

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

2024 • 2



ҚАЙЫРЫМДЫЛЫҚ ҚОРЫ

**HALYK**

CHARITY FOUNDATION

«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ  
«ХАЛЫҚ» ЖҚ

# БАЯНДАМАЛАРЫ

## ДОКЛАДЫ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН»  
ЧФ «ХАЛЫҚ»

## REPORTS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
«Halyk» Private Foundation

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK



## ЧФ «ХАЛЫҚ»

В 2016 году для развития и улучшения качества жизни казахстанцев был создан частный Благотворительный фонд «Халык». За годы своей деятельности на реализацию благотворительных проектов в областях образования и науки, социальной защиты, культуры, здравоохранения и спорта, Фонд выделил более 45 миллиардов тенге.

Особое внимание Благотворительный фонд «Халык» уделяет образовательным программам, считая это направление одним из ключевых в своей деятельности. Оказывая поддержку отечественному образованию, Фонд вносит свой посильный вклад в развитие качественного образования в Казахстане. Тем самым способствуя росту числа людей, способных менять жизнь в стране к лучшему – профессионалов в различных сферах, потенциальных лидеров и «великих умов». Одной из значимых инициатив фонда «Халык» в образовательной сфере стал проект *Ozgeris powered by Halyk Fund* – первый в стране бизнес-инкубатор для учащихся 9-11 классов, который помогает развивать необходимые в современном мире предпринимательские навыки. Так, на содействие малому бизнесу школьников было выделено более 200 грантов. Для поддержки талантливых и мотивированных детей Фонд неоднократно выделял гранты на обучение в Международной школе «Мирас» и в *Astana IT University*, а также помог казахстанским школьникам принять участие в престижном конкурсе «*USTEM Robotics*» в США. Авторские работы в рамках проекта «Тәлімгер», которому Фонд оказал поддержку, легли в основу учебной программы, учебников и учебно-методических книг по предмету «Основы предпринимательства и бизнеса», преподаваемого в 10-11 классах казахстанских школ и колледжей.

Помимо помощи школьникам, учащимся колледжей и студентам Фонд считает важным внести свой вклад в повышение квалификации педагогов, совершенствование их знаний и навыков, поскольку именно они являются проводниками знаний будущих поколений казахстанцев. При поддержке Фонда «Халык» в южной столице был организован ежегодный городской конкурс педагогов «*Almaty Digital Ustaz*».

Важной инициативой стал реализуемый проект по обучению основам финансовой грамотности преподавателей из восьми областей Казахстана, что должно оказать существенное влияние на воспитание финансовой грамотности и предпринимательского мышления у нового поколения граждан страны.

Необходимую помощь Фонд «Халык» оказывает и тем, кто особенно остро в ней нуждается. В рамках социальной защиты населения активно проводится работа по поддержке детей, оставшихся без родителей, детей и взрослых из социально уязвимых слоев населения, людей с ограниченными возможностями, а также обеспечению нуждающихся социальным жильем, строительству социально важных объектов, таких как детские сады, детские площадки и физкультурно-оздоровительные комплексы.

В копилку добрых дел Фонда «Халык» можно добавить оказание помощи детскому спорту, куда относится поддержка в развитии детского футбола и карате в нашей стране. Жизненно важную помощь Благотворительный фонд «Халык» оказал нашим соотечественникам во время недавней пандемии COVID-19. Тогда, в разгар тяжелой борьбы с коронавирусной инфекцией Фонд выделил свыше 11 миллиардов тенге на приобретение необходимого медицинского оборудования и дорогостоящих медицинских препаратов, автомобилей скорой медицинской помощи и средств защиты, адресную материальную помощь социально уязвимым слоям населения и денежные выплаты медицинским работникам.

В 2023 году наряду с другими проектами, нацеленными на повышение благосостояния казахстанских граждан Фонд решил уделить особое внимание науке, поскольку она является частью общественной культуры, а уровень ее развития определяет уровень развития государства.

Поддержка Фондом выпуска журналов Национальной Академии наук Республики Казахстан, которые входят в международные фонды Scopus и Wos и в которых публикуются статьи отечественных ученых, докторантов и магистрантов, а также научных сотрудников высших учебных заведений и научно-исследовательских институтов нашей страны является не менее значимым вкладом Фонда в развитие казахстанского общества.

**С уважением,  
Благотворительный Фонд «Халык»!**

Б А С Р Е Д А К Т О Р :

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

Р Е Д А К Ц И Я Л Ы Қ А Л Қ А :

**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 Хамдар 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

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

**КАЛИМОЛДАЕВ 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 Hernando**, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), Н = 28

**ЖУСНОВ 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 № КЗ93VPY00025418 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, Казахстанско-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

**RAMANKULOVA 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>

© **D.M. Nassirova**<sup>1</sup>, **V.O. Kurmangaliyeva**<sup>2</sup>, **A.A. Gazizova**<sup>1\*</sup>, 2024

<sup>1</sup>Kazakh National Pedagogical University named after Abay, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Kazakh National University named after al-Farabi, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: askarkyzy\_94@mail.ru

## SOURCES OF ENERGY IN COMPACT STARS

**D.M. Nassirova** — Doctor PhD (Physics), department of Physics KazNPU named Abay; Almaty, Kazakhstan

E-mail: diana-nasirova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3349-0128>;

**V.O. Kurmangaliyeva** — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, department of theoretical and nuclear physics KazNU named Al-Farabi; Almaty, Kazakhstan

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

**A.A. Gazizova** — doctoral student (Physics), department of Physics KazNPU named Abay; Almaty, Kazakhstan

E-mail: askarkyzy\_94@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4849-5118>.

**Abstract.** The problems of stellar evolution remain topical in astrophysics. The processes occurring in matter at all stages of stellar evolution hold many mysteries. One of them is the source of radiation energy in compact stars. The work is devoted to some features of such stars, and calculations are presented on the example of white dwarfs. The peculiarities of the internal structure of white dwarfs, nuclear crystal and peculiarities of the process of crystallization of stellar matter as one of the sources of energy are con-sidered. The second source of energy is considered to be the process of matter flowing from one object to another — accretion. We give a numerical comparative estimate of the magnitude of the released energy during the falling of matter on the surface and during thermonuclear combustion of hydrogen. For compact stars, in particular, white dwarfs, the characteristics of matter are determined by the properties of a degenerate electron gas (fermi gas). The pressure of the degenerate gas contributes to the processes necessary for the stability of white dwarfs. The degenerate state of matter occurs at extreme states inherent in compact stellar objects. In this case it is a nuclear crystal, when the electron shells are “generalized” under the action of high pressure and high density. This is a case, in which the electron shells of a nuclear crystal are “socialized” by pressure and high den-sity. Since white dwarfs are deprived of their own thermonuclear energy sources, they radiate at the expense of heat reserves contained in the matter of the star. The sources of radiation and energy also play an important role in the theory of stellar stability. In this connection, the study of the processes occurring in compact stars is important for deter-mining the properties of matter for fundamental physics.

**Keywords:** superdense stars, crystallization energy, degenerate gas, accretion, nuclear crystal

© Д.М. Насирова<sup>1</sup>, В.О. Курмангалиева<sup>2</sup>, А.А. Ғазизова<sup>1\*</sup>, 2024

<sup>1</sup>Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: askarkyzy\_94@mail.ru

## ШАҒЫН ЖҰЛДЫЗДАРДАҒЫ ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІ

**Д.М. Насирова** — PhD докторы (физика), Абай атындағы ҚазҰПУ-дың физика кафедрасы; Алматы, Қазақстан

E-mail: diana-nasirova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3349-0128>;

**В.О. Курмангалиева** — физика-математика ғылымдарының кандидаты, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-дың теориялық және ядролық физика кафедрасы; Алматы, Қазақстан

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

**А.А. Ғазизова** — Абай атындағы ҚазҰПУ, физика кафедрасының докторанты (физика); Алматы, Қазақстан

E-mail: askarkyzy\_94@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4849-5118>.

**Аннотация.** Астрофизикадағы жұлдыздар эволюциясының мәселелері бүгінгі таңда өте өзекті болып отыр. Жұлдыздық эволюцияның барлық кезеңдерінде материяда болатын процестер көптеген құпияларды жасырады. Соның бірі – ықшам жұлдыздардағы сәулелену энергиясының көзі. Мақала ықшам жұлдыздардың кейбір ерекшеліктеріне арналып, ақ ергежейлілерді мысалға ала отырып, есептеулер берілген. Ақ ергежейлілердің ішкі құрылымының ерекшеліктері, ядролық кристалл және энергия көздерінің бірі ретінде жұлдызды заттың кристалдану процесінің ерекшеліктері қарастырылады. Екінші энергия көзі бір заттың екінші объектіге — аккрецияға ағу процесін қарастырады. Аспан денесінің бетіне зат түскенде және сутегінің термоядролық жануы кезінде бөлінетін энергия мөлшерінің сандық салыстырмалы бағалаулары келтірілген. Ықшам жұлдыздар, атап айтқанда ақ ергежейлілер үшін заттың сипаттамалары азғындалған электрон газының (Ферми газы) қасиеттерімен анықталады. Азғындалған газдың қысымы ақ ергежейлілердің тұрақтылығы үшін қажетті процестерге ықпал етеді. Заттың азғындалған күйі ықшам жұлдызды объектілерге тән экстремалды күйлерде болады. Бұл жағдайда біз жоғары тығыздық пен қатты қысымның әсерінен электронды қабықшалар «жалпыланған» кезіндегі ядролық кристалл туралы айтып өттік. Ақ ергежейлілердің өздерінің термоядролық энергия көздері болмағандықтан, олар жұлдыз заттарындағы жылу қорынан сәуле шығарады. Сәуле шығару және энергия көздері жұлдыздардың тұрақтылық теориясында да маңызды рөл атқарады. Осыған байланысты ықшам жұлдыздарда болатын процестерді зерттеу материяның қасиеттерін анықтауда іргелі физика үшін маңызды болып саналады.

**Түйін сөздер:** аса тығыз жұлдыздар, кристалдану энергиясы, азғындалған газ, аккреция, ядролық кристалл

© Д.М. Насирова<sup>1</sup>, В.О. Курмангалиева<sup>2</sup>, А.А. Газизова<sup>1\*</sup>, 2024

<sup>1</sup>Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан.  
E-mail: askarkyzy\_94@mail.ru

## ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В КОМПАКТНЫХ ЗВЕЗДАХ

*Д.М. Насирова* — доктор PhD (физики), кафедра физики КазНПУ им. Абая; Алматы, Казахстан

E-mail: diana-nasirova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3349-0128>;

*В.О. Курмангалиева* — кандидат физико-математических наук, кафедра теоретической и ядерной физики КазНУ им. аль-Фараби; Алматы, Казахстан

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

*А.А. Газизова* — докторант (физики), кафедра физики КазНПУ имени Абая; Алматы, Казахстан

E-mail: askarkyzy\_94@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4849-5118>.

**Аннотация.** Проблемы эволюции звезд в астрофизике остаются актуальными. Процессы, протекающие в материи на всех этапах звездной эволюции, кроют в себе немало загадок, одна из которых является источником энергии излучения в компактных звездах. Работа посвящена некоторым особенностям таких звезд, расчеты представлены на примере белых карликов. Рассмотрены особенности внутреннего строения белых карликов, ядерный кристалл и особенности протекания процесса кристаллизации звездного вещества как один из источников энергии. Вторым источником энергии рассматривается процесс перетекания вещества одного объекта во второе – аккреция. Дается численная сравнительная оценка величины выделяемой энергии при падении вещества на поверхность и при термоядерном горении водорода. Для компактных звезд, в частности, белых карликов характеристики вещества определяются свойствами вырожденного электронного газа (ферми-газа). Давление вырожденного газа дает вклад в процессы, необходимые для устойчивости белых карликов. Вырожденное состояние вещества наступает при экстремальных состояниях, присущих компактным звездным объектам. В этом случае речь идет о ядерном кристалле, когда электронные оболочки «обобществляются» под действием высокого давления и высокой плотности. Поскольку белые карлики лишены собственных термоядерных источников энергии, то они излучают за счёт запасов тепла, содержащегося в материи звезды. Источники излучения и энергии играют важную роль также и в теории устойчивости звезд. В связи с этим изучение процессов, протекающих в компактных звездах, важно для определения свойств вещества для фундаментальной физики.

**Ключевые слова:** сверхплотные звезды, энергия кристаллизации, вырожденный газ, аккреция, ядерный кристалл

## Введение

Согласно теории об эволюции звезд, в начальный период своей жизни белый карлик считается не таким уж и холодным, с температурами порядка  $10^7$  К. Вещество белого карлика представляет собой вырожденный электронный газ, который практически не зависит от температуры (Sharigo & Teukolsky, 1983; Bombaci, 1996). Наш анализ будет касаться существования ядерной кристаллической решетки. Если звезда достаточно «горячая» и её температура  $T$  больше некоторой  $T_{пл}$ , то можно утверждать, что никакой кристаллической решетки в этом случае не существует. В этом случае ядра «растворены» в вырожденной Ферми-жидкости.

В белых карликах электроны обобществлены, а «голые» ядра образуют кристаллическую структуру. Каждое ядро может колебаться около положения равновесия в своей ячейке, и размеры ячейки определяются равенством сил электрического отталкивания положительно заряженных ядер и сил притяжения к газу отрицательно заряженных электронов. Электронный газ в белых карликах сжат тяготением всего вещества, и его концентрация значительно выше, чем в обычных металлах (Haensel & Potekhin, 2007). Таким образом, белый карлик представляет собой шар, построенный из кристаллической решетки ядер и вырожденного электронного газа, для которых характерна высокая упорядоченность энергетического распределения частиц. В центре плотность достигает  $10^6$  г/см<sup>3</sup>, а во внешних слоях  $10^3$  г/см<sup>3</sup>. Температура внутри белого карлика считается почти постоянной благодаря высокой теплопроводности вырожденного электронного газа (Yakovlev, 2016; Шварцшильд, 2019).

Электронный вырожденный газ не может излучать энергию. Чтобы излучить энергию, электрон должен перейти из одного энергетического состояния в более низкое, но все возможные состояния уже заняты. Ядра решетки, напротив, могут переходить из одного состояния в другое, излучая кванты света и поддерживая таким образом температуру белого карлика (Lattimer & Prakash, 2004; Takibaev, 2013; Takibayev & Kurmangaliyeva, 2020).

Излучая энергию, ядра решетки постепенно охлаждаются. Темп охлаждения белого карлика зависит от типа ядер в решетке — если речь идет о тяжелых ядрах, охлаждение происходит быстрее. Например, для решетки из ядер гелия время охлаждения может составлять около двух миллиардов лет. Когда температура белого карлика падает ниже  $T < T_{пл}$ , ядра образуют кристаллическую решетку (Брук, 2018). Как и в случае обычных кристаллов, процесс образования ядерной решетки сопровождается выделением тепла. Источниками энергии белого карлика являются как энергия, выделяющаяся при кристаллизации, так и запас тепловой энергии. Тепловая энергия сохраняется в белом карлике, независимо от состояния материи (жидкое или кристаллическое) (Angeles & Joseph, 2010).

Ядра, погруженные в вырожденный электронный Ферми-газ, считаются невырожденными, и их кинетическая энергия определяется температурой (Norman, 2012; Шкловский, 1984). Белые карлики с большей массой имеют меньший радиус и более высокую концентрацию вырожденного электронного газа. С увеличением массы давление газа электронов растет медленнее, чем увеличивается сила гравитации. Существует верхний предел массы белого карлика ( $1,4 M_{\odot}$ ), найденный Чандрасекаром, при котором давление вырожденного газа электронов еще уравновешивает гравитационное давление (Takibayev & Nasirova, 2018).

## Материалы

Для проведения этого исследования были использованы астрофизические модели белых карликов, а также данные из наблюдений различных астрономических объектов, содержащих белые карлики. Важнейшие параметры, учитываемые в этих моделях, включают следующие:

1. *Масса белого карлика*: масса белого карлика близка к пределу Чандрасекара, который составляет около  $1,4 M_{\odot}$  (масса Солнца). Этот предел определяет верхнюю границу массы белого карлика, выше которой звезда будет коллапсировать в черную дыру или нейтронную звезду.

2. *Радиус белого карлика*: радиус белого карлика составляет около  $5.5 \times 10^6$  м. Несмотря на то, что масса белого карлика близка к массе Солнца, его радиус значительно меньше, что объясняется его крайне высокой плотностью.

3. *Плотность вещества*: плотность вещества белого карлика может быть порядка  $4 \times 10^6$  г/см<sup>3</sup>, что в десятки тысяч раз превышает плотность воды. Это связано с тем, что белый карлик состоит из вырожденного вещества, в котором электроны находятся в состоянии высокой плотности.

4. *Температура*: температура белого карлика на ранних стадиях его эволюции может достигать порядка  $10^7$  К, однако с течением времени она постепенно снижается, и на поздних стадиях эволюции температура может составлять  $10^4$  К.

5. *Состав вещества*: белые карлики в основном состоят из углерода и кислорода. Этот состав характерен для звезд, которые прошли через фазы термоядерного синтеза углерода и кислорода в своих недрах.

### Методы исследования

Для проведения анализа энергетических процессов в компактных звездах использовались теоретические методы астрофизики, основанные на уравнениях состояния вырожденного газа, а также моделях термодинамических процессов, таких как кристаллизация и аккреция. В расчетах применялись данные о физических параметрах белых карликов, такие как масса, радиус, плотность и температура. Основные уравнения, использованные в работе, включают уравнения гидростатического равновесия, уравнения состояния для вырожденного электронного газа, а также термодинамические формулы для расчета энергии кристаллизации.

Численные расчеты были выполнены с использованием стандартных астрофизических моделей для белых карликов, а также параметров, указанных в литературе (Shapiro & Teukolsky, 1983; Haensel & Potekhin, 2007). Методология анализа включает теоретическую оценку энергии, выделяющейся при аккреции вещества, и термоядерных процессов, для чего использовались стандартные формулы гравитационного потенциала и термоядерной энергии (Takibayev & Nasirova, 2018).

Для обеспечения воспроизводимости расчетов использовались общедоступные астрономические константы и параметры, такие как масса и радиус белого карлика, а также данные о термодинамических процессах в звездах. В расчетах учитывались следующие параметры и уравнения:

Масса белого карлика:

$$M \approx \left(\frac{\hbar c}{G}\right)^{3/2} \cdot \frac{5}{6} \frac{1}{m_p^2}$$

где

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34}}{2 \cdot 3.14} \approx 1.05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

масса протона  $m_p \approx 1.67 \times 10^{-27}$  кг. Расчет дает массу белого карлика

$$M \approx \left(\frac{\hbar c}{G}\right)^{3/2} \cdot \frac{5}{6} \frac{1}{m_p^2} = \left(\frac{1.05 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{6.67 \cdot 10^{-11}}\right)^{3/2} \cdot \frac{5}{6} \frac{1}{1.67 \cdot 10^{-27} \cdot 1.67 \cdot 10^{-27}} \approx 2.8 \cdot 10^{30} \text{ кг};$$

$M \approx 1.4 M_{\odot}$  (масса белого карлика)

Плотность белого карлика:

$$\rho = n \cdot m_p \approx \left(\frac{p_e}{\hbar}\right)^3 m_p \approx \frac{m_p}{\left(\frac{2\hbar}{m_e c}\right)^3} \approx \frac{1.67 \cdot 10^{-27}}{\left(\frac{2 \cdot 1.05 \cdot 10^{-34}}{9.1 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^8}\right)^3} \approx \frac{1.67 \cdot 10^{-27}}{4.56 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-33}} \approx 4 \cdot 10^6 \text{ г/см}^3$$

Радиус белого карлика:

$$R \approx \left(\frac{3}{4\pi} \frac{1.4 M_{\odot}}{\rho}\right)^{1/3} \approx \left(\frac{3}{3 \cdot 3.14} \cdot \frac{1.4 \cdot 2 \cdot 10^{30}}{4 \cdot 10^9}\right)^{1/3} \approx 5.5 \cdot 10^6 \text{ м}$$

Оценка энергии кристаллизации:

$$E = kT_{пл} n_{я} R^3 \approx 4,6 \cdot 10^{37} \text{ Дж} \approx 28,7 \cdot 10^{19} \text{ эВ}$$

Говоря об энергии кристаллизации нужно подчеркнуть, что в веществе белого карлика происходит фазовый переход первого рода, данный процесс может понижать его температуру примерно на порядок.

Данная энергия в конечном итоге перерабатывается в излучение. Поэтому можно утверждать, что этот процесс дает вклад в хоть и слабое, но излучение белого карлика. Конечно, это не единственный источник энергии звезды, и здесь стоит отметить и запас тепловой энергии в недрах звезды, она не учитывает состояние звездного вещества. Поскольку белые карлики лишены собственных термоядерных источников энергии, то они излучают за счёт запасов своего тепла, а также если отсутствует процесс аккреции, который тоже может быть еще одним источником светимости белых карликов.

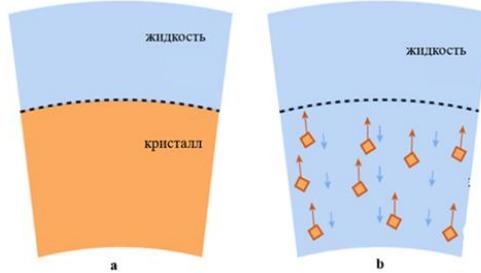


Рисунок 1

Рисунок 1 - Сценарий кристаллизации ядра белого карлика. а - кристаллизация углеродно-кислородного ядра без примесей, б - кристаллизация ядра при наличии примесей (Bdard & Blouin, 2024).

В работе (Bdard & Blouin, 2024) авторы отмечают о том, что возможно существование внутреннего источника энергии, т.к. по законам термодинамики, тепло, выделяющееся при кристаллизации, недостаточно. По мнению авторов (K. Shen et al., 2023. The Q Branch Cooling Anomaly Can Be Explained by Mergers of White Dwarfs and Subgiant Stars) в белых карликах, с избыточным содержанием нейтронов процесс кристаллизации при охлаждении белых карликов развивается по иному сценарию. В материи с содержанием  $^{22}\text{Ne}$ , где преобладают нейтроны, возможно формирование микросталлов обладающие плавучестью, они в свою очередь поднимаются к поверхности белого карлика и там вновь переходят в жидкое состояние. По итогу в центре карлика не формируется твердое кристаллическое ядро, но возникают конвекционные потоки, состоящие из перемещающихся вверх кристаллов и струй более тяжелой жидкой фазы, которую эти кристаллы вытесняют и заставляют опускаться к центру белого карлика. Согласно вычислениям авторов (Bdard & Blouin, 2024) такие процессы приводят к эффективному высвобождению гравитационной энергии, которое может доходить до одной тысячной светимости Солнца.

Анализируя физические процессы в компактных звездах, на примере белого карлика, можно рассмотреть еще один источник энергии как аккреция. В астрофизике аккреция представляет собой процесс захвата вещества из окружающего пространства гравитационным полем небесного тела с его последующим падением части вещества на поверхность тела. Данный термин описывает захват и падение межзвездных и межпланетных газа и пыли на поверхность звезд и планет. Перетекание вещества в тесных двойных звездных системах с одного компонента на другой тоже относится к аккреции. Аккреция вещества на конечные продукты звездной эволюции – белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры – сопровождается значительным выделением гравитационной энергии в виде электромагнитного излучения.

Дадим сравнительную оценку для двух процессов, сформулировав задачу следующим образом: в каком случае энерговыделения будет больше – при падении вещества на поверхность звезды или при горении водорода?

Учитывая, что в процессе эволюции звезда отбрасывает свои верхние слои, массу белого карлика возьмем равной массе Солнца –  $M = 1,98 \cdot 10^{30}$  кг, радиус  $R=2500$  км, и на ее поверхность падает  $m=1$  кг вещества.

$$|E_n| = \frac{G M m}{R} = \frac{6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 1.98 \cdot 10^{30}}{2500} = 5 \cdot 10^{17} \text{ Дж}$$

Полученное значение сравним с эффективностью термоядерных реакций:  $E = \eta m c^2 = 0.007 \cdot 8 \cdot 10^{16} = 5 \cdot 10^{14}$  Дж. Получается, что при падении вещества на поверхность звезды энергии выделяется сравнительно больше, чем при термоядерных реакциях (см.Рис.2)? Это значение очень приблизительное, нам нужно было знать только разницу в порядках, и наша оценка считается достаточно грубой.

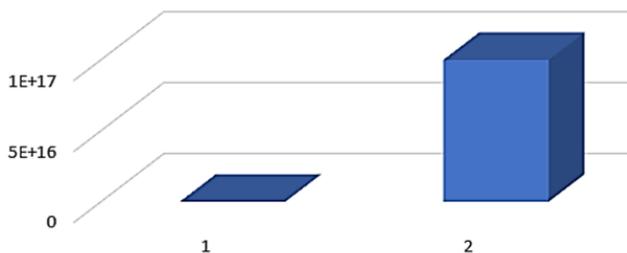


Рисунок 2

Рисунок 2 – сравнительная диаграмма разниц энергии термоядерных реакций с энергией, выделяющейся при падении вещества на поверхность звезды.

### Обсуждение

Результаты показывают, что процессы кристаллизации и аккреции играют ключевую роль в эволюции белых карликов. Кристаллизация замедляет их охлаждение и поддерживает их светимость на протяжении миллионов лет. Этот процесс также приводит к высвобождению энергии, которая может быть обнаружена в спектрах белых карликов.

Аккреция вещества с соседних объектов (например, с компаньонов в двойных системах) может значительно повысить температуру и светимость белого карлика. Энергия, выделяющаяся при аккреции, может быть в десятки раз выше энергии, выделяющейся при термоядерных реакциях, что делает этот процесс важным для изучения эволюции белых карликов.

### Заключение

Несмотря на то, что белые карлики являются конечными продуктами звездной эволюции, в них продолжают физически процессы, такие как кристаллизация и аккреция, которые оказывают значительное влияние на их эволюцию. Оценки, полученные в данной работе, показывают, что энергия, выделяющаяся при кристаллизации, замедляет охлаждение звезды и способствует поддержанию её светимости. Влияние этих процессов важно для понимания механизма эволюции компактных звезд и требует дальнейших исследований.

### Литература

- Shapiro S.L., Teukolsky S.A., Black Holes, White Dwarfs and Neutron Stars. Wiley-VCH, New York (1983), - <https://doi.org/10.1002/9783527617661>
- Haensel P., Potekhin A.Y., Yakovlev D.G., (2007), Neutron Stars 1 : Equation of State and Structure. Astrophysics and Space - Science Library, p. 326
- Yakovlev D.G. (2016), General relativity and neutron stars. - Int. J. Mod. Phys. A 31, 1641017. - [https://doi.org/10.1142/S0217751X16410177\\_72](https://doi.org/10.1142/S0217751X16410177_72).
- Takibayev N., Boshkayev K. (2017), Neutron stars: Physics, properties and dynamics. *Neutron Stars: Physics, Properties and Dynamics*, pp. 1-278. - <https://novapublishers.com/shop/neutron-stars-physics-properties-and-dynamics/>
- Takibayev N., Nasirova D., Kato K., Kurmangaliyeva V. (2018), Excited nuclei, resonances and reactions in neutron star crusts. In: Journal of Physics Conference Series, vol. 940, p. 012058. - <https://doi.org/10.1088/1742-6596/940/1/012058>

- Ю.М.Брук (2018), Фазовые превращения в сверхплотном веществе. Опыт моделирования белых карликов и нейтронных звезд. №1, 05–44
- Norman K. (2012), *Glendenning, Compact Stars: Nuclear Physics, particle Physics and general relativity*. Springer New York <https://doi.org/10.1007/978-1-4684-0491-3>
- Bombaci I. (1996), *The maximum mass of a neutron star*. *Astrophysics* p.305
- Lattimer J.M., Prakash M. (2004), *The physics of neutron stars*. *Science* 304(5670), 536–542. <https://doi.org/10.1126/science.1090720>.
- Takibayev N., Kato K., Nasirova D. (2013), *Excited Nuclei in Neutron Star Crusts* // *Adv.Studies Theor.Phys. Bulgaria.* - Vol.7, № 4. - p. 151-161. doi: <https://doi.org/10.12988/astp.2013.13014>
- Takibayev N., Kurmangaliyeva V., Kato K., Vasilevsky V.S. (2020) *Few-Body Reactions and Processes in Neutron Star Envelopes*, pp. 157–161. Springer, Cham [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32357-8\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32357-8_28).
- M. Angeles Perez-Garcia, Joseph Silk, Jirina R. (2010), *Dark Matter, Neutron Stars, and Strange Quark Matter* // *Physical Review Letters*. p. 141101–04.
- Шварцшильд М. (2019), *Строение и эволюция звезд*. Изд. 4. с.432
- Шкловский И. С.(1984), *Звезды: их рождение, жизнь и смерть*.— 3-е изд., перераб.— М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 384 с.
- Antoine Bdard, Simon Blouin, Sihao Cheng. (2024) [Buoyant crystals halt the cooling of white dwarf stars](https://doi.org/10.1038/s41586-024-07102-y) // *Nature*. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07102-y>.

## References

- Shapiro S.L., Teukolsky S.A., *Black Holes, White Dwarfs and Neutron Stars*. Wiley-VCH, New York (1983), <https://doi.org/10.1002/9783527617661>
- Haensel P., Potekhin A.Y., Yakovlev D.G., (2007), *Neutron Stars I: Equation of State and Structure*. *Astrophysics and Space Science Library*, p. 326
- Yakovlev D.G. (2016), *General relativity and neutron stars*. *Int. J. Mod. Phys. A* 31, 1641017. <https://doi.org/10.1142/S0217751X16410177> 72.
- Takibayev N., Boshkayev K. (2017), *Neutron stars: Physics, properties and dynamics*. *Neutron Stars: Physics, Properties and Dynamics*, pp. 1-278. <https://novapublishers.com/shop/neutron-stars-physics-properties-and-dynamics/>
- Takibayev N., Nasirova D., Kato K., Kurmangaliyeva V. (2018), *Excited nuclei, resonances and reactions in neutron star crusts*. *Journal of Physics Conference Series*, vol. 940, p. 012058. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/940/1/012058>
- Bruck Yu.M. (2018), *Phase transitions in ultra-dense matter. A simulation of white dwarfs and neutron stars*. No. 1, pp. 05–44.
- Norman K. (2012), *Glendenning, Compact Stars: Nuclear Physics, Particle Physics, and General Relativity*. Springer New York <https://doi.org/10.1007/978-1-4684-0491-3>
- Bombaci I. (1996), *The maximum mass of a neutron star*. *Astrophysics*, p. 305
- Lattimer J.M., Prakash M. (2004), *The physics of neutron stars*. *Science* 304(5670), 536–542. <https://doi.org/10.1126/science.1090720>.
- Takibayev N., Kato K., Nasirova D. (2013), *Excited Nuclei in Neutron Star Crusts*. *Adv. Studies Theor. Phys. Bulgaria*, Vol. 7, No. 4, p. 151-161. doi: <https://doi.org/10.12988/astp.2013.13014>
- Takibayev N., Kurmangaliyeva V., Kato K., Vasilevsky V.S. (2020), *Few-Body Reactions and Processes in Neutron Star Envelopes*, pp. 157–161. Springer, Cham [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32357-8\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32357-8_28)
- M. Angeles Perez-Garcia, Joseph Silk, Jirina R. Stone (2010), *Dark Matter, Neutron Stars, and Strange Quark Matter*. *Physical Review Letters*. p. 141101–04.
- Schwarzschild M. (2019), *The Structure and Evolution of Stars*. 4th Edition, p. 432
- Shklovsky I. S. (1984), *Stars: Their Birth, Life, and Death*. 3rd ed., revised, Moscow: Nauka, Main Editorial Office for Physical and Mathematical Literature, 384 p.
- Antoine Bdard, Simon Blouin, Sihao Cheng. (2024), [Buoyant Crystals Halt the Cooling of White Dwarf Stars](https://doi.org/10.1038/s41586-024-07102-y). *Nature*. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07102-y>

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

<b>М.Б. Альбатырова, А.Ж. Алибек, А.С. Жетписбаева</b> РУТНОН ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ ФИЗИКАЛЫҚ ҚҰБЫЛЫСТАРДЫ МОДЕЛЬДЕУ.....	7
<b>Н. Бейсен, Э. Кеведо, С. Тоқтарбай, М. Жакипова, М. Алимкулова</b> Q-МЕТРИКА ҚИСЫҚТЫҒЫНЫҢ МЕНШІКТІ МӘНДЕРІ.....	17
<b>Г. Бекетова, Н. Жантурина*, З. Аймаганбетова, А. Бекешев</b> ЦЕЗИЙГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ҚОСАРЛАНҒАН ГАЛОИДТЫ ПЕРОВСКИТТЕРДІҢ ОПТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ.....	31
<b>С.Б. Дубовиченко, Н.А. Буркова, А.С. Ткаченко, Д.М. Зазулин</b> ЖАЛПЫ БӨЛІМДЕРІ ЖӘНЕ ПРОЦЕСС ҚАРҚЫМЫ $n^{12}C$ .....	43
<b>А. Касымов, А. Адылканова, А. Бектемисов, К. Астемесова, Г. Турлыбекова</b> ГИБРИДТІ КҮН КОЛЛЕКТОРЫНДА ҚОЛДАНУҒА АРНАЛҒАН БИДИСТИЛЬДЕНГЕН СУ НЕГІЗІНДЕГІ $TiO_2/Al_2O_3$ ГИБРИДТІ НАНОСҰЙЫҚТЫҢ ТҮТҚЫРЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	52
<b>А.Е. Кемелбекова, Д.М. Мухамедшина, К.А. Мить, Р.С. Мендыханов, К.К. Елемесов</b> СИРЕК ЖЕР МЕТАЛДАРЫН НЕГІЗІНДЕГІ ФОТОСЕЗІМТАЛ ҚҰРЫЛЫМДАРДЫ ЖАСАУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ.....	63
<b>Е.Т. Кожажулов, Д.М. Жексебай, С.А. Сарманбетов, Н.М. Үсіпов, К.Т. Көпбай</b> АҚПАРАТТЫҚ ЭНТРОПИЯНЫҢ НЕГІЗІНДЕ САНДЫҚ МОДУЛЯЦИЯНЫ АНЫҚТАУ.....	73
<b>Е.М. Мырзакулов, А.С. Бұланбаева</b> ҚАРА ҚҰРДЫМ ШЕШІМДЕРІ ЖӘНЕ ОНЫҢ ТЕРМОДИНАМИКАСЫ.....	84
<b>Д.М. Насирова, В.О. Курмангалиева, А.А. Ғазизова</b> ШАҒЫН ЖҰЛДЫЗДАРДАҒЫ ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІ.....	95
<b>А. Серебрянский, А. Халикова</b> МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНЫП ШОЛУ ЖӘНЕ МОНИТОРИНГТІ ФОТОМЕТРЛІК БАҚЫЛАУЛАРЫНАН АЙНЫМАЛЫ ЖҰЛДЫЗДАРДЫ ІЗДЕУ.....	103

ХИМИЯ

<b>Б.С. Абжалов, А.Б. Башов, А.К. Мамырбекова, С.А. Жұмаділлаева, М.О. Алтынбекова</b> ҚЫШҚЫЛ ОРТАДА ВИСМУТ ЭЛЕКТРОДЫНЫҢ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТІНЕ АЙНЫМАЛЫ ТОКТЫҢ ЖИЛПІ МЕН ТЫҒЫЗДЫҒЫНЫҢ ӘСЕРІ.....	116
<b>Е.Г. Гилязов, Д.К. Кулбатыров, М.Д. Уразгалиева, К.Р. Мақсот</b> ТІКЕЛЕЙ АЙДАУДАН АЛЫНҒАН БЕНЗИННІҢ ОКТАН САНЫН АРТТЫРАТЫН ОКСИГЕНАТТАРДЫҢ ТИІМДІЛІГІ.....	127

<b>Д.Ж. Калиманова, А.К. Мендигалиева, А.Б. Медетова, О.С. Сембай</b> ХИМИЯ САБАҚТАРЫНДА ЭЛЕКТРОНДЫҚ БІЛІМ РЕСУРСТАРЫН, ОЙЫН ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНЫП ОҚУШЫЛАРДЫҢ НӘТИЖЕЛЕРІН ЖИЫНТЫҚ БАҒАЛАУ.....	140
<b>Л.М. Калимолдина, Г.С. Султангазиева, С.О. Абилкасова</b> АЛМАТЫ ҚАЛАСЫНЫҢ СУ РЕСУРСТАРЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ЗАТТАРМЕН ЛАСТАНУ ДЕҢГЕЙІН ЗЕРТТЕУ.....	152
<b>Б.К. Кенжалиев, А.К. Койжанова, М.Б. Ерденова, Д.Р. Магомедов, К.М. Смаилов</b> ҮЙІНДІ КЕНДЕРДЕН МЫС АЛУДЫ БИОХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ХИМИЯЛЫҚ ТОТЫҚТЫРУ ӘДІСТЕРІМЕН ОҢТАЙЛАНДЫРУ.....	167
<b>Г.М. Мадыбекова, Т.Т. Туребаева, Б.Ж. Муталиева, Д.М. Лесбекова, А.Б. Исаева</b> БЕЛСЕНДІ АГЕНТТЕРДІ ЖЕТКІЗУ ҮШІН МИКРОКАПСУЛЯЦИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРДІ ҚОЛДАНУДЫҢ АРТЫҚШЫЛЫҚТАРЫ МЕН ПОЦЕНЦИАЛЫ: ШОЛУ.....	183
<b>Б.К. Масалимова, Б. Джанекова, С.М. Наурызкулова</b> NI-RU ҚҰРАМДЫ КҮРДЕЛІ ОКСИДТЕРГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН КОМПОЗИТТЕР ҚҰРАМЫН ЭНЕРГОДИСПЕРСТІ СПЕКТРОСКОПИЯ ӘДІСІМЕН САНДЫҚ ХИМИЯЛЫҚ ТАЛДАУ.....	198
<b>С. Тұрғанбай, А.И. Ильин, Д.А. Аскарова, А.Б. Джумагазиева, З.С. Ашимханова</b> ӨРТҮРЛІ СҮЙЫЛТУЛАРДАҒЫ АФС ЕРІТІНДІЛЕРІНДЕГІ ФИЗИКА- ХИМИЯЛЫҚ ТЕПЕ-ТЕНДІКТІ ЗЕРТТЕУ.....	209
<b>А.М. Усербаева, Р.Г. Рыскалиева</b> ХИМИЯ ПӘНІНЕН ОҚУ-ӘДІСТЕМЕЛІК КЕШЕН ҚҰРАСТЫРУДЫҢ ҒЫЛЫМИ ПЕДАГОГИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ.....	228
<b>С.Д. Фазылов, О.А. Нұркенов, Ж.С. Нұрмағанбетов, Р.Е. Бәкірова, М.Ж. Жұрынов</b> ЦИКЛОДЕКСТРИНДЕР ХИМИЯЛЫҚ ҚОСЫЛЫСТАРДЫҢ СУПРАМОЛЕКУЛАЛЫҚ КОНТЕЙНЕРЛЕРІ РЕТІНДЕ.....	241

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

<b>М.Б. Альбатырова, А.Ж. Алибек, А.С. Жетписбаева</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PYTON.....	7
<b>Н. Бейсен, Э. Кеведо, С. Токтарбай, М. Жакипова, М. Алимкулова</b> СОБСТВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КРИВИЗНЫ Q-МЕТРИКИ.....	17
<b>Г. Бекетова, Н. Жантурина, З. Аймаганбетова, А. Бекешев</b> ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДВОЙНЫХ ГАЛОИДНЫХ ПЕРОВСКИТОВ НА ОСНОВЕ ЦЕЗИЯ.....	31
<b>С.Б. Дубовиченко, Н.А. Буркова, А.С. Ткаченко, Д.М. Зазулин</b> ПОЛНЫЕ СЕЧЕНИЯ И СКОРОСТЬ РАДИАЦИОННОГО $n^{12}\text{C}$ ЗАХВАТА.....	43
<b>А. Касымов, А. Адылканова, А. Бектемисов, К. Астемесова, Г. Турлыбекова</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТНЫХ СВОЙСТВ ГИБРИДНОЙ НАНОЖИДКОСТИ $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ НА ОСНОВЕ БИДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ГИБРИДНОМ СОЛНЕЧНОМ КОЛЛЕКТОРЕ.....	52
<b>А.Е. Кемелбекова, Д.М. Мухамедшина, К.А. Мить, Р.С. Мендыханов, К.К. Елемесов</b> СОЗДАТЬ И ИССЛЕДОВАТЬ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ.....	63
<b>Е.Т. Кожугулов, Д.М. Жексебай, С.А. Сарманбетов, Н.М. Усипов, К.Т. Копбай</b> ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЦИФРОВОЙ МОДУЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭНТРОПИИ.....	73
<b>Е.М. Мырзакулов, А.С. Буланбаева</b> РЕШЕНИЯ РЕГУЛЯРНОЙ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ И ИХ ТЕРМОДИНАМИКА.....	84
<b>Д.М. Насирова, В.О. Курмангалиева, А.А. Газизова</b> ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В КОМПАКТНЫХ ЗВЕЗДАХ.....	95
<b>А. Серебрянский, А. Халикова</b> ПОИСК ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД В МОНИТОРИНГОВЫХ И ОБЗОРНЫХ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	103

ХИМИЯ

<b>Б.С. Абжалов, А.Б. Башов, А.К. Мамырбекова, С.А. Джумадуллаева, М.О. Алтынбекова</b> ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ И ПЛОТНОСТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ВИСМУТОВОГО ЭЛЕКТРОДА В КИСЛОЙ СРЕДЕ.....	116
<b>Е.Г. Гиладжов, Д.К. Кулбатыров, М.Д. Уразгалиева, К.Р. Мақсот</b> ЭФФЕКТИВНОСТИ ОКСИГЕНАТОВ НА ПОВЫШЕНИЕ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА ПРЯМОГОННОГО БЕНЗИНА.....	127

<b>Д.Ж. Калиманова, А.К. Мендигалиева, А.Б. Медетова, О.С. Сембай</b> СУММАТИВНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ УЧАЩИХСЯ НА УРОКАХ ХИМИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ, ИГРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	140
<b>Л.М. Калимолдина, Г.С. Султангазиева, С.О.Абилкасова</b> ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ГОРОДА АЛМАТЫ.....	152
<b>Б.К. Кенжалиев, А.К. Койжанова, М.Б. Ерденова, Д.Р. Магомедов, К.М. Смаилов</b> ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕДИ ИЗ ОТВАЛЬНЫХ РУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОХИМИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОКИСЛЕНИЯ.....	167
<b>Г.М. Мадыбекова, Т.Т. Туребаева, Б.Ж. Муталиева, Д.М. Лесбекова, А.Б. Исаева</b> ПРЕИМУЩЕСТВА И ПОТЕНЦИАЛ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МИКРОКАПСУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ДОСТАВКИ АКТИВНЫХ АГЕНТОВ: ОБЗ ОР.....	183
<b>Б.К. Масалимова, Б. Джанекова, С.М. Наурзкулова</b> КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТАВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ NI-RU – СОДЕРЖАЩИХ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ МЕТОДОМ ЭНЕРГОДИСПЕРСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ.....	198
<b>С. Тұрғанбай, А.И. Ильин, Д.А. Аскарова, А.Б. Джумагазиева, З.С. Ашимханова</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ РАВНОВЕСИЙ В РАСТВОРАХ АФС ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РАЗВЕДЕНИЯХ.....	209
<b>А.М. Усербаева, Р.Г. Рыскалиева</b> НАУЧНО – ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОСТАВЛЕНИЯ УЧЕБНО- МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ХИМИИ.....	228
<b>С.Д. Фазылов, О.А. Нуркенов, Ж.С. Нурмаганбетов, Р.Е. Бакирова, М.Ж. Журинов</b> ЦИКЛОДЕКСТРИНЫ КАК СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЕ КОНТЕЙНЕРЫ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ.....	241

**CONTENTS**

**PHYSICAL**

<b>M.B. Albatyrova, A.Zh. Alibek, A.S. Zhetpisbayeva</b> MODELING PHYSICAL PHENOMENA USING PYTHON.....	7
<b>N. Beissen, H. Quevedo, S. Toktarbay, M. Zhakipova, M. Alimkulova</b> CURVATURE EIGENVALUES OF THE Q-METRIC.....	17
<b>G. Beketova, N. Zhanturina, Z. Aimaganbetova, A. Bekeshev</b> OPTICAL PROPERTIES OF DOUBLE HALIDE PEROVSKITES BASED ON CESIUM.....	31
<b>S.B. Dubovichenko, N.A. Burkova, A.S. Tkachenko, D.M. Zazulin</b> TOTAL CROSS-SECTIONS AND RATE OF $n^{12}\text{C}$ RADIATIVE CAPTURE.....	43
<b>A. Kassymov, A. Adylkanova, A. Bektemissov, K. Astemessova, G. Turlybekova</b> INVESTIGATION OF VISCOSITY PROPERTIES OF $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ HYBRID NANOFLUID BASED ON BIDISTILLED WATER FOR USE IN A HYBRID SOLAR COLLECTOR.....	52
<b>A.E. Kemelbekova, D.M. Mukhamedshina, K.A. Mit', R.S. Mendykanov, A.K. Shongalova</b> CREATING AND RESEARCH ON PHOTSENSITIVE STRUCTURES USING RARE EARTH METALS.....	63
<b>Y.T. Kozhagulov, D.M. Zhexebay, S.A. Sarmanbetov, N.M. Ussipov, K.T. Kopbay</b> IDENTIFICATION OF DIGITAL MODULATION BASED ON INFORMATIONAL ENTROPY.....	73
<b>Y. Myrzakulov, A. Bulanbayeva</b> A REGULAR BLACK HOLE SOLUTIONS AND THEIR THERMODYNAMICS.....	84
<b>D.M. Nassirova, V.O. Kurmangaliyeva, A.A. Gazizova</b> SOURCES OF ENERGY IN COMPACT STARS.....	95
<b>A. Serebryanskiy, A. Khalikova</b> SEARCH FOR VARIABLE STARS IN MONITORING AND SURVEY PHOTO- METRIC OBSERVATIONS USING MACHINE LEARNING METHODS.....	103

**CHEMISTRY**

<b>B.S. Abzhalov, A.B. Bayeshov, A.K. Mamyrbekova, S.A. Dzhumadullayeva, M.O. Altynbekova</b> INFLUENCE OF AC FREQUENCY AND DENSITY ON THE ELECTROCHEMI- CAL BEHAVIOR OF BISMUTH ELECTRODE IN AN ACID MEDIUM.....	116
<b>Y.G. Gilazhov, D.K. Kulbatyrov, M.D. Urazgalieva, K.R. Maksot</b> EFFICIENCY OF OXYGENATES ON INCREASE OF OCTANE NUMBER OF STRAIGHT-RUN GASOLINE.....	127
<b>D. Zh. Kalimanova, A. K. Mendigaliyeva, A.B. Medetova, O.S. Sembay</b> SUMMATIVE ASSESSMENT OF STUDENTS' RESULTS IN CHEMISTRY LESSONS USING ELECTRONIC EDUCATIONAL RESOURCES, GAME	

TECHNOLOGIES.....	140
<b>L.M. Kalimoldina, G.S. Sultangazieva, S.O. Abilkasova</b> STUDY OF CHEMICAL POLLUTION LEVEL IN WATER RESOURCES OF ALMATY CITY.....	152
<b>B.K. Kenzhaliev, A.K. Koizhanova, M.B. Yerdenova, D.R. Magomedov, K.M. Smailov</b> OPTIMIZATION OF COPPER EXTRACTION FROM WASTE ORES USING BIOCHEMICAL AND CHEMICAL OXIDATION METHODS.....	167
<b>G.M. Madybekova, T.T. Turebayeva, B.Zh. Mutaliev, D.M. Lesbekova, A.B. Issayeva</b> ADVANTAGES AND POTENTIAL OF USING MICROCAPSULATION METHODS FOR DELIVERY OF ACTIVE AGENTS: A REVIEW.....	183
<b>B.K. Massalimova, B. Janekova, S.M. Naurzkulova</b> QUANTITATIVE CHEMICAL ANALYSIS OF THE COMPOSITION OF COMPOSITES BASED ON NI-RU-CONTAINING COMPLEX OXIDES BY ENERGY-DISPERSED SPECTROSCOPY.....	198
<b>S. Turganbay, A.I. Ilin, D. Askarova, A.B. Jumagaziyeva, Z. Ashimkhanova</b> STUDY OF PHYSICOCHEMICAL EQUILIBRIA IN API SOLUTIONS AT DIFFERENT DILUTIONS.....	209
<b>A.M. Userbayeva, R.G. Ryskaliyeva</b> SCIENTIFIC AND PEDAGOGICAL FOUNDATIONS OF THE PREPARATION OF AN EDUCATIONAL AND METHODOLOGICAL COMPLEX IN CHEMISTRY.....	228
<b>S.D. Fazylov, O.A. Nurkenov, Zh.S. Nurmaganbetov, R.E. Bakirova, M.J. Jurinov</b> CYCLODEXTRINS AS SUPRAMOLECULAR CONTAINERS OF CHEMICAL COMPOUNDS.....	241

## **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](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](http://www.nauka-nanrk.kz)**

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

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

Подписано в печать 15.06.2024.

Формат 60x88<sup>1/8</sup>. Бумага офсетная. Печать - ризограф.

19,0 п.л. Тираж 300. Заказ 2.