

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

ТИГИНЯНУ 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 Nemando, 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 № KZ93VPY00025418 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 Искендрович, 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 Жаббаевич, 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

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>

© N. Beissen^{1*}, H. Quevedo^{1,2,3}, S. Toktarbay¹, M. Zhakipova¹, M. Alimkulova¹,

2024

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

²Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico;

³Dipartimento di Fisica and ICRA, Università di Roma “La Sapienza”, Roma, Italy.

E-mail: nurzada.beissen@kaznu.edu.kz

CURVATURE EIGENVALUES OF THE Q-METRIC

Beissen Nurzada — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate professor, Dean of the Faculty of Physics and Technology, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

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

Quevedo Hernando — PhD, Professor al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico, Dipartimento di Fisica and ICRA, Università di Roma “La Sapienza”, Roma, Italy

E-mail: quevedo@nucleares.unam.mx, <https://orcid.org/0000-0003-4433-5550>;

Toktarbay Saken — PhD, Associate professor, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: Saken.Toktarbay@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-5699-4476>;

Zhakipova Madina — master, student of PhD doctoral, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: madina.zhakipova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2071-5911>;

Alimkulova Madina — master, student of PhD doctoral, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: m.alimkulova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4977-7980>.

Abstract. In this paper, we perform a detailed examination of the eigenvalues of the Riemann curvature tensor in a specific space-time configuration influenced by a distorted mass distribution. Our focus is on a metric characterized by two crucial parameters representing the mass and the quadrupole moment of the central gravitational source. This source is distinctly separated from the surrounding space-time by a naked singularity at the Schwarzschild radius for the given mass. Our results show that as the proximity to the central source increases, the effect of the quadrupole component becomes significantly more pronounced, leading to notable changes in the curvature eigenvalues. This includes cases where some eigenvalues switch signs, which we interpret as an indication of repulsive gravitational forces. These findings advance our understanding of the complex dynamics in such gravitational fields and emphasize the significant role that higher-order mass moments, such as the quadrupole, play in shaping space-time curvature. This research lays important groundwork for future studies on the behavior of gravitational fields under the influence of intricate mass distributions, particularly in extreme astrophysical conditions.

Keywords: Curvature eigenvalues, quadrupole moment, q-metric, repulsive gravity

© Н. Бейсен^{1*}, Э. Кеведо.^{1,2,3}, С. Токтарбай¹, М. Жакипова¹, М. Алимкулова¹,
2024

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

²Мексика автономды университетінің ядролық ғылымдар институты, Мехико,
Мексика;

³Физика және РАХО департаменті, Рим Сапиенца университеті, Рим, Италия.
E-mail: nurzada.beissen@kaznu.edu.kz

Q-МЕТРИКА ҚИСЫҚТЫҒЫНЫҢ МЕНШІКТІ МӘНДЕРІ

Бейсен Нұрзада — *Физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, әл-Фараби ат. ҚазҰУ-нің физика-техника факультеті деканы, Алматы, Қазақстан*

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

Кеведо Эрнандо — PhD, Профессор *әл-Фараби ат. ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан*; Мексика автономды университетінің ядролық ғылымдар институты, Мексика, Мехико қ. Физика және РАХО департаменті, Рим Сапиенца университеті, Рим, Италия

E-mail: quevedo@nucleares.unam.mx, <https://orcid.org/0000-0003-4433-5550>;

Токтарбай Сакен — PhD, *қауымдастырылған профессор, әл-Фараби ат. ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан*

E-mail: Saken.Toktarbay@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-5699-4476>;

Жакипова Мадина — магистр, PhD студенті, *әл-Фараби ат. ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан*

E-mail: madina.zhakipova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2071-5911>;

Алимкулова Мадина — магистр, PhD студенті, *әл-Фараби ат. ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан*

E-mail: m.alimkulova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4977-7980>.

Аннотация. Бұл зерттеуде Риманның қисықтық тензорымен байланысты меншікті мәндеріне кеңістік пен уақыттың ерекше конфигурацияларында жан-жақты талдау жасалды. Бұл кеңістік пен уақыт массаның деформацияланған таралуына байланысты гравитациялық әсерді қамтиды. Біздің талдауымыздың кілті-орталық гравитациялық объекттің массасы мен квадрупольдік моментін сипаттау үшін маңызды екі нақты параметрмен анықталған метрика. Бірегей нәрсе-бұл орталық объект сыртқы кеңістік уақытынан массаға сәйкес келетін Шварцшильд радиусында орналасқан жалаңаш сингулярлықпен бөлінген. Біздің нәтижелеріміз орталық көзге жақындаған сайын квадруполь компонентінің әсері айтарлықтай айқын болып, меншікті қисықтық мәндерінің әрекетін айтарлықтай өзгертетінін көрсетеді. Кейбір жағдайларда кейбір меншікті мәндердің белгісі өзгертетіні әсерлі-біз оны итергіш гравитациялық күштердің әрекетінің белгісі ретінде түсіндіреміз. Бұл идеялар осындай гравитациялық өрістерді басқаратын күрделі динамика туралы түсінігімізді кеңейтіп қана қоймайды, сонымен қатар квадруполь сияқты жоғары ретті массалық моменттерінің кеңістік пен уақыт қисығына тигізетін маңызды әсерлерін көрсетеді. Бұл зерттеу, әсіресе экстремалды астрофизикалық жағдайларда, массаның күрделі таралуының әсерінен гравитациялық өрістердің қасиетін одан әрі зерттеудің негізін қалауы мүмкін.

Түйін сөздер: қисықтықтың меншікті мәндері, квадрупольдік момент, q-метрика, тебуші гравитация

Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің (грант № АР14869876) қаржылық қолдауымен жүзеге

асырылды.

© Н. Бейсен^{1*}, Э. Кеведо.^{1,2,3}, С. Токтарбай¹, М. Жакипова¹, М. Алимкулова¹,
2024

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

²Институт ядерных наук национальный автономный университет Мексики,
Мехико, Мексика;

³Департамент Физики и МЦРА, Римский университет «Ла Сапиенца», Рим,
Италия.

E-mail: nurzada.beissen@kaznu.edu.kz

СОБСТВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КРИВИЗНЫ Q-МЕТРИКИ

Бейсен Нурзада — Кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор, Декан физико-технического факультета Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

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

Кеведо Эрнандо — PhD, Профессор Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; Институт ядерных наук национальный автономный университет Мексики, Мексика, г. Мехико; 3Департамент Физики и МЦРА, Римский университет «Ла Сапиенца», Рим, Италия

E-mail: quevedo@nucleares.unam.mx, <https://orcid.org/0000-0003-4433-5550>;

Токтарбай Сакен — PhD, ассоциированный профессор, Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: Saken.Toktarbay@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-5699-4476>;

Жакипова Мадина — магистр, студент PhD, Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: madina.zhakipova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2071-5911>;

Алимкулова Мадина — магистр, студент PhD, Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: m.alimkulova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4977-7980>.

Аннотация. В этой статье проводится детальный анализ собственных значений тензора кривизны Римана в конкретной конфигурации пространства-времени, подверженной воздействию искаженного распределения массы. Наше внимание сосредоточено на метрике, характеризуемой двумя ключевыми параметрами, представляющими массу и квадрупольный момент центрального гравитационного источника. Этот источник явно отделен от окружающего пространства-времени обнаженной сингулярностью на радиусе Шварцшильда для данной массы. Наши результаты показывают, что с приближением к центральному источнику влияние квадрупольного компонента становится значительно более выраженным, что приводит к заметным изменениям собственных значений кривизны. Это включает случаи, когда некоторые собственные значения меняют знак, что мы интерпретируем как признак отталкивающих гравитационных сил. Эти выводы расширяют наше понимание сложной динамики в таких гравитационных полях и подчеркивают важную роль высших моментов массы, таких как квадруполь в формировании кривизны пространства-времени. Это исследование закладывает важную основу для будущих исследований поведения гравитационных полей под влиянием сложных распределений массы, особенно в экстремальных астрофизических условиях.

Ключевые слова: собственные значения кривизны, квадрупольный момент, q-метрика, отталкивающая гравитация

Introduction

General relativity stands as a foundational theory elucidating the dynamics of gravitational interactions. When dealing with compact celestial bodies, gravitational fields arise from mass distributions, which may exhibit either rotational or stationary characteristics. The most basic stationary solution to Einstein's equations is the Schwarzschild solution, portraying the gravitational field stemming from a spherically symmetric mass distribution. A significant feature of this solution, per Birkhoff's theorem, is its exclusivity as the sole spherically symmetric vacuum solution to Einstein's equations. This theorem also implies the absence of spherically symmetric gravitational waves.

Following the discovery of the Schwarzschild solution, Weyl (Weyl, 2012: 779–810) derived the most general stationary, axially symmetric vacuum solution, expressed in cylindrical coordinates. The Weyl solution is formulated as an infinite series with arbitrary coefficients, theoretically encompassing any axially symmetric solution. The solution's multipole moments are determined by these coefficients, as demonstrated through the calculation of relativistic and invariant Geroch multipole moments. Notably, the Schwarzschild solution emerges as a specific case within this framework, represented by an infinite series with predetermined coefficients.

An alternative approach, introduced by Erez and Rosen, involves considering only one additional multipole moment for the mass distribution. Specifically, the explicit metric expression for a mass possessing a quadrupole moment was derived. Presently, numerous solutions serve as generalizations of the Schwarzschild solution with a quadrupole (Frutos-Alfaro et al., 2018: 170826). This divergence arises from the absence of uniqueness theorems, allowing for multiple exact solutions describing the gravitational field corresponding to a point mass with a quadrupole.

This study concentrates on a particular solution, proposed as the simplest extension of the Schwarzschild solution incorporating a quadrupole (Quevedo, 2011: 1779–1787). This solution is derived by applying a Zipoy-Voorhees transformation to the Schwarzschild solution, resulting in the Zipoy-Voorhees metric, also known as the γ -metric or δ -metric. To underscore its interpretation as a quadrupolar metric (q-metric), we designate it as such.

Our investigation delves into the properties of the q-metric by scrutinizing the behavior of its associated Riemann curvature tensor. We employ the eigenvalues of the curvature tensor, scalar quantities offering coordinate-independent results, as proposed in (Quevedo, 2012: 35–52). This invariant approach facilitates the comparison of different metrics along a given hypersurface. Research in this area remains ongoing (Gutiérrez-Piñeres et al., 2019: 135003; Gutiérrez-Piñeres et al., 2022: 035015). The curvature eigenvalues have also been utilized to define the concept of repulsive gravity invariantly (Luongo et al., 2012: 1029–1031; Luongo et al., 2014: 084032). In our study, we employ this approach to identify regions within the q-metric's spacetime characterized by repulsive gravity effects.

This article unfolds as follows: Section II presents the q-metric and reviews its significant physical and geometric attributes. We interpret this vacuum solution as depicting the gravitational field of a naked singularity, implying that a mass distribution's quadrupole moment can be construed as a source of naked singularities. Section III elu-

cidates the methodology for calculating curvature eigenvalues using the formalism of differential forms and Cartan structure equations. In Section IV, we analyze the behavior of the q-metric's curvature eigenvalues, revealing locations within its spacetime where these eigenvalues transition from attractive to repulsive, indicative of repulsive gravity. Finally, Section V summarizes and discusses our findings.

Research object, materials and methods

The q-metric

We consider the line element of the q-metric in spherical coordinates (t, r, θ, φ) as follows (Boshkayev et al., 2016: 024024)

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2m}{r}\right)^{1+q} dt^2 - \left(1 - \frac{2m}{r}\right)^{-q} \left[\left(1 + \frac{m^2 \sin^2 \theta}{r^2 - 2mr}\right)^{-q(2+q)} \left(\frac{dr^2}{1 - \frac{2m}{r}} + r^2 d\theta^2 \right) + r^2 \sin^2 \theta d\varphi^2 \right], \quad (1)$$

where m and q are constant parameters. In the limiting case $q = 0$, the q-metric reduces to the standard Schwarzschild metric in spherical coordinates. It is an exact solution of Einstein vacuum equations with the property of being asymptotically flat. The physical meaning of the parameters m and q can be determined by calculating the corresponding multipole moments. We use the Geroch relativistic definition of multipole moments, which leads to invariant results independently of the coordinates. The main mass multipole moments, $n = 0, 1$, are given by

$$\begin{aligned} M_0 &= (1 + q)m, \\ M_2 &= -\frac{m^3}{3}q(1 + q)(2 + q). \end{aligned} \quad (2)$$

Multipole moments of higher order are proportional to mq and, therefore, can be completely rewritten in terms of M_0 and M_2 . Consequently, the arbitrary parameters m and q determine the mass and quadrupole, which are the only independent multipole moments of the solution. In the limiting case $q = 0$, there remains only the monopole $M_0 = m$ as expected for the Schwarzschild spacetime. Moreover, as a consequence of the symmetry of the solution with respect to the equatorial plane, all odd multipole moments are identically zero.

Two important limits of the multipoles of the q-metric are $m \rightarrow 0$ with $q \neq 0$ and $q \rightarrow -1$ with $m \neq 0$. In both cases, all the multipole moments vanish identically and the corresponding limiting metric can be shown to be equivalent to the Minkowski metric. This means that the limit $M_0 = 0$ leads to a flat spacetime because it corresponds to the case in which no mass is present. This suggests that as q approaches zero, the spacetime tends towards flatness, indicating the absence of mass. Essentially, in the absence of mass, there can be no quadrupole, reflecting a physically reasonable condition.

The above results show that the q -metric describes the gravitational field of a spherically symmetric distribution of mass with total mass M_0 and quadrupole M_2 . By calculating the Newtonian limit of the q -metric with the corresponding quadrupole, one can show that positive (negative) values of M_2 correspond to prolate (oblate) mass distributions.

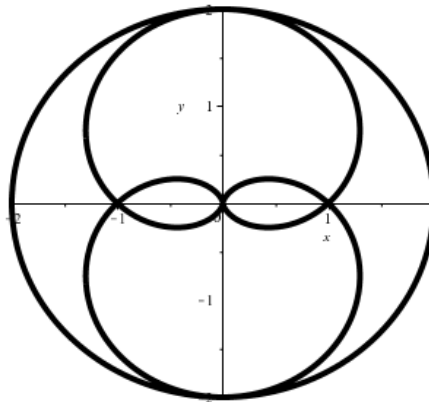
The presence of curvature singularities can be confirmed by examining the Kretschmann scalar $K = R_{\mu\nu\lambda\tau} R^{\mu\nu\lambda\tau}$, which in this case becomes

$$K = \frac{16m^2(1+q)^2}{r^{4(2+2q+q^2)}} \frac{(r^2 - 2mr + m^2 \sin^2 \theta)^{2(2q+q^2)-1}}{(1 - 2m/r)^{2(q^2+q+1)}} L(r, \theta), \quad (3)$$

With

$$L(r, \theta) = 3(r - 2m - qm)^2 (r^2 - 2mr + m^2 \sin^2 \theta) + q(2 + q)m^2 \sin^2 \theta \times [q(2 + q)m^2 + 3(r - m)(r - 2m - qm)]. \quad (4)$$

The limiting Schwarzschild case ($q = 0$) corresponds to the value $K = 48m^2 / r^6$, which shows only one singularity at $r = 0$. In general, the Kretschmann scalar (3) diverges at the origin ($r = 0$) and at the Schwarzschild radius ($r = 2m$), which represents the exterior curvature singularity. Since no horizons are present in this spacetime, the singularity at $r = 2m$



(c)
Fig. 1: Curvature singularities of the q -metric.

The singularities at $r = 2m$ and at $r = 0$ exist for any value of the parameter q . The singularity in the region $0 < r < 2m$ is present only for some values of the parameter q

is naked. The singularity at the origin is present for all real values of q . Moreover, the Kretschmann scalar diverges at the surfaces defined by the condition $r^2 - 2mr + m^2 \sin^2 \theta = 0$ for those values of q in the interval

$q \in \left(-1, -1 + \sqrt{3/2}\right] \setminus \{0\}$. Thus, we see that the presence of a quadrupole turns the Schwarzschild horizon into a naked singularity. In Fig 1, we illustrate the locations of singularities of the spacetime described by the q – metric. Of particular significance for our subsequent analysis is the singularity at $r = 2m$ separates the exterior spacetime, $r > 2m$, from the interior one $0 < r < 2m$. Therefore, in the following sections we will limit ourselves to the study of the exterior part of the spacetime.

Curvature eigenvalues

The primary reason for analyzing the eigenvalues of the Riemann curvature tensor is that these scalar quantities allow for an invariant characterization of gravitational interactions. To compute the eigenvalues, we will utilize the formalism of differential forms, wherein the line element of a metric with coordinates x^μ is represented in terms of local tetrads (1-forms) \mathcal{G}^a as (Bernard et al., 2009: 419; Hawking et al., 2023: 391)

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu \otimes dx^\nu = \eta_{ab} \mathcal{G}^a \otimes \mathcal{G}^b, (5)$$

where $\eta_{ab} = \text{diag}(-1, 1, 1, 1)$ is the local Lorentzian metric and the tetrads are given in terms of the tetrad vectors e^a_μ as

$$\mathcal{G}^a = e^a_\mu dx^\mu. (6)$$

The connection 1-form ω^a_b and the curvature 2-form are determined through the Cartan structure equations

$$d\mathcal{G}^a = -\omega^a_b \wedge \mathcal{G}^b, (7)$$

$$\Omega^a_b = d\omega^a_b + \omega^a_c \wedge \omega^c_b, (8)$$

where d is the exterior derivative and \wedge the exterior product. Finally, the components of the Riemann curvature tensor R_{abcb} are determined in terms of the components of the curvature 2-form as

$$\Omega^a_b = \frac{1}{2} R^a_{bcd} \mathcal{G}^c \wedge \mathcal{G}^d. \quad (9)$$

The non-zero components of the curvature tensor can be put together as a 6×6 matrix

$$R_{AB} = \begin{pmatrix} R_{0101} & R_{0102} & R_{0103} & R_{0123} & R_{0131} & R_{0112} \\ R_{0201} & R_{0202} & R_{0203} & R_{0223} & R_{0231} & R_{0212} \\ R_{0301} & R_{0302} & R_{0303} & R_{0323} & R_{0331} & R_{0312} \\ R_{2301} & R_{2302} & R_{2303} & R_{2323} & R_{2331} & R_{2312} \\ R_{3101} & R_{3102} & R_{3103} & R_{3123} & R_{3131} & R_{3112} \\ R_{1201} & R_{1202} & R_{1203} & R_{1223} & R_{1231} & R_{1212} \end{pmatrix} \quad (10)$$

Furthermore, since the components of the curvature tensor satisfy the symmetry $R_{abcd} = R_{cdab}$, the matrix R_{AB} is symmetric and contains only 21 independent components. If we take into consideration the algebraic Bianchi identity, the number of independent components is further reduced.

$$R_{a[bcd]} = 0, \quad (11)$$

which in terms of the components of the matrix R_{AB} can be expressed as

$$\mathbf{R}_{14} + \mathbf{R}_{25} + \mathbf{R}_{36} = 0, \quad (12)$$

the number of independent components reduces to 20, as expected for the Riemann tensor in four dimensions. The eigenvalues of the curvature tensor can then be easily determined as the eigenvalues of the matrix R_{AB} .

Results

We now proceed to calculate the curvature matrix for the q-metric. The components of the tetrad vectors can be selected as follows:

$$e^{\hat{0}}_0 = f_1^{\frac{1}{2}(1+q)}, e^{\hat{1}}_1 = f_1^{-\frac{1}{2}(1+q)} f_2^{-\frac{q}{2}(2+q)}, \quad (13)$$

$$e^{\hat{2}}_2 = f_1^{-\frac{q}{2}} f_2^{-\frac{q}{2}(2+q)}, e^{\hat{3}}_3 = f_1^{-\frac{q}{2}} r \sin \theta, \quad (14)$$

where

$$f_1 = 1 - \frac{2m}{r}, f_2 = 1 + \frac{m^2 \sin^2 \theta}{r^2 - 2mr}. \quad (15)$$

To avoid confusion, in the above equations, we have marked the indices related to local tetrads with a hat. The calculation of the connection 1-form and curvature 2-form is straightforward. Subsequently, the curvature matrix is constructed based on the non-vanishing components of the Riemann tensor. It turns out that the only non-zero components of the curvature matrix are: $R_{11}, R_{12}, R_{22}, R_{33}, R_{44}, R_{45}, R_{55}$, and R_{66} . We will limit ourselves to the analysis of the curvature on the equatorial plane $\theta = \pi / 2$, where the non-diagonal components of the curvature matrix vanish, i.e., $R_{12}(\theta = \pi / 2) = R_{45}(\theta = \pi / 2) = 0$. Consequently, the eigenvalues $\lambda_i, i = 1, 2, \dots, 6$, of the matrix R_{AB} coincide with the corresponding diagonal components. Finally, we determine that on the equatorial plane, the curvature eigenvalues can be represented as:

$$\lambda_1 = -\lambda_4 = \frac{(4m^2 + 5m^2q^2 + 8m^2q + m^2q^3 - 2mrq^2 - 8mrq - 6mr + 2r^2q + 2^2)m}{r^3(r^2 - 3mr + 2m^2)} \times f_1^q f_2^{q(2+q)} \quad (16)$$

$$\lambda_2 = -\lambda_5 = \frac{m(m^2q^3 + 4m^2q^2 + 5m^2q + 2m^2 - mrq^2 - 4mrq - 3mr + r^2q + r^2)}{r^3(2m^2 - 3mr + r^2)} \times f_1^q f_2^{q(2+q)} \quad (17)$$

$$\lambda_3 = -\lambda_6 = \frac{(mq^2 + 3mq + 2m - rq - r)m}{r^3(2m - r)} f_1^q f_2^{q(2+q)} \quad (18)$$

where the function f_2 is evaluated on the equatorial plane. We see that all the information about the curvature is contained in the eigenvalues λ_1 , λ_2 , and λ_3 . In the limiting case with

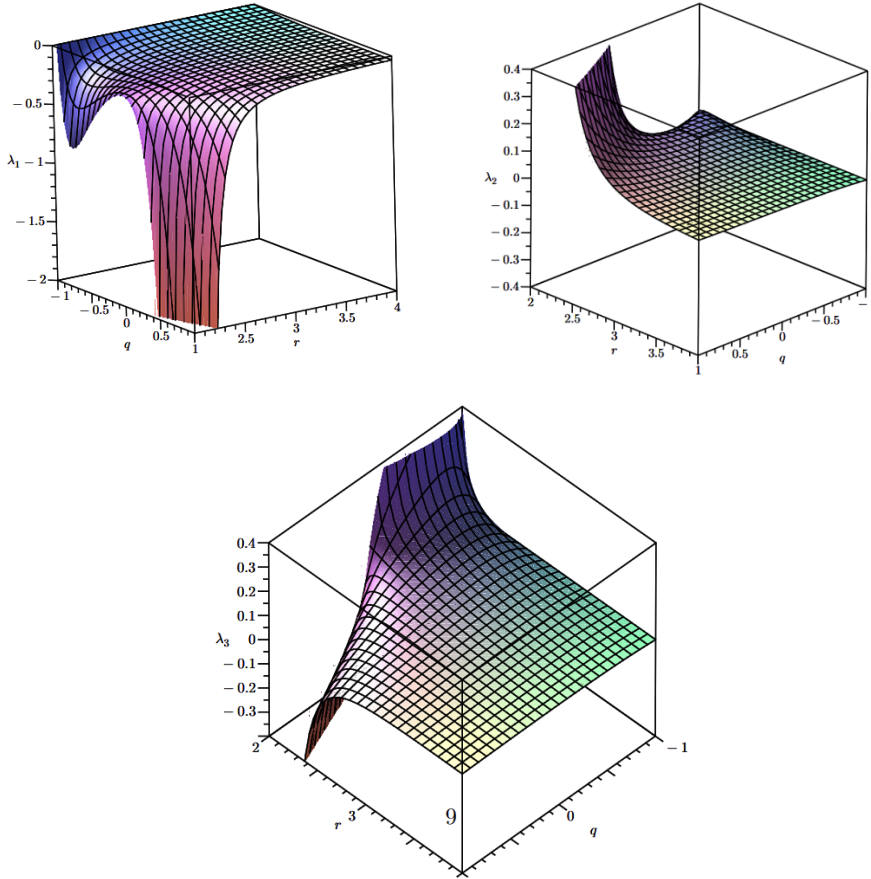


Fig. 2: The curvature eigenvalues of the q -metric as functions of the radial coordinate r and the quadrupole parameter q . The mass parameter has been chosen as $m = 1$

$q = 0$, the eigenvalues reduce to

$$\lambda_2 = \lambda_3 = \frac{m}{r^3}, \quad \lambda_1 = -\frac{2m}{r^2}, \tag{19}$$

which are the curvature eigenvalues of the Schwarzschild metric. Notice that all the eigenvalues vanish for $q = -1$ and arbitrary m and for $m = 0$ and arbitrary q , indicating that the resulting spacetime is flat. This confirms the result obtained above by using the expressions for the multipole moments and the q -metric.

Discussion

Now, we explore how each eigenvalue behaves concerning both the radial coordinate and the quadrupole parameter. The outcomes of our investigation are illustrated in Fig. 2. It becomes evident that all eigenvalues exhibit divergence as the hypersurface $r = 2m$ as the hypersurface is approached, signaling the presence of a curvature singularity. Furthermore, as the radial coordinate increases, the eigenvalues tend asymptotically to zero, confirming the asymptotic flatness property of the q-metric. The most intriguing behavior is observed at the singularity located at $r = 2m$ is approached. In fact, we see that λ_1 is always positive in the entire domain shown in Fig. 1. This is not true in the case of λ_2 and λ_3 . Indeed, we see that these eigenvalues reach a maximum value and then change their sign close to the curvature singularity located at $r = 2m$. This behavior will be investigated in the next section.

To understand the change of sign in the curvature eigenvalues λ_2 and λ_3 , we now consider a particular case for oblate, $q < 0$, and prolate, $q > 0$, mass configurations. The results are illustrated in Fig. 3. In the oblate case ($q = -0.5$), we see that λ_2 changes its sign as the singularity is approached. Instead, λ_3 increases its close to the singularity, without changing its sign. In the case of prolate objects ($q = 0.5$), the roles are interchanged and it is λ_3 , which changes its value from positive to negative. We obtained similar results for other arbitrary values of the quadrupole parameter q . We conclude that, in general, the eigenvalue λ_2 (λ_3) describes the change of behavior in the case of oblate (prolate) mass distributions.

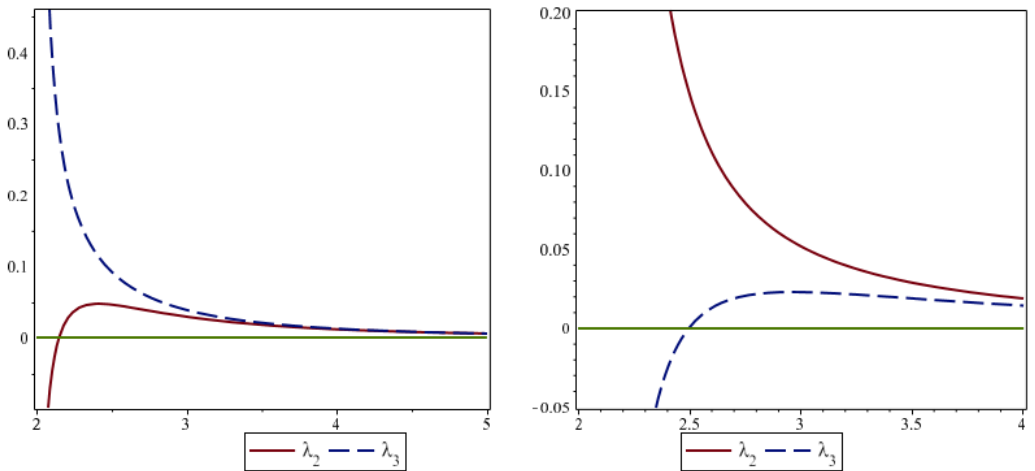


Fig. 3: The curvature eigenvalues λ_2 and λ_3 as functions of the radial coordinate r for $q = -0.5$ (left panel) and $q = 0.5$ (right panel)

For specificity, let's consider the scenario of an oblate object with $q = -0.5$.

From Fig. 3 (left panel), it is evident that λ_2 increases as the singularity is approached, reaching a maximum value at a specific radius $r = r_{rep}$ and subsequently decreases until it changes sign at $r = r_{\dot{u}}$. This behavior is interpreted as a manifestation of repulsive gravity. The repulsion is characterized by two critical radii: the repulsion radius, denoted as $r_{\dot{u}}$, which signifies the onset of repulsion, and the dominance radius, $r_{\ddot{u}}$, indicating where repulsive forces outweigh attractive ones. Generally, the repulsion radius can be defined as the location where the first local extremum appears in λ_2 as the object is approached from infinity, i.e.,

$$\left. \frac{\partial \lambda_2}{\partial r} \right|_{r=r_{\dot{u}}} = 0, \quad (20)$$

whereas the dominance radius is determined by the condition

$$\lambda_2 \Big|_{r=r_{\ddot{u}}} = 0. \quad (21)$$

In the particular case $q = -\dot{u}$, we obtain from the above conditions that $r_{\dot{u}} \approx 2.41m$ and $r_{\ddot{u}} \approx 2.15m$.

In Fig. 4, we show the behavior of the eigenvalue λ_2 as representing the intensity of the gravitational interaction. This illustration can be interpreted as follows. A free particle moving to the central object from any direction on the equatorial plane will experience first an increase of the gravitational attraction, which reaches a maximum at $r_{\dot{u}}$. Then, as the oblate object is further approached, the interaction decreases until it vanishes at $r_{\ddot{u}}$ and from this place on the particle starts to experience a repulsive force.

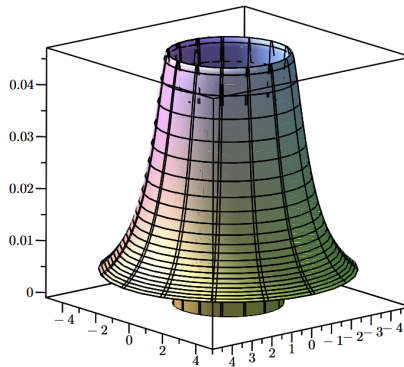


Fig. 4: Three-dimensional representation of the eigenvalue λ_2 on the equatorial plane of the q- metric

In the case of prolate objects ($q > 0$), similar conditions can be defined with λ_3 instead of λ_2 . For the particular case of a mass distribution with $q = \dot{u}$, we obtain $r_{\dot{u}} \approx 2.96m$ and $r_{\ddot{u}} \approx \dot{u} m$.

Conclusion

In this study, we have examined the curvature of the q-metric as a metric for gravitational interaction. To achieve this, we computed the eigenvalues of the Riemann curvature tensor using local tetrads and the formalism of differential forms, ensuring that the results are independent of the coordinate system.

We derived the explicit form of all curvature eigenvalues on the equatorial plane of the q-metric. Notably, we observed that some eigenvalues exhibit distinct behavior by transitioning from positive to negative values in a region close to the curvature singularity located at the hypersurface $r = 2m$. We interpret this phenomenon as indicative of repulsive gravity near the naked singularity described by the q-metric.

Using the curvature eigenvalues, we characterized repulsive gravity in terms of two specific distances: the repulsion radius, which marks the onset of repulsion, and the dominance radius, indicating where repulsion surpasses attraction.

Our analysis focused exclusively on the equatorial plane. Future research should explore the behavior of the eigenvalues as functions of the angular coordinate θ . This remains a significant task for subsequent studies.

REFERENCES

- Bernard F., Schutz K.Ü. (2009). *A First Course in General Relativity*. — Cambridge: Cambridge University Press. 2009. — 412 p. — ISBN 978-1-108-49267-6. (in Eng).
- Boshkayev K. et al. (2016). Motion of test particles in the field of a naked singularity // *Physical Review D*. — 2016. — V. 93. — №. 2. — P. 024024. — <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.90.084032> (in Eng).
- Frutos-Alfaro F., Quevedo H., Sanchez P.A. (2018). Comparison of vacuum static quadrupolar metrics // *Royal Society open science*. 2018. — Vol. 5. — N 5. — Pp. 170826. — <https://doi.org/10.1098/rsos.170826> (in Eng).
- Gutiérrez-Piñeres A.C., Quevedo H. (2019). C3 matching for asymptotically flat spacetimes // *Classical and Quantum Gravity*. 2019. — Vol. 36. — N 13. — Pp. 135003. — DOI:10.1088/1361-6382/ab2422 (in Eng).
- Gutiérrez-Piñeres A. C., Quevedo H. (2022). Darmois matching and C 3 matching // *Classical and Quantum Gravity*. 2022. — Vol. 39. — N 3. — Pp. 035015. — <https://doi.org/10.1088/1361-6382/ac45dc> (in Eng).
- Hawking S.W., Ellis G.F.R. (2023). *The large scale structure of space-time*. — Cambridge university press. 2023. — 391 p. — ISBN 978-1-009-25315-4. (in Eng).
- Luongo O., Quevedo H. (2012). Toward an invariant definition of repulsive gravity // *The Twelfth Marcel Grossmann Meeting: On Recent Developments in Theoretical and Experimental General Relativity, Astrophysics and Relativistic Field Theories (In 3 Volumes)*. 2012. — Pp. 1029–1031. — https://doi.org/10.1142/9789814374552_0122 (in Eng).
- Luongo O., Quevedo H. (2014). Characterizing repulsive gravity with curvature eigenvalues // *Physical Review D*. 2014. — Vol. 90. — N 8. — P. 084032. — <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.90.084032> (in Eng).
- Quevedo H. (2011). Mass quadrupole as a source of naked singularities // *International Journal of Modern Physics D*. 2011. — Vol. 20. — N 10. — Pp. 1779–1787. — <https://doi.org/10.1142/S0218271811019852> (in Eng).
- Quevedo H. (2012). Matching conditions in relativistic astrophysics // *The Twelfth Marcel Grossmann Meeting: On Recent Developments in Theoretical and Experimental General Relativity, Astrophysics and Relativistic Field Theories (In 3 Volumes)*. 2012. — Pp. 35–52. — https://doi.org/10.1142/9789814374552_0003

(in Eng).

Weyl H. (2012). Republication of: 3. On the theory of gravitation // General Relativity and Gravitation 2012. — Vol. 44. — N 3. — Pp. 779–810. — <https://doi.org/10.1007/s10714-011-1310-7> (in Eng).

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

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

ХИМИЯ

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

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

ХИМИЯ

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

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

CONTENTS

PHYSICAL

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

CHEMISTRY

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

TECHNOLOGIES.....	140
L.M. Kalimoldina, G.S. Sultangazieva, S.O. Abilkasova STUDY OF CHEMICAL POLLUTION LEVEL IN WATER RESOURCES OF ALMATY CITY.....	152
B.K. Kenzhaliev, A.K. Koizhanova, M.B. Yerdenova, D.R. Magomedov, K.M. Smailov OPTIMIZATION OF COPPER EXTRACTION FROM WASTE ORES USING BIOCHEMICAL AND CHEMICAL OXIDATION METHODS.....	167
G.M. Madybekova, T.T. Turebayeva, B.Zh. Mutaliev, D.M. Lesbekova, A.B. Issayeva ADVANTAGES AND POTENTIAL OF USING MICROCAPSULATION METHODS FOR DELIVERY OF ACTIVE AGENTS: A REVIEW.....	183
B.K. Massalimova, B. Janekova, S.M. Naurzkulova QUANTITATIVE CHEMICAL ANALYSIS OF THE COMPOSITION OF COMPOSITES BASED ON NI-RU-CONTAINING COMPLEX OXIDES BY ENERGY-DISPERSED SPECTROSCOPY.....	198
S. Turganbay, A.I. Ilin, D. Askarova, A.B. Jumagaziyeva, Z. Ashimkhanova STUDY OF PHYSICOCHEMICAL EQUILIBRIA IN API SOLUTIONS AT DIFFERENT DILUTIONS.....	209
A.M. Userbayeva, R.G. Ryskaliyeva SCIENTIFIC AND PEDAGOGICAL FOUNDATIONS OF THE PREPARATION OF AN EDUCATIONAL AND METHODOLOGICAL COMPLEX IN CHEMISTRY.....	228
S.D. Fazylov, O.A. Nurkenov, Zh.S. Nurmaganbetov, R.E. Bakirova, M.J. Jurinov 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). 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 60x88¹/₈. Бумага офсетная. Печать - ризограф.

19,0 п.л. Тираж 300. Заказ 2.