

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

2024 • 3



«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:

БЕНБЕРИН Валерий Васильевич, медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Президенті Іс Басқармасы Медициналық орталығының директоры (Алматы, Қазақстан), Н = 11

РЕДАКЦИЈАЛЫҚ АЛҚА:

РАМАЗАНОВ Тілекқабил Сәбитұлы, (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), Н = 26

РАМАНҚҰЛОВ Ерлан Мирхайдарұлы, (бас редактордың орынбасары), профессор, ҚР ҰҒА корреспондент-мүшесі, Ph.D биохимия және молекулалық генетика саласы бойынша Ұлттық биотехнология орталығының бас директоры (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 23

САНГ-СУ Квак, Ph.D (биохимия, агрохимия), профессор, Корей биоғылым және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIBB), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері, (Дэчон, Корея), Н = 34

БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Еуразия ұлттық университеті. Л.Н. Гумилев (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 12

ӘБИЕВ Руфат, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны онтайландыру» кафедрасының меңгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей), Н = 14

ЛЮКШИН Вячеслав Нотанович, медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «PERSONA» халықаралық клиникалық репродуктология орталығының директоры (Алматы, Қазақстан), Н = 8

СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич, биология ғылымдарының докторы, профессор, Чуваш республикасының еңбек сіңірген ғылым қайраткері, «Чуваш мемлекеттік аграрлық университеті» Федералдық мемлекеттік бюджеттік жоғары білім беру мекемесі Акушерлік және терапия кафедрасының меңгерушісі, (Чебоксары, Ресей), Н = 23

ФАРУК Асана Дар, Хамдар аль-Маджида Хамдард университетінің шығыс медицина факультеті, Шығыс медицинасы колледжінің профессоры, (Карачи, Пәкістан), Н = 21

ЩЕПЕТКИН Игорь Александрович, медицина ғылымдарының докторы, Монтана штаты университетінің профессоры (Монтана, АҚШ), Н = 27

КАЛАНДРА Пьетро, Ph.D (физика), нанокұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), Н = 26

МАЛЫМ Анна, фармацевтика ғылымдарының докторы, профессор, Люблин медицина университетінің фармацевтика факультетінің деканы (Люблин, Польша), Н = 22

БАЙМҰҚАНОВ Дастан Асылбекұлы, ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі, "Мал шаруашылығы және ветеринария ғылыми-өндірістік орталығы" ЖШС мал шаруашылығы және ветеринарлық медицина департаментінің бас ғылыми қызметкері (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 1

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), Н = 42

ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәліұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), Н = 7

БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 10

QUEVEDO Nemando, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), Н = 28

ЖҮСІПОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 7

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), Н = 5

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 5

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 10

ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 12

«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.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 29.07.2020 ж. берілген № КЗ93 ВРҰ00025418 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: өсімдік шаруашылығы, экология және медицина саласындағы биотехнология және физика ғылымдары.

Мерзімділігі: жылына 4 рет. Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28; 219 бөл.; тел.: 272-13-19

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

БЕНБЕРИН Валерий Васильевич, доктор медицинских наук, профессор, академик НАН РК, директор Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан (Алматы, Казахстан), Н = 11

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), Н = 26

РАМАНКУЛОВ Ерлан Мирхайдарвич, (заместитель главного редактора), профессор, член-корреспондент НАН РК, Ph.D в области биохимии и молекулярной генетики, Генеральный директор Национального центра биотехнологии (Нур-Султан, Казахстан), Н = 23

САНГ-СУ Квак, доктор философии (Ph.D, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB), (Дэчон, Корея), Н = 34

БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендерович, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Нур-Султан, Казахстан), Н = 12

АБНЕВ Руфат, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия), Н = 14

ЛЮКШИН Вячеслав Нотанович, доктор медицинских наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного клинического центра репродуктологии «PERSONA» (Алматы, Казахстан), Н = 8

СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Чувашской Республики, заведующий кафедрой морфологии, акушерства и терапии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (Чебоксары, Чувашская Республика, Россия), Н = 23

ФАРУК Асана Дар, профессор Колледжа восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет восточной медицины Университета Хамдарда (Карачи, Пакистан), Н = 21

ЦЕЛЕТКИН Игорь Александрович, доктор медицинских наук, профессор Университета штата Монтана (США), Н = 27

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), Н = 26

МАЛЫМ Анна, доктор фармацевтических наук, профессор, декан фармацевтического факультета Люблинского медицинского университета (Люблин, Польша), Н = 22

БАЙМУКАНОВ Дастанбек Асылбекович, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент НАН РК, главный научный сотрудник Департамента животноводства и ветеринарии (Нур-Султан, Казахстан), Н = 1

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), Н = 42

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), Н = 7

БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич, доктор Ph.D, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 10

QUEVEDO Hemando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), Н = 28

ЖУСУПОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 7

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), Н = 5

ТАКИБАЕВ Нургали Жабгаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 5

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстано-Британский технический университет (Алматы, Казахстан), Н = 10

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 12

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 о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № **KZ93VPY00025418**, выданное 29.07.2020 г.

Тематическая направленность: *биотехнология в области растениеводства, экологии, медицины и физические науки.*

Периодичность: 4 раз в год. Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28; ком. 219; тел. 272-13-19

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

EDITOR IN CHIEF:

BENBERIN Valery Vasilievich, Doctor of Medicine, Professor, Academician of NAS RK, Director of the Medical Center of the Presidential Property Management Department of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan), H = 11

EDITORIAL BOARD:

RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), H = 26

RAMANKULOV Erlan Mirkhaidarovich, (Deputy Editor-in-Chief), Professor, Corresponding Member of NAS RK, Ph.D in the field of biochemistry and molecular genetics, General Director of the National Center for Biotechnology (Nur-Sultan, Kazakhstan), H = 23

SANG-SOO Kwak, PhD in Biochemistry, Agrochemistry, Professor, Chief Researcher, Plant Engineering Systems Research Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), (Daecheon, Korea), H = 34

BERSIMBAEV Rakhmetkazhi Iskendirovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Nur-Sultan, Kazakhstan), H = 12

ABIYEV 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), H = 14

LOKSHIN Vyacheslav Notanovich, Professor, Academician of NAS RK, Director of the PERSONA International Clinical Center for Reproductology (Almaty, Kazakhstan), H = 8

SEMENOV Vladimir Grigorievich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Scientist of the Chuvash Republic, Head of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy, Chuvash State Agrarian University (Cheboksary, Chuvash Republic, Russia), H = 23

PHARUK Asana Dar, professor at Hamdard al-Majid College of Oriental Medicine. Faculty of Oriental Medicine, Hamdard University (Karachi, Pakistan), H = 21

TSHEPETKIN Igor Aleksandrovich, Doctor of Medical Sciences, Professor at the University of Montana (Montana, USA), H = 27

CALANDRA Pietro, PhD in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy), H = 26

MALM Anna, Doctor of Pharmacy, Professor, Dean of the Faculty of Pharmacy, Lublin Medical University (Lublin, Poland), H = 22

BAIMUKANOV Dastanbek Asylbekovich, Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the NAS RK, Chief Researcher of the department of animal husbandry and veterinary medicine, Research and Production Center for Livestock and Veterinary Medicine Limited Liability Company (Nur-Sultan, Kazakhstan), H=1

TIGHINEANU Ion Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician, Full Member of the Academy of Sciences of Moldova, President of the AS of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), H = 42

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), H = 7

BOSHKAYEV Kuantai Avgazievich, PhD, Lecturer, Associate Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 10

QUEVEDO Hemando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), H = 28

ZHUSSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 7

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician of NAS of Ukraine, Director of the State Institution «Institute of Applied Mathematics and Mechanics» DPR (Donetsk, Ukraine), H = 5

TAKIBAYEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 5

KHARIN Stanislav Nikolayevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), H = 10

DAVLETOV Askar Erbulanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 12

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. **KZ93VPY00025418**, issued 29.07.2020.

Thematic scope: *biotechnology in the field of crop research, ecology and medicine and physical sciences.*

Periodicity: 4 times a year. Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19

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

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC
OF KAZAKHSTAN

ISSN 2224-5227

Volume 3. Number 351 (2024), 47–56

<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.296>

UDC 520.88, MPHTH 41.51.41

**N. Ussipov, A. Akhmetali, M. Zaidyn, A. Akniyazova*, A. Sakan,
G. Subebekova**

Al-Farabi Kazakh National University, Department of Physics and Technology,
Almaty, Kazakhstan.

*E-mail: aigerimakniyazova@gmail.com

ENTROPY OF GRAVITATIONAL WAVES

Ussipov Nurzhan – Senior Lecturer, Department of Physics and Technology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; ussipov.nurzhan@kaznu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2512-3280>;

Akhmetali Almat- Student, Department of Physics and Technology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; akhmetali_almat@live.kaznu.kz, <https://orcid.org/0009-0005-7254-524X>;

Zaidyn Marat- Student, Department of Physics and Technology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; zaidyn_marat@live.kaznu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-8505-7277>;

Akniyazova Aigerim- Master of natural sciences, Senior lecturer, Department of Physics and Technology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; aigerimakniyazova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9185-3185>;

Sakan Aknur- Student, Department of Physics and Technology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; sakan_aknur@live.kaznu.kz, <https://orcid.org/0009-0001-8784-4470>;

Subebekova Gulnur - PhD, Associate Professor, Department of Physics and Technology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, gulnursubebekova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0790-7292>.

Abstract. Gravitational waves (GWs), the propagating perturbations within the structure of spacetime, provide a unique window into the dynamics of massive celestial objects and their cataclysmic events such as binary black hole (BBH), black hole – neutron star, binary neutron star (BNS) merger. While the detection and analysis of GWs have significantly advanced our understanding of the universe, the exploration of their information content, specifically their entropy, is not well studied and remains an intriguing avenue of research. This article presents an application of the concept of entropy to GWs and its implications for astrophysics. By using masses of the detected GW sources provided by open-source Gravitational Wave Open Science Center (GWOSC) and the PyCBC library, we generated GWs using different models and approximations. Specifically, we employed three different waveform models: IMRPhenomPv3, IMRPhenomPv2_

NRTidal, and IMRPhenomXPHM. After generating GWs with different models we investigated the relationship between entropy and the masses of GW sources. Besides varying values in different models, entropy nearly exponentially decreases while the total mass of the systems providing those GWs increases. Additionally, different waveform models demonstrated varying levels of entropy. This study opens avenues for further research on the underlying physics of GWs and their detection and classification methods.

Keywords: Gravitational waves, Information-entropy, Spectral entropy, Waveform models

The research was funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant No. AP14972411).

**Н. Усипов, А. Ахметәлі, М. Зайдын, А. Акниязова*, А. Сақан,
Г. Сүбебекова**

Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Физика-техникалық
факультет, Алматы, Қазақстан.

*E-mail: aigerimakniязova@gmail.com

ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ЭНТРОПИЯСЫ

Усипов Нұржан – Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің Физика-техникалық факультетінің аға оқытушысы, Алматы, Қазақстан; ussipov.nurzhan@kaznu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2512-3280>;

Ахметәлі Алматы – Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің Физика-техникалық факультетінің студенті, Алматы, Қазақстан; akhmetali_almat@live.kaznu.kz, <https://orcid.org/0009-0005-7254-524X>;

Зайдын Марат – Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің Физика-техникалық факультетінің студенті, Алматы, Қазақстан; zaidyn_marat@live.kaznu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-8505-7277>;

Акниязова Айгерим – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің Физика-техникалық факультетінің аға оқытушысы, Алматы, Қазақстан; aigerimakniязova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9185-3185>

Сақан Ақнұр – Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің Физика-техникалық факультетінің студенті, Алматы, Қазақстан; sakan_aknur@live.kaznu.kz, <https://orcid.org/0009-0001-8784-4470>;

Сүбебекова Гүлнұр – PhD, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің Физика-техникалық факультетінің доцент м. а., Алматы, Қазақстан; gulnursubebekova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0790-7292>.

Аннотация: Гравитациялық толқындар, кеңістік-уақыт құрылымы, үлкен аспан объектілерінің динамикасы және олармен байланысты апатты оқиғалар туралы ерекше түсінік береді. Гравитациялық толқындарды анықтау және талдау біздің ғалам туралы түсінігімізді айтарлықтай арттырғанымен, олардың ақпараттық мазмұнын, атап айтқанда олардың энтропиясын зерттеу қызықты бағыт болып қала береді. Бұл мақалада энтропия тұжырымдамасын

Гравитациялық толқындарға қолдану және оның астрофизикаға әсері келтірілген. Бұл зерттеу энтропия мен гравитациялық толқын көздерінің массасы арасындағы байланысты зерттеді. Нәтижелер тұрақты корреляцияны көрсетті: массасы жоғары көздер энтропияның төмен мәндерін көрсетті. Сонымен қатар, сигнал пішінінің әртүрлі үлгілері энтропияның әртүрлі деңгейлерін көрсетті. Бұл нәтижелер екілік жүйелер тудыратын гравитациялық сигналдардың күрделілігін көрсетеді және олардың ақпараттық мазмұны туралы түсінік береді.

Түйін сөздер: гравитациялық толқындар, ақпараттық-энтропиялық жүйе, спектрлік энтропия, толқындық модельдер

**Н. Усипов, А. Ахметәлі, М. Зайдын, А. Акниязова*, А. Сақан,
Г. Сүбебекова**

Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби, Физико-технический факультет, Алматы, Казахстан.

*E-mail: aigerimakniязова@gmail.com

ЭНТРОПИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

Усипов Нұржан – старший преподаватель физико-технического факультета Казахского национального университета имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан; ussipov.nurzhan@kaznu.kz , <https://orcid.org/0000-0002-2512-3280>;

Ахметәлі Алмат – студент физико-технического факультета Казахского национального университета имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан; akhmetali_almat@live.kaznu.kz , <https://orcid.org/0009-0005-7254-524X>;

Зайдын Марат – студент физико-технического факультета Казахского национального университета имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан; zaidyn_marat@live.kaznu.kz , <https://orcid.org/0009-0006-8505-7277>;

Акниязова Айгерим – магистр естественных наук, старший преподаватель физико-технического факультета Казахского национального университета имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан; aigerimakniязова@gmail.com , <https://orcid.org/0000-0002-9185-3185>;

Сақан Ақнур – студентка физико-технического факультета Казахского национального университета имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан; sakan_aknur@live.kaznu.kz , <https://orcid.org/0009-0001-8784-4470>;

Сүбебекова Гүлнұр – PhD, и. о. доцента физико-технического факультета Казахского национального университета имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан; gulfursubebekova@gmail.com , <https://orcid.org/0000-0002-0790-7292>.

Аннотация: г]равитационные волны (ГВ), структура пространства-времени, дают уникальное представление о динамике массивных небесных объектов и связанных с ними катастрофических события. В то время как обнаружение и анализ ГВ значительно продвинули наше понимание Вселенной, изучение их информационного содержания, в частности их энтропии, остается интригующим направлением исследований. В этой статье представлено применение концепции энтропии к ГВ и ее последствия для астрофизики. В этом исследовании изучалась взаимосвязь между энтропией

и массой источников гравитационных волн. Результаты показали устойчивую корреляцию, при этом источники с большей массой демонстрируют более низкие значения энтропии. Кроме того, различные модели формы волны продемонстрировали различные уровни энтропии. Эти результаты подчеркивают сложность гравитационных сигналов, генерируемых двойными системами, и дают представление об их информационном содержании.

Ключевые слова: гравитационные волны, информационно-энтропийная система, спектральная энтропия, волновые модели.

Исследование проводилось при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант No AP14972411).

Introduction. Since the LIGO collaboration first detected GW from the binary black hole merger (BBH) in 2015 GWs became one of the main fields of research in astronomy (Aasi, 2015; Abbott, 2016; Abbott 2017; Abbott 2016). These ripples in the fabric of spacetime carry valuable information about the universe's most energetic and dynamic events, such as the collision of black holes, the merger of neutron stars, and the early moments of cosmic inflation (Christensen, 2018). As scientists continue to detect and analyze GW signals, a growing interest has emerged in understanding the concept of entropy in these elusive cosmic phenomena.

Entropy, a fundamental concept in physics and information theory, quantifies the amount of disorder or information contained within a system. It provides valuable insights into various physical processes' complexity, randomness, and organization. Extending the notion of entropy to GWs opens exciting avenues for exploring their information content, shedding light on the intricate dynamics of astrophysical events and the nature of spacetime itself (Brustein, 2019).

The study of entropy in GWs carries significant theoretical and practical implications. By quantifying the entropy of GW signals, valuable insights can be gained into the physical properties of their sources, such as the mass, spin, and distance of the celestial objects involved (Belczynski K. 2002). Moreover, investigating the entropy of GWs makes it possible to develop new methods for detecting, classifying, and interpreting these signals (Zhanabaev, 2023). By analyzing the complexity and randomness of waveforms, one can discern different types of astrophysical events and enhance our ability to identify them amidst the noise.

Furthermore, understanding the entropy of GWs holds promise for deepening our understanding of the fundamental laws of physics. Entropy is intimately connected to concepts such as thermodynamics, quantum mechanics, and information theory (Vedral, 2002). By investigating the entropy of GWs, valuable insights can be obtained regarding the interplay between gravity and fundamental principles in physics. This interdisciplinary approach merges the study of gravity, astrophysics,

and information theory, providing a fertile ground for groundbreaking discoveries and transformative insights into the nature of spacetime and the cosmos.

This article uses an information-entropy-based approach to perform a numerical analysis of GWs. By employing this methodology, we aim to find possible correlations between the complexity of GWs and the physical properties of their sources. Through the examination of numerical results obtained from simulations employing various models, we seek to elucidate the factors contributing to the variations in entropy observed among different GW events (Isoyama, 2020).

In the subsequent sections of this article, we will outline our methodology for conducting numerical simulations of GW generation and the estimation of entropy. We will present and discuss our results, exploring the entropy variation among different GW events and investigating potential correlations between event characteristics and entropy levels. Finally, we will interpret our findings and discuss their implications, thereby contributing to the ongoing understanding of GW physics.

Methodology. GWs were generated using the PyCBC library, a widely used Python package for analyzing and simulating GW data. The PyCBC library provides a comprehensive set of tools and functions for modeling and simulating GW signals, allowing for accurate waveform generation based on theoretical models (Biver, 2019).

To simulate GW signals, the masses of the detected GW events were obtained from the Gravitational Wave Open Science Center (GWOSC), which serves as a repository for GW data and related information. The masses of the source objects involved in these events, such as black holes or neutron stars, were extracted from the available GWOSC data (Abbott, 2023).

By using masses of the detected events and the PyCBC library, we generated GWs using different models. Specifically, we employed three different waveform models: IMRPhenomPv3, IMRPhenomPv2_NRTidal, and IMRPhenomXPHM. These models incorporate different levels of complexity and approximations to accurately represent the GWs emitted by binary systems (Damour, 2008).

The IMRPhenomPv3 model is an enhancement over the IMRPhenomPv2 model, which itself is an improvement over the IMRPhenomD model (Khan S. 2016). These models are based on the inspiral, merger, and ringdown phases of binary black hole systems from the original IMRPhenomA model. IMRPhenomPv3 uses a double-spin rotation based on the description of precession dynamics, a more accurate description of the precession effect. IMRPhenomPv3 model also allows the study of the measurability of individual spins of binary black holes using gravitational waves and is one of the key models widely used in LIGO and Virgo data analysis (Ossokine, 2020).

The IMRPhenomPv2_NRTidal is the combination of the IMRPhenomPv2 model and tidal interaction with the NRTidal (Husa, 2016). The IMRPhenomPv2 are for precessing binaries, based on the nonprecessing IMRPhenomD models, and has a single precession spin. According to the paper NRTidal effect can be used on

any model, and the MRPhenomPv2_NRTidal modal should be the most used model considering the tidal effect (Dietrich, 2017).

The IMRPhenomXPHM model is designed to handle mixed binary systems, including black hole-neutron star binaries. It incorporates precession effects, allowing for a more accurate representation of the dynamics and waveforms of these mixed systems. The inclusion of minor harmonics and precession in the waveform model does not affect evaluation speed. This allows routine parameter estimation for many gravitational wave events without neglecting important features such as subprime harmonics and precession (Pratten, 2021).

We aimed to capture the diversity of astrophysical scenarios and sources that produce GWs by employing these different waveform models. This approach enabled us to explore the entropy variations in GW signals across a wide range of astrophysical contexts.

Entropy estimation. To quantify the entropy of the generated GW signals, we employed the spectral entropy estimation method. Spectral entropy is the Shannon entropy of the data's power spectral density (PSD) (Baron, 2003).

After generating the GW waveforms using the PyCBC library and the selected waveform models, we performed a Fourier transform on the time-domain data to obtain the frequency-domain representation of the signals. This transformation allowed us to analyze the waveforms in terms of their frequency components and power spectra (Khan, 2019).

Using the frequency-domain data, we calculated the PSD of the GW signals. The PSD represents the distribution of power across different frequency components of the waveforms.

Next, we applied the spectral entropy estimation formula to calculate the entropy of the GW signals. The spectral entropy ($H(x, sf)$) is defined as:

$$H(x, sf) = -\sum_{f=0}^{\frac{f}{2}} P(f) \log_2[P(f)] \quad (1)$$

where x is 1D or N-D data, P is the normalized PSD, and sf is the sampling frequency. The formula computes the Shannon entropy for each frequency bin and sums them to obtain the overall spectral entropy of the GW signals.

Results. This section presents the key findings from our analysis, which includes examining the distribution of masses for the detected GW events, assessing the differences and similarities in the waveforms generated by selected models, and calculating the spectral entropy of the GW signals.

We investigated the distribution of masses for the sources of the GW events (Fig. 1). By constructing a histogram, we visualized the distribution and observed that the masses spanned a wide range of values. For binary black hole merger events, there was a peak in the mass distribution ($35.6 M_{\odot}$ and $7.7 M_{\odot}$), indicating a preferred mass configuration for these systems.

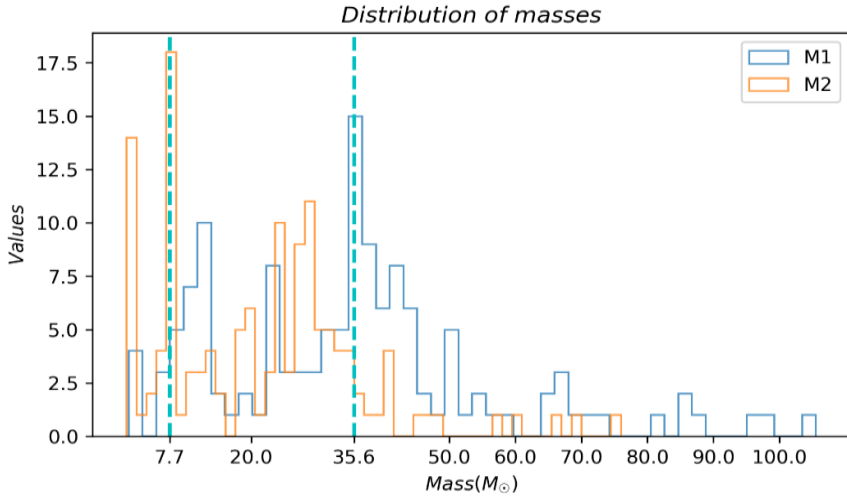


Fig. 1. Distribution of masses of the GW events

Fig. 2 represents waveforms generated by different models. By utilizing the IMRPhenomPv3, IMRPhenomPv2_NRTidal, and IMRPhenomXPHM models, we aimed to capture the diversity of astrophysical scenarios and sources.

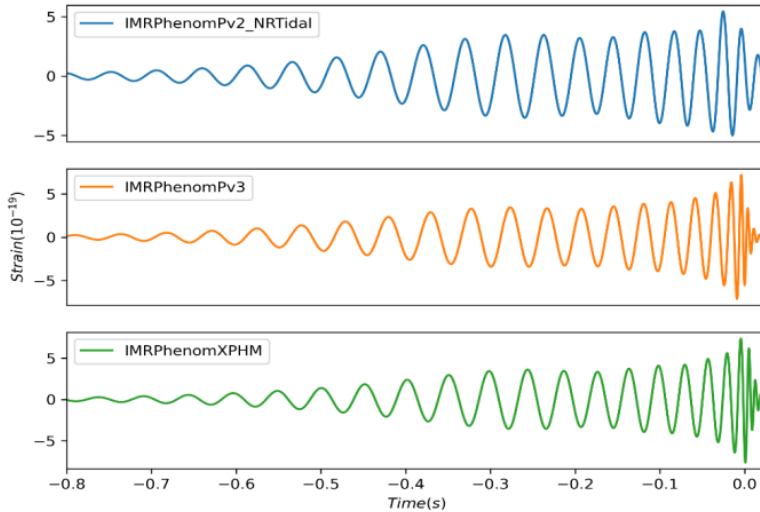


Fig. 2. GW170823 event with different models ($85 M_{\odot}$ and $20 M_{\odot}$)

According to Fig. 3 tested models have revealed distinct patterns in their entropy levels.

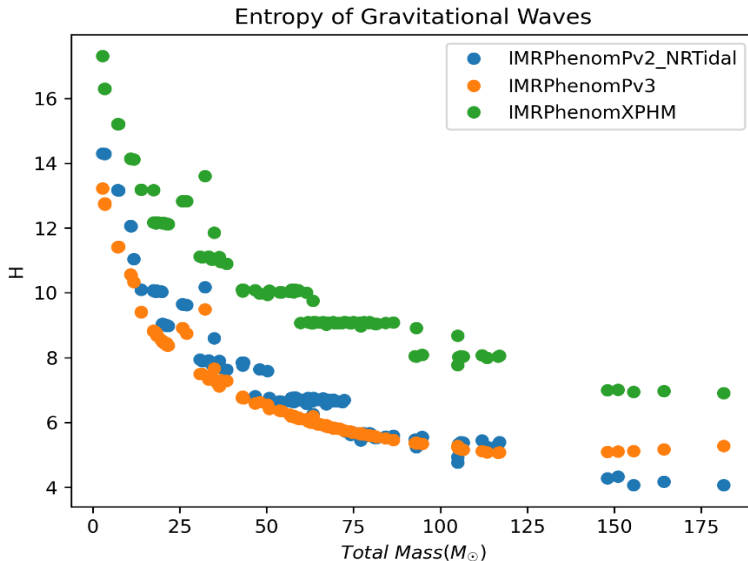


Fig. 3. Distribution of entropy concerning the total mass of the GW sources

IMRPhenomXPHM consistently displayed the highest entropy values among the models investigated, indicating a higher degree of disorder or information content in its GW signals. This result suggests that including precession effects and handling mixed binary systems in the IMRPhenomXPHM model contribute to the increased complexity and unpredictability of the generated waveforms.

Following IMRPhenomXPHM, the IMRPhenomPv2_NRTidal model exhibited the second-highest entropy levels. This finding suggests that the inclusion of tidal effects increases the complexity of the waveform model as it involves additional calculations and numerical simulations to capture the physical properties of the system.

Interestingly, the IMRPhenomPv3 model demonstrated lower entropy values compared to IMRPhenomPv2_NRTidal. This observation may be attributed to the inclusion of additional NRTidal effects in IMRPhenomPv2_NRTidal, leading to more complex or unpredictable behavior of the waveforms from precessing binary black hole systems, despite the IMRPhenomPv3 model using double-spin rotation comparing to single spin in IMRPhenomPv2_NRTidal.

Besides varying entropy in different models, it can be seen that entropy is near exponentially decreases while the total mass of the systems providing those GWs increases. It happens because at lower masses, the spectrum band of the GW signal is wider, and it contains more information.

Conclusion. In summary, this study investigated the relationship between entropy and the mass of gravitational wave sources. The results showed a consistent

correlation, with higher mass sources exhibiting lower entropy values. Additionally, different waveform models demonstrated varying levels of entropy. These findings highlight the complexity of gravitational waveforms generated by binary systems and provide insights into their information content. This study opens avenues for further research on the underlying physics of GWs and their detection and classification methods.

References

- Aasi, J., Abbott, B. P., Abbott, R., Abbott, T., Abernathy, M. R., Ackley, K., ... & DeSalvo, R. (2015). Advanced ligo. Classical and quantum gravity, 32(7), 074001. doi:10.1088/0264-9381/32/7/074001.
- Abbott, B. P., Abbott, R., Abbott, T. D., Abernathy, M. R., Acernese, F., Ackley, K., ... & Chamberlin, S. J. (2016). GW151226: observation of gravitational waves from a 22-solar-mass binary black hole coalescence. *Physical review letters*, 116(24), 241103. doi: 10.1103/PhysRevLett.116.241103
- Abbott, B. P., Abbott, R., Abbott, T., Acernese, F., Ackley, K., Adams, C., ... & Cahillane, C. (2017). GW170817: observation of gravitational waves from a binary neutron star inspiral. *Physical review letters*, 119(16), 161101. doi: 10.1103/PhysRevLett.119.161101
- Abbott, Benjamin P., et al. (2016) Observation of gravitational waves from a binary black hole merger. *Physical review letters* 116.6: 061102. doi:10.1103/PhysRevLett.116.061102
- Abbott, R., et al. (2023) Open data from the third observing run of LIGO, Virgo, KAGRA and GEO. *arXiv preprint arXiv:2302.03676*. doi:https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.03676
- Baron Fourier J B J. (2003), The analytical theory of heat. *Courier Corporation*, doi: 10.1017/CBO9780511693205
- Belczynski, Krzysztof, Vassiliki Kalogera, and Tomasz Bulik. (2002) A comprehensive study of binary compact objects as gravitational wave sources: evolutionary channels, rates, and physical properties. *The Astrophysical Journal* 572.1: 407. doi:10.1086/340304
- Biwer, Christopher Michael, et al. (2019) PyCBC Inference: A Python-based parameter estimation toolkit for compact binary coalescence signals. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 131.996: 024503. doi:10.1088/1538-3873/aaef0b
- Brustein, Ram, Allan JM Medved, and Kent Yagi. (2019) Lower limit on the entropy of black holes as inferred from gravitational wave observations. *Physical Review D* 100.10: 104009. doi:10.1103/PhysRevD.100.104009
- Christensen, Nelson. (2018) Stochastic gravitational wave backgrounds. *Reports on Progress in Physics* 82.1: 016903. doi:10.1088/1361-6633/aae6b5
- Damour T. (2008) Introductory lectures on the Effective One Body formalism[J]. *International Journal of Modern Physics A*, 23(08): 1130-1148. doi:10.1142/S0217751X08039992
- Dietrich T, Bernuzzi S, (2017), Tichy W. Closed-form tidal approximants for binary neutron star gravitational waveforms constructed from high-resolution numerical relativity simulations[J]. *Physical Review D*, 96(12): 121501. doi:10.1103/PhysRevD.96.121501
- Husa S, Khan S, Hannam M, et al. (2016), Frequency-domain gravitational waves from nonprecessing black-hole binaries. I. New numerical waveforms and anatomy of the signal[J]. *Physical Review D*, 93(4): 044006. doi:10.1103/PhysRevD.93.044007
- Isoyama, Soichiro, Riccardo Sturani, and Hiroyuki Nakano. (2020) Post-Newtonian templates for gravitational waves from compact binary inspirals. *Handbook of Gravitational Wave Astronomy*: 1-49. doi:10.1007/978-981-15-4702-7_31-1
- Khan S, Chatziioannou K, Hannam M, et al. (2019), Phenomenological model for the gravitational-wave signal from precessing binary black holes with two-spin effects. *Physical Review D*, 100(2): 024059. doi: 10.1103/PhysRevD.100.024059
- Khan, Sebastian, et al. (2016) Frequency-domain gravitational waves from nonprecessing black-hole binaries. II. A phenomenological model for the advanced detector era. *Physical Review D* 93.4: 044007. doi:10.1103/PhysRevD.93.044007

Ossokine, Serguei, et al. (2020) Multipolar effective-one-body waveforms for precessing binary black holes: Construction and validation. *Physical Review D* 102.4: 044055. doi:10.1103/PhysRevD.102.044055

Pratten, Geraint, et al. (2021), Computationally efficient models for the dominant and subdominant harmonic modes of precessing binary black holes. *Physical Review D* 103.10: 104056. doi:10.1103/PhysRevD.103.104056

Vedral, Vlatko. (2002) The role of relative entropy in quantum information theory. *Reviews of Modern Physics* 74.1: 197. doi:10.1103/RevModPhys.74.197

Zhanabaev Z., Ussipov N. (2023) Information-entropy method for detecting gravitational wave signals. *Eurasian Physical Technical Journal*. Doi: 10.31489/2023NO2/79-86

CONTENTS

PHYSICAL

- B.Zh. Abdikarimov, A.Zh. Seitmuratov, Z.A. Ergalauova**
MATHEMATICAL MODELS OF RELAXATION TIMES OF
INHOMOGENEOUS LIQUIDS ALONG CRITICAL DIRECTIONS.....5
- E.A. Dmitriyeva, E.A. Bondar, I.A. Lebedev, K.K. Yelemessov,
A.E. Kemelbekova**
ANTI-REFLECTIVE COATINGS BASED ON TIN OXIDE.....16
- A.A. Zhadyranova, U. Ismail, Zh. Beisekeyeva, G. Bekova, U. Ualikhanova,**
STUDY OF THE FREEZING QUINTESENCE OF LATE-TIME SPACE
EXPANSION IN F (R, L_m) GRAVITY.....26
- N. Ussipov, A. Akhmetali, M. Zaidyn, A. Akniyazova, A. Sakan,
G. Subebekova**
ENTROPY OF GRAVITATIONAL WAVES.....47

CHEMISTRY

- A.Z. Abilmagzhanov, N.S. Ivanov, I. E. Adelbayev, O.S. Kholkin**
DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR THE PURIFICATION
OF ALKANOLAMINE SOLUTIONS.....57
- A. Auyeshov, K. Arynov, A. Dikanbayeva, A. Tasboltayeva**
INTERACTION OF SERPENTINITE FROM THE ZHITIKARA DEPOSIT
WITH STOICHIOMETRIC AMOUNT OF SULFURIC ACID.....70
- A.S. Dauletbayev, K.A. Kadirbekov, S.O. Abilkasova, L.M. Kalimoldina,
Zh.S. Mukhatayeva**
PURIFICATION OF WASTE SOLUTIONS GENERATED DURING
URANIUM PRODUCTION WITH POLYMER FLOCCULANTS.....83
- L.D. Volkova, N.A. Zakarina, O.K. Kim, A.K. Akurpekova, A.V.
Gabdrakipov, T.V.Kharlamova**
INFLUENCE OF MODIFICATION OF KAOLINITES BY ALUMINUM
OXIDE ON THE CRACKING ACTIVITY OF PETROLEUM RESIDUE.....96
- Zh. Kairbekov, T.Z. Akhmetov, M.Z. Esenalieva, I.M. Dzheldybaeva,
S.M. Suimbayeva, M.Zh. Zhomart**
SELECTIVE HYDROGENATION OF ISOPRENE, PIPERYLENE AND THEIR
MIXTURES ON SKELETAL NICKEL CATALYSTS.....108

**A.K. Toktabayeva, R.K. Rakhmetullaeva, G.S. Irmukhamedova,
G.O. Rvaidarova, G.D. Issenova**

STUDY OF THE PHYSIC-CHEMICAL PROPERTIES OF
THERMOSENSITIVE COPOLYMERS BASED ON POLYETHYLENE
GLYCOL.....122

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

Б.Ж. Абдикаримов, А.Ж. Сейтмуратов, З.А. Ергалауова
БІРТЕКТІ ЕМЕС СҰЙЫҚТАРДЫҢ КРИТИКАЛЫҚ БАҒЫТТАР
БОЙЫНДАҒЫ РЕЛАКСАЦИЯ УАҚЫТЫ БОЙЫНША МАТЕМАТИКАЛЫҚ
МОДЕЛЬДЕРІ.....5

**Е.А. Дмитриева, Е.А. Бондарь, И.А. Лебедев, К.К. Елемесов,
А.Е. Кемелбекова**
ҚАЛАЙЫ ОКСИДІ НЕГІЗІНДЕГІ ШАҒЫЛЫСТЫРУҒА ҚАРСЫ
ЖАБЫҢДАР.....16

**А.А. Жадыранова, У. Исмаил, Ж.М. Бейсекеева, Г.Т. Бекова,
У.А. Уалиханова**
 $F(R, L_m)$ ГРАВИТАЦИЯДАҒЫ КЕШ ҒАРЫШТЫҚ КЕҢЕЮДІҢ
МҰЗДАТЫЛҒАН КВИНТЕССЕНЦИЯСЫН ЗЕРТТЕУ.....26

**Н. Усипов, А. Ахметәлі, М. Зайдын, А. Акниязова, А. Сақан,
Г. Сүбебекова**
ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ЭНТРОПИЯСЫ.....47

ХИМИЯ

А.З. Абилямжанов, Н.С. Иванов, И.Е. Адельбаев, О.С. Холкин
АЛКАНОЛАМИН ЕРІТІНДІЛЕРДІ ТАЗАЛАУДЫҢ
АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ.....57

А. Ауешов, К. Арынов, А. Диканбаева, А. Тасболтаева
«ЖІТІҚАРА» КЕНОРНЫНЫҢ СЕРПЕНТИНИТІНІҢ КҮКІРТ
ҚЫШҚЫЛЫНЫҢ СТЕХИОМЕТРИЯЛЫҚ МӨЛШЕРІМЕН
ӘРЕКЕТТЕСУІ.....70

**Ә.С. Дәулетбаев, К.А. Кадирбеков, С.О. Абилкасова,
Л.М. Калимолдина, Ж.С. Мұқатаева**
УРАН ӨНДІРУ БАРЫСЫНДА ТҮЗІЛЕТІН ҚАЙТАРЫМДЫ
ЕРІТІНДІЛЕРДІ ПОЛИМЕРЛІ ФЛОКУЛЯНТТАРМЕН ТАЗАЛАУ.....83

**Л.Д. Волкова, Н.А. Закарина, О.К. Ким, А.К. Акурпекова,
А.В. Габдракипов Т.В.Харламова**
КАОЛИНИТТЕРДІ АЛЮМИНИЙ ОКСИДІМЕН ТҮРЛЕНДІРУДІҢ
ҚАЛДЫҚ МҰНАЙ ҚОРЫМДАРЫНЫҢ КРЕКИНГТЕГІ
БЕЛСЕНДІЛІККЕ ӘСЕРІ.....96

**Ж. Каирбеков, Т.З.Ахметов, М.З. Есеналиева, И.М. Джелдыбаева,
С. М. Суймбаева, М.Ж. Жомарт**
ИЗОПРЕНДІ, ПИПЕРИЛЕНДІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҚОСПАЛАРЫН
ҚАҢҚАЛЫ НИКЕЛЬ КАТАЛИЗАТОРЛАРЫНДА ТАЛҒАМПАЗДЫ
ГИДРЛЕУ.....108

**А.Қ. Тоқтабаева, Р.Қ. Рахметуллаева, Г.С. Ирмухаметова,
Г.О. Рвайдарова, Г.Д. Исенова**
ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ НЕГІЗІНДЕГІ СОПОЛИМЕРДІҢ
ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ.....122

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

Б.Ж. Абдикаримов, А.Ж. Сейтмуратов, З.А. Ергалауова
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВРЕМЕН РЕЛАКСАЦИИ
НЕОДНОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ВДОЛЬ КРИТИЧЕСКИХ
НАПРАВЛЕНИЙ.....5

**Е.А. Дмитриева, Е.А. Бондарь, И.А. Лебедев, К.К. Елемесов,
А.Е. Кемелбекова**
АНТИОТРАЖАЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ОЛОВА.....16

**А.А. Жадыранова, У. Исмаил, Ж.М. Бейсекеева, Г.Т. Бекова, У.А.
Уалиханова**
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАМОРОЖЕННОЙ КВИНТЭССЕНЦИИ ПОЗДНЕГО
КОСМИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ В $F(R, L_m)$ ГРАВИТАЦИИ.....26

**Н. Усипов, А. Ахметәлі, М. Зайдын, А. Акниязова*, А. Сақан,
Г. Сүбебекова**
ЭНТРОПИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН.....47

ХИМИЯ

А.З. Абиьлмагжанов, Н.С. Иванов, И.Е. Адельбаев, О.С. Холкин
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ
РАСТВОРОВ АЛКАНОЛАМИНОВ.....57

А. Ауешов, К. Арынов, А. Диканбаева, А. Тасболтаева
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СЕРПЕНТИНИТА МЕСТОРОЖДЕНИЯ
"ЖИТИКАРА" СО СТЕХИОМЕТРИЧЕСКИМ КОЛИЧЕСТВОМ
СЕРНОЙ КИСЛОТЫ.....70

**А.С. Даулетбаев, К.А. Кадирбеков, С.О. Абилкасова, Л.М. Калимолдина,
Ж.С.Мукатаева**
ОЧИСТКА ОБОРОТНЫХ РАСТВОРОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ
ПРОИЗВОДСТВЕ УРАНА ПОЛИМЕРНЫМИ ФЛОКУЛЯНТАМИ.....83

**Л.Д. Волкова, Н.А. Закарина, О.К. Ким, А.К. Акурпекова,
А.В. Габдракипов, Т.В.Харламова**
ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ КАОЛИНИТОВ ОКСИДОМ
АЛЮМИНИЯ НА АКТИВНОСТЬ В КРЕКИНГЕ ОСТАТОЧНОГО
НЕФТЯНОГО СЫРЬЯ.....96

**Ж. Каирбеков, Т.З. Ахметов, М.З. Есеналиева, И. М. Джелдыбаева,
С.М. Суймбаева*, М.Ж. Жомарт**
СЕЛЕКТИВНОЕ ГИДРИРОВАНИЕ ИЗОПРЕНА, ПИПЕРИЛЕНА И ИХ
СМЕСЕЙ НА СКЕЛЕТНЫХ НИКЕЛЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ.....108

**А.К. Токтабаева, Р.К. Рахметуллаева, Г.С. Ирмухаметова, Г.О. Рвайдарова,
Г.Д. Исенова**
ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОПОЛИМЕРОВ
НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ.....122

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 12.12.2023.

Формат 60x88¹/₈. Бумага офсетная. Печать - ризограф.

9,0 п.л. Тираж 300. Заказ 3.

*РОО «Национальная академия наук РК» 050010,
Алматы, ул. Шевченко, 28, т. 272-13-19*