с тем, что нейтронные звезды с массивными компаниями образуют тесные пары с малыми значениями больших полуосей орбит. Соответственно на радиусе орбиты НЗ ветер еще не успевает достичь максимальной величины — терминальной скорости. Для случая Cen X-3 и 4U 1538—52 в рамках нашего подхода величина $v_w^{(qsp)}$ соответствует 500 и 700 км/с. Такая оценка на радиусе орбит НЗ ($a=0.06$ а.е. и $a=0.04$ а.е.) является достаточно большой, таким образом, подтверждая гипотезу, что данные источники не являются ветровыми аккреторами. В случае Cen X-3 и 4U 1538—52 массивные компании заполняют свою полость Роша и теряют вещество через внутреннюю точку Лагранжа с последующим втеканием в полость Роша нейтронной звезды.

Литература

- Ash T.D.C., Reynolds A.P., Roche P., Norton A.J., Still M.D., and Morales-Rueda L. (1999) The mass of the neutron star in Centaurus X-3. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — Vol. 307. — P.357-364. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-8711.1999.02605.x>
- Davidson K. and Ostriker J.P. (1973) Neutron-Star Accretion in a Stellar Wind: Model for a Pulsed X-Ray Source. The Astrophysical Journal. — Vol. 179. — P.585-598, DOI: <https://doi.org/10.1086/151897>
- Ikhsanov N.R. and Mereghetti S. (2015) On the magnetic fields of Be/X-ray pulsars in the Small Magellanic Cloud. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — Vol. 454. — P.3760-3765. DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/stv2108>
- Ikhsanov N.R., Likh Y.S., and Beskrovnyaya N.G. (2014) Spin evolution of long-period X-ray pulsars. Astronomy Reports, Vol. 58. — P.376-385. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063772914050035>
- Fortin F., García F., Simaz Bunzel A., and Chaty S. (2023) A catalogue of high-mass X-ray binaries in the Galaxy: from the INTEGRAL to the Gaia era. Astronomy and Astrophysics. — Vol. 671. — P.A149. DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202245236>

- Giacconi R., Gursky H., Kellogg E., Schreier E., and Tananbaum H. (1971) Discovery of Periodic X-Ray Pulsations in Centaurus X-3 from UHURU. *The Astrophysical Journal*, Vol. 167. — P.L67. DOI: <https://doi.org/10.1086/180762>
- Kim V., Izmailova I., and Aimuratov Y. (2023) Catalog of the Galactic Population of X-Ray Pulsars in High-mass X-Ray Binary Systems. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, Vol. 268. — P.21. DOI: <https://doi.org/10.3847/1538-4365/ace68f>
- Kudritzki R.-P. and Puls J. (2000) Winds from Hot Stars. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*. — Vol. 38. — P.613-666, DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.astro.38.1.613>
- Lipunov V.M. (1992) *Astrophysics of Neutron Stars*. Springer publisher, ISBN 978-3-642-76352-6
- Manousakis A. and Walter R. (2015) The stellar wind velocity field of HD 77581. *Astronomy and Astrophysics*. — Vol. 584. — P.A25. DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201526893>
- Oskinova L.M., Feldmeier A., and Kretschmar P. (2012) Clumped stellar winds in supergiant high-mass X-ray binaries: X-ray variability and photoionization. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — Vol. 421. — P.2820-2831. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2012.20507.x>
- Parkes G.E., Murdin P.G., and Mason K.O. (1978) The optical counterpart of the binary X-ray pulsar 4U 1538-52. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — Vol. 184. — P.73P-77. DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/184.1.73P>
- Potekhin A. (2010) The physics of neutron stars. *Physics Uspekhi*, — Vol. 53. — P.1235-1256. DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNe.0180.201012c.1279>
- Reig P., Chakrabarty D., Coe M.J., Fabregat J., Negueruela I., Prince T.A., Roche P., and Steele I.A. (1996) Astrophysical parameters of the massive X-ray binary 2S 0114+650. *Astronomy and Astrophysics*. — Vol. 311. — P.879-888. DOI: no doi
- Sander A.C., Fürst F., Kretschmar P., Oskinova L.M., Todt H., Hainich R., Shenar T., and Hamann W.-R. (2018) Coupling hydrodynamics with comoving frame radiative transfer. II. Stellar wind stratification in the high-mass X-ray binary Vela X-1. *Astronomy and Astrophysics*. — Vol. 610. — P.A60. DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201731575>
- Sidoli L. and Paizis A. (2018) An INTEGRAL overview of High-Mass X-ray Binaries: classes or transitions?. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — Vol. 481. — P.2779-2803. DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/sty2428>
- Shakura N.I., Postnov K.A., Kochetkova A.Y., and Hjalmarsdotter L. (2013) Quasispherical subsonic accretion in X-ray pulsars. *Physics Uspekhi*. — Vol. 56. — P.321-346. DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNe.0183.201304a.0337>



**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 60x88^{1/8}.

18,0 п.л. Заказ 4.