

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

2024 • 3



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ
АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

БАЯНДАМАЛАРЫ

ДОКЛАДЫ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН»

REPORTS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

БАС РЕДАКТОР:

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

РЕДАКЦИЈАЛЫҚ АЛҚА:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ЖҮСҮПОВ 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 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 Қуантай Аьгазыевич, 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 Нурғали Жабғаевич, 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

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

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

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

ABIYEV Rufat, Doctor of Technical Sciences (Biochemistry), Professor, Head of the Department of Optimization of Chemical and Biotechnological Equipment, St. Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia), H = 14

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty). The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan No. **KZ93VPY00025418**, issued 29.07.2020.

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

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

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

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

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

ISSN 2224-5227

Volume 3. Number 351 (2024), 26–46

<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.295>

УДК 524.834 МПНТИ 29.05.45

©A.A. Zhadyranova*, U. Ismail, Zh. Beisekeyeva, G. Bekova,
U. Ualikhanova, 2024.

Department of General and Theoretical Physics,
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.
E-mail: a.a.zhadyranova@gmail.com

STUDY OF THE FREEZING QUINTESSENCE OF LATE-TIME SPACE EXPANSION IN $F(R, L_m)$ GRAVITY

Zhadyranova Aliya – PhD, senior lecturer of the department of general and theoretical physics,
L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2, Satpayev str., Astana, Kazakhstan. E-mail:
a.a.zhadyranova@gmail.com. Orcid: 0000-0003-1153-3438;

Ismail Umit – student of the department of general and theoretical physics, L.N. Gumilyov Eurasian
National University, 2, Satpayev str. Astana, Kazakhstan. E-mail: umitismail848@gmail.com Orcid:
0009-0003-4881-6244;

Beisekeyeva Zhanna – PhD, senior lecturer of the department of general and theoretical physics,
L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2, Satpayev str., Astana, Kazakhstan. E-mail:
sagidullayeva.zh@gmail.com Orcid 0000-0001-9722-4016;

Bekova Guldana – PhD, Acting associate professor of the Department of Physics and Technical
Disciplines, Kh.Dosmukhamedov Atyrau University, 1, Studenchesky Ave., Atyrau, Kazakhstan.
E-mail: E-mail bekovaguldana@gmail.com. Orcid: 0000-0001-7310-1185;

Ualikhanova Ulbossyn – PhD, senior lecturer of the department of general and theoretical physics,
L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2, Satpayev str., Astana, Kazakhstan. E-mail: ulbossyn.
ualikhanova@gmail.com. Orcid: 0000-0002-2351-0658.

Abstract. We investigate a typical freezing scenario at the last stage of cosmic expansion using a nonlinear gravitational model $f(R, L_m), f(R, L_m) = \frac{R}{2} + L_m^\alpha$, where α is a free parameter. We will consider solving this model using parameterization of the corresponding scale factor, and then the model will be limited to control datasets such as CC, Pantheon+(SN) and CC+SN+BAO. The Hubble parameter, the deceleration parameter, the density of matter and energy, and the EOS parameter of our model reflect the expected trends in space-time, confirming its physical fitness. In addition, the model demonstrates compatibility with the Λ CDM model in later times, showing freezing behavior in the plane $\omega - \omega'$ and resistance to density perturbation. Our results show that the modified gravitational model $f(R, L_m)$ is a reliable approach to describing the acceleration phase of the universe. Recently, various cosmological observations have reinforced the evidence for the accelerated expansion of the universe. These observations include

measurements of type Ia (SN Ia) supernovae, large-scale structure (LSS), Wilkinson Microwave Isotropy Probe (WMAP), cosmic microwave background radiation (CMBR) and baryon acoustic oscillations (BAOs). Comparing these different datasets provides compelling evidence for the existence of dark energy (DE), the mysterious component that drives the accelerated expansion of the universe. However, according to these cosmological observations, DE and dark matter (DM) together make up about 95-96% of the universe, mysterious components that have not yet been fully explored. On the contrary, baryonic matter makes up about 4-5% of the total volume of the universe. Currently, the general theory of relativity (GR) is considered the most successful theory of gravity, confirmed by many described gravitational experiments. Despite its success, GR cannot offer a satisfactory solution to the DE and DM puzzles. This disadvantage means that GR cannot be the definitive theory of gravity to solve all modern cosmological problems.

Keywords: Dark energy, dark matter, freezing quintessence, space late expansion, nonlinear gravity $f(R, L_m)$, control limits.

©А.А. Жадыранова*, У. Исмаил, Ж.М. Бейсекеева, Г.Т. Бекова,
У.А. Уалиханова

Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

E-mail: a.a.zhadyranova@gmail.com.

$f(R, L_m)$ ГРАВИТАЦИЯДАҒЫ КЕШ ҒАРЫШТЫҚ КЕҢЕЮДІҢ МҮЗДАТЫЛҒАН КВИНТЕССЕНЦИЯСЫН ЗЕРТТЕУ

Жадыранова Алия – PhD, Жалпы және теориялық физика кафедрасының аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш. 2, Астана, Қазақстан. E-mail: a.a.zhadyranova@gmail.com. Orcid: 0000-0003-1153-3438;

Исмаил Умит – Жалпы және теориялық физика кафедрасының 4 курс студенті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш. 2, Астана, Қазақстан. E-mail: umitismail848@gmail.com Orcid: 0009-0003-4881-6244;

Бейсекеева Жанна – PhD, Жалпы және теориялық физика кафедрасының аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш. 2, Астана, Қазақстан. E-mail: sagidullayeva.zh@gmail.com Orcid 0000-0001-9722-4016;

Бекова Гүлдана – PhD, Физика және техникалық пәндер кафедрасының қауымдастырылған профессоры м.а., Х.Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Студенттер даңғылы, 1, Атырау, Қазақстан. E-mail: bekovaguldana@gmail.com Orcid: 0000-0001-7310-1185;

Уалиханова Улбосын – PhD, Жалпы және теориялық физика кафедрасының аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш. 2, Астана, Қазақстан. E-mail: ulbossyn.ualikhanova@gmail.com. Orcid: 0000-0002-2351-0658.

Аннотация. Ғарыштық кеңеюдің соңғы кезеңіндегі квинтессенциалды мұздату сценарийін сызықтық емес гравитациялық модель көмегімен зерттейміз $f(R, L_m)$, $f(R, L_m) = \frac{R}{2} + L_m^\alpha$, мұндағы α -еркін параметр. Осы модельдің шешімін сәйкес масштабты коэффициентті параметрлеуді қолдана отырып қарастырамыз, содан кейін модель Λ , Pantheon+ (SN) және

CC+SN+BAO сияқты бақылау деректер жиынтығымен шектеледі. Хаббл параметрі, баяулау параметрі, материя-энергия тығыздығы және біздің модельдің EoS параметрі оның физикалық жарамдылығын растай отырып, ғарыштық уақыт бойынша күтілетін тенденцияларды көрсетеді. Сонымен қатар, модель кейінгі уақытта Λ CDM моделімен үйлесімділікті көрсетеді, $\omega - \omega'$ жазықтығында қату әрекетін және тығыздықтың бұзылуына төзімділікті көрсетеді. Нәтижелер өзгертілген $f(R, L_m)$ гравитациялық моделі ғаламның үдеу фазасын сипаттауға сенімді тәсіл екенін көрсетеді. Соңғы уақытта әртүрлі космологиялық бақылаулар ғаламның жеделдетілген кеңеюінің дәлелдерін күшейтті. Бұл бақылауларға Ia типті суперновалар (SN Ia), ауқымды құрылым (LSS), Уилкинсон микротолқынды анизотропия зонды (WMAP), ғарыштық микротолқынды фондық сәулелену (CMBR) және бариондық акустикалық тербелістер (BAOs) арқылы жүргізілген өлшеулер жатады. Осы әртүрлі деректер жиынтығын сәйкестендіру ғаламның жеделдетілген кеңеюін басқаратын жұмбақ компонент - күңгірт энергияның (DE) бар екендігінің нақты дәлелдерін береді. Алайда, осы космологиялық бақылауларға сәйкес, DE және күңгірт материя (DM) бірге ғаламның шамамен 95-96% құрайды, бұл әлі толық түсінілмеген жұмбақ компоненттер. Керісінше, бариондық материя ғаламның жалпы көлемінің шамамен 4-5% құрайды. Қазіргі уақытта жалпы салыстырмалылық (GR) сипатталған көптеген гравитациялық эксперименттермен расталған ең сәтті гравитациялық теория болып саналады. Табысқа қарамастан, GR DE және DM жұмбақтарының қанағаттанарлық шешімін ұсына алмайды. Бұл кемшілік GR барлық заманауи космологиялық мәселелерді шешу үшін гравитация соңғы теориясы бола алмайтындығын білдіреді.

Түйін сөздер: күңгірт энергия, күңгірт материя, мұздату квинтэссенциясы, ғарыштық кеш кеңейту, сызықтық емес гравитация $f(R, L_m)$, бақылау шектері.

©А.А. Жадыранова*, У. Исмаил, Ж.М. Бейсекеева, Г.Т. Бекова,
У.А. Уалиханова

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
Астана, Казахстан.

E-mail: a.a.zhadyranova@gmail.com.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАМОРОЖЕННОЙ КВИНТЭССЕНЦИИ ПОЗДНЕГО КОСМИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ В $f(R, L_m)$ ГРАВИТАЦИИ

Жадыранова Алия – PhD, старший преподаватель кафедры общей и теоретической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева 2, Астана, Казахстан. E-mail: a.a.zhadyranova@gmail.com. Orcid: 0000-0003-1153-3438;

Исмаил Умит – студент 4 курса кафедры общей и теоретической физики, Евразийский

национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сагпаева 2, Астана, Казахстан. E-mail: umitismail848@gmail.com Orcid: 0009-0003-4881-6244;

Бейсекеева Жанна – PhD, старший преподаватель кафедры общей и теоретической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сагпаева 2, Астана, Казахстан. E-mail: sagidullayeva.zh@gmail.com Orcid 0000-0001-9722-4016;

Бекова Гүлдана – PhD, и. о. ассоциированного профессора кафедры физики и технических дисциплин, Атырауский университет им. Х. Досмухамедова, пр. Студентов 1, Атырау, Казахстан. E-mail: bekovaguldana@gmail.com Orcid: 0000-0001-7310-1185;

Уалиханова Улбосын – PhD, старший преподаватель кафедры общей и теоретической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сагпаева 2, Астана, Казахстан. E-mail: ulbossyn.ualikhanova@gmail.com. Orcid: 0000-0002-2351-0658.

Аннотация. Исследуется типичный сценарий замораживания на последнем этапе космического расширения с помощью нелинейной гравитационной модели $f(R, L_m)$, $f(R, L_m) = \frac{R}{2} + L_m^\alpha$, где α -свободный параметр. Находится решение этой модели, используя параметризацию соответствующего масштабного коэффициента, а затем модель будет ограничена контрольными наборами данных, такими как CC, Pantheon+ (SN) и CC+SN+BAO. Параметр Хаббла, параметр замедления, плотность материи и энергии и параметр EOS приведенной модели отражают ожидаемые тенденции в пространстве-времени, подтверждая ее физическую пригодность. Кроме того, модель демонстрирует совместимость с моделью Λ CDM в более поздние времена, показывая поведение замерзания в плоскости $\omega - \omega'$ и сопротивление возмущению плотности. Наши результаты показывают, что модифицированная гравитационная модель $f(R, L_m)$ является надежным подходом к описанию фазы ускорения Вселенной. В последнее время различные космологические наблюдения усилили доказательства ускоренного расширения Вселенной. Эти наблюдения включают измерения сверхновых типа Ia (SN Ia), крупномасштабной структуры (LSS), зонда Микроволновой изотропии Уилкинсона (WMAP), космического микроволнового фонового излучения (CMBR) и барионных акустических колебаний (BAOs). Сопоставление этих различных наборов данных дает убедительные доказательства существования темной энергии (DE), загадочного компонента, который управляет ускоренным расширением Вселенной. Однако, согласно этим космологическим наблюдениям, DE и темная материя (DM) вместе составляют около 95-96% Вселенной, загадочных компонентов, которые еще не полностью изучены. Напротив, барионная материя составляет около 4-5% от общего объема Вселенной. В настоящее время общая теория относительности (GR) считается наиболее успешной теорией гравитации, подтвержденной многими описанными гравитационными экспериментами. Несмотря на успех, GR не может предложить удовлетворительного решения головоломок DE и DM. Этот недостаток означает, что GR не может быть окончательной теорией гравитации для решения всех современных космологических проблем.

Ключевые слова: темная энергия, темная материя, квинтэссенция

замораживания, космическое позднее расширение, нелинейная гравитация $f(R, L_m)$, пределы наблюдения.

Кіріспе

Харко мен Лобо $f(R, L_m)$ теориясы деп аталатын $f(R)$ теориясының модификациясын зерттеу арқылы инновациялық тәсілді ұсынды. Бұл теорияда R қисықтық скаляры затпен минималды байланысты емес Лагранж L_m . Геометрия мен материя арасындағы бұл минималды емес байланыс энергия-импульс тензорының сақталмауына әкеледі. Бұл өз кезегінде қозғалыстың геодезиялық тендеуіндегі бөлшектердің 4 жылдамдықтарына перпендикуляр қосымша күш туғызады. Нәтижесінде тест бөлшектерінің траекториялары жалпы салыстырмалылық теориясы болжаған геодезиялық траекториялардан ауытқиды (Riess, 1998). Гравитация $f(R, L_m)$ бірқатар космологиялық және астрофизикалық проблемаларды тиімді шешу қабілетіне байланысты ғылыми қауымдастық тарапынан айтарлықтай назар аударды (Perlmutter, 1999). Сонымен қатар, $f(R, L_m)$ гравитация эквиваленттілік принципіне бағынбайды және Күн жүйесінде жүргізілген тәжірибелермен шектеледі (Tsujiikawa, 2013). Жақында гравитацияның $f(R, L_m)$ қызықты космологиялық салдарын зерттеуге қызығушылықтың айтарлықтай өсуі байқалды. Қазіргі уақытта зерттеулердің көбеюі осы модельдің әртүрлі аспектілеріне бағытталған; мысалы, берілген сілтемелерді қараңыз (Aghanim, 2020). Джайбахай және т.б. (Corda, 2009) $f(R, L_m)$ гравитацияның космологиялық салдарын талқылады. Авторлар Фридман-Леметр-Робертсон-Уокердің (FLRW) жазық метрикасындағы ғаламның құбылысын зерттеп, оның ғарыштың эволюциясы мен құрылымына әсерін қарастырды. Мырзакулов және басқалар (Koussour, 2022) $f(R, L_m)$ DE сызықтық емес моделіндегі тиімді күй тендеуі (EoS) параметрінің эволюциясын зерттеді. Авторлар бұл параметрдің эволюциясын шектеу үшін ғарыштық хронометрлер мен Пантеон үлгілерін Байес талдауын пайдаланады (Malik, 2023). $f(R, L_m)$ космологиялық модельдерінің бөлігі ретінде DE құбылысын зерттеді. Атап айтқанда, олар $f(R, L_m) = \frac{R}{2} + L_m^\alpha$ және $f(R, L_m) = \frac{R}{2} + (1 + \alpha R)L_m$ қарастырды, мұндағы α - тұрақты шама. Авторлар осы модельдердегі DE құбылысын талдау және түсіну үшін бақылау деректерін пайдаланды. Куссур және т.б. (De Laurentis, 2015) $f(R, L_m)$ гравитациядағы серпіліс әрекетін зерттеп, фантомдық қиылысқа және оның энергия жағдайларына әсерін талдауға назар аударды.

$f(R, L_m) = \frac{R}{2} + L_m^\alpha$ формуласымен берілген сызықтық емес гравитациялық $f(R, L_m)$ моделін қолдана отырып, ғарыштық кеңею кезеңіндегі квинтэссенциалды мұздату сценарийін зерттейміз, мұндағы α - еркін параметр. Біз $\omega - \omega'$ талдаймыз жазықтық-Колдуэлл мен Линдер ұсынған құрал (Cruz-Dombriz, 2012), бұл әр түрлі модельдерді ажыратуға пайдалы DE сол

жазықтықтағы траекторияларына негізделген. Бұл тәсіл бұрын quintessence de модельдеріне қолданылған, нәтижесінде $\omega - \omega'$ жазықтығында екі түрлі класс пайда болды. $\omega' > 0$ және $\omega < 0$ болатын аймақ еру аймағына сәйкес келеді, ал $\omega' < 0$ және $\omega < 0$ болатын аймақ қату аймағына сәйкес келеді. Ғаламның кеңеюі мұздату аймағында көбірек жылдамдатылатыны атап өтілді.

Сонымен қатар, біз $a(t) = \sqrt[3]{\sinh(t)}$ формуласымен берілген масштаб коэффициентінің параметрленуін қолданатын осы модельдің шешімін қарастырамыз, мұндағы $l > 0$ - ерікті тұрақты. Бұл таңдаудың артындағы мотивтер III бөлімде келтірілген. Біздің әдістемеміз ғарыштық хронометрлер (CC), Pantheon SN және BAO сияқты бақылау деректер жиынтығына негізделген эмпирикалық деректерге толық сәйкес келетін нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік береді. Бұл қолжазба келесідей құрылымдалған. II бөлімде біз $f(R, L_m)$ теориясындағы динамиканы анықтайтын әрекет пен іргелі тұжырымдаманы ұсынамыз. Біз сондай-ақ FLRW жазық әлеміне сәйкес келетін модификацияланған Фридман теңдеулерін шығарамыз. III бөлімде біз $f(R, L_m)$ функционалдығын қолданамыз, содан кейін масштаб коэффициентінің параметрленуін қолдана отырып, осы модельдің шешімін зерттейміз. IV бөлімде біз осы бақылаулармен сәйкестікті қамтамасыз ету үшін CC, SN және біріктірілген CC+SN+BAO деректер жиынының бақылау деректерін пайдалану арқылы үлгі параметрлерінің мәндерін шектейміз. Әрі қарай, V бөлімде біз Хаббл параметрі, баяулау параметрі, зат-энергия тығыздығы және EoS параметрі сияқты бірнеше параметрлердің әрекетін талдаймыз. Әрі қарай, біз VI бөлімде $\omega - \omega'$ құбылысын талдаймыз. VII бөлім біздің модельдің тұрақтылығын тексеруге арналған. Соңында, біз өзіміздің негізгі деректер мен қорытындыларымызды VIII бөлімде ұсынамыз.

Материалдар және негізгі әдістер. Соңғы бірнеше онжылдықта әдебиетте қазіргі космологиялық дилеммаларды шешудің түрлі балама тәсілдері ұсынылды. Олардың ішінде модификацияланған гравитация теориясы ғаламдағы күгірт материя және күнгірт энергия байланысты мәселелерді шешуге ең перспективалы үміткер ретінде пайда болды. Ғаламның күнгірт сипаты туралы жұмбақты шешудің жетекші тәсілі GR модификациясының $f(R)$ гравитация теориясы арқылы өзгерту болып табылады, мұндағы R-Риччи скаляры. Бұл теория Риччи скалярын жалпы $f(R)$ функциясымен алмастыру арқылы Эйнштейн-Гильберт әрекетін өзгертуді ұсынады, бұл DE қажеттілігінсіз ғаламның жеделдетілген кеңеюін түсіндіруге негіз ұсынады. Бұл мәселені шешу үшін $f(R, \tau)$ теориясы сияқты бірнеше басқа өзгертілген теориялар жасалды, мұндағы τ импульс-энергия тензорының ізін білдіреді, $f(T)$ теориясы, мұндағы T бұралу скалярын білдіреді, $F(Q)$ теориясы, мұндағы Q метрикалы емес скалярды білдіреді, $f(R, G)$ теориясы, мұндағы G Гаусс-Боннет инвариантын білдіреді және басқалары.

$f(R, L_m)$ теориясы және космология

Бұл тұрғыда $f(R, L_m)$ гравитацияға арналған әрекетті қарастырамыз (Нарко, 2010). Әрекет ретінде көрсетіледі

$$S = \int \sqrt{-g} d^4x f(R, L_m) \quad (1)$$

мұндағы $f(R, L_m)$ - Риччи скалярының R және L_m затының Лагранж тығыздығының ерікті функциясы, ал G -метрикалық тензордың детерминанты. Сонымен қатар, біз $8\pi G = c = 1$ конвенциясын қабылдаймыз, мұнда G және c сәйкесінше Ньютондық гравитациялық тұрақты және жарық жылдамдығын білдіреді. Анықтама бойынша, Риччидің скалярлық қисықтығы $R = g^{\mu\nu} R_{\mu\nu}$ түрінде өрнектеледі, мұндағы $R_{\mu\nu}$ - Риччи тензоры, $R_{\mu\nu} = \partial_\lambda \Gamma_{\mu\nu}^\lambda - \partial_\mu \Gamma_{\lambda\nu}^\lambda + \Gamma_{\mu\nu}^\lambda \Gamma_{\sigma\lambda}^\sigma - \Gamma_{\nu\sigma}^\lambda \Gamma_{\mu\lambda}^\sigma$

Мұнда $\Gamma_{\alpha\gamma}^\beta$ Леви-Чивита қосылысының компоненттерін ұсынады, оларды келесі түрде алуға болады.

$$\Gamma_{\alpha\gamma}^\beta = \frac{1}{2} g^{\beta\lambda} \left(\frac{d g_{\gamma\lambda}}{d x^\alpha} + \frac{d g_{\lambda\alpha}}{d x^\gamma} - \frac{d g_{\alpha\gamma}}{d x^\lambda} \right). \quad (2)$$

$f(R, L_m)$ гравитация үшін өріс теңдеуі [39] $\mathfrak{G}_{\mu\nu}$ метрикалық тензорының компоненттері бойынша (1) әрекет интегралын өзгерту арқылы шығарылады

$$f_R R_{\mu\nu} + (g_{\mu\nu} \square - \nabla_\mu \nabla_\nu) f_R - \frac{1}{2} (f - f_{L_m} L_m) g_{\mu\nu} = \frac{1}{2} f_{L_m} \tau_{\mu\nu} \quad (3)$$

мұндағы $f_R \equiv \frac{\partial f}{\partial L_m}$, $f_{L_m} \equiv \frac{\partial f}{\partial L_m}$, $\square \equiv \nabla^\mu \nabla_\mu$; ∇_μ - ковариантты туынды, ал $T_{\mu\nu}$ -заттың энергия-импульс тензоры

$$\tau_{\mu\nu} = \frac{-2}{\sqrt{-g}} \frac{\delta(\sqrt{-g} L_m)}{\delta g^{\mu\nu}} \quad (4)$$

Енді (3) теңдеуге ковариантты тұжырымды қолдану арқылы біз оны келесідей белгілей аламыз

$$\nabla^\mu \tau_{\mu\nu} = 2 \nabla^\mu \ln(f_{L_m}) \frac{\partial L_m}{\partial g^{\mu\nu}} \quad (5)$$

бұл гравитацияның $f(R, L_m)$ кезінде энергия-импульстің сақталу заңының бұзылуын көрсетеді. Осылайша, зерттелетін ғаламның табиғаты белгілі болғаннан кейін, өміршең космологиялық модельдер құруға және ғарыш уақытының метрикасын сәйкесінше таңдау арқылы ғаламның динамикасын тексеруге болады.

Біртекті және изотропты ғаламды кең ауқымда сипаттайтын FLRW

метрикасын зерттейміз. Бұл метрика космологиялық принципке негізделген, ол ғалам біртекті және изотропты, егер жеткілікті үлкен масштабта қарастырылса және космологиядағы негізгі тұжырымдама болып табылады

$$ds^2 = -dt^2 + a^2(t)[dx^2 + dy^2 + dz^2] \quad (6)$$

мұндағы $a(t)$ - белгілі бір уақытта ғарыштық кеңеюді сандық түрде анықтайтын масштаб коэффициенті t . Метрикадан (6) Риччи скаляры

$$R = 6(\dot{H} + 2H^2) \quad (7)$$

ретінде шығарылады, мұндағы $H = \frac{\dot{a}}{a}$ -ғаламның кеңею жылдамдығын сипаттайтын Хаббл параметрі. Сонымен қатар, біз ғаламды керемет сұйықтыққа толы деп санаймыз. Бұл тұрғыда идеалды сұйықтық-космологияда заттың таралуын сипаттау үшін қолданылатын теориялық модель. Ол тұтқырлықтың болмауымен және нөлдік жылу өткізгіштігімен сипатталады. Идеал сұйықтықтың энергия-импульс тензоры мына формуламен берілген

$$\tau_{\mu\nu} = (\rho + p)u_\mu u_\nu + pg_{\mu\nu} \quad (8)$$

мұндағы $u^\mu = (1, 0, 0, 0)$ - $u^\mu u_\mu = -1$ қатынасын қанағаттандыратын идеалды сұйықтықтың төрт жылдамдығын кұрайды. Бұл тұрғыда ρ заттың энергия тығыздығын, ал p изотропты қысымды білдіреді. Энергия-импульс тензорына арналған өрнекті қолдана отырып, оның ізін $\tau = g^{\mu\nu}\tau_{\mu\nu} = 3p - \rho$ деп есептей аламыз.

Фридманның өзгертілген теңдеулері $f(R, L_m)$ гравитация жағдайында ғаламның динамикасын сипаттауда шешуші рөл атқарады. Бұл теңдеулер масштаб коэффициентінің $a(t)$ өзгеруін анықтайды. Гравитация жағдайында $f(R, L_m)$ модификацияланған Фридман теңдеулері түрін алады

$$3H^2 f_R + \frac{1}{2}(f - f_R R - f_{L_m} L_m) + 3H\dot{f}_R + \frac{1}{2}(f_{L_m} L_m - f) = \frac{1}{2}f_{L_m} p \quad (9)$$

және

$$\dot{H}f_R + 3H^2 f_R - \ddot{f}_R - 3H\dot{f}_R + \frac{1}{2}(f_{L_m} L_m - f) = \frac{1}{2}f_{L_m} \quad (10)$$

мұндағы нүктелер ғарыштық t уақытқа қатысты туындыларды білдіреді.

Космологиялық шешімдер

(9)-(10) теңдеулерінде сипатталған өріс теңдеулерінің жүйесі төрт белгісіз екі тәуелсіз теңдеуден тұрады: f , H , ρ және p . жүйені толық шешу және энергия тығыздығы мен қысымның эволюциясын талдау үшін екі қосымша шектеу

теңдеуі қажет (қосымша шарттар). Бұл шектеулер жүйені жабу және бірегей шешім алу үшін қажет. Мұнда (Caldwell, 2005) түрінде көрсетілген $f(R, L_m)$ гравитацияның нақты функционалды түрін қолданамыз

$$f(R, L_m) = \frac{R}{2} + L_m^\alpha \quad (11)$$

мұндағы α -тұрақты. Қарастырылып отырған модель $f(R, L_m) = f_1(R) + f_2(R)G(L_m)$ функционалдық формасына негізделген, ол арасындағы жалпы байланысты білдіреді материя және геометрия. $\alpha = 1$ кезінде теңдеулер GR-дегі стандартты Фридман теңдеулеріне дейін азаяды. Берілген сценарийде, $L_m = \rho$ [(Ryden, 2003), модификацияланған Фридман (9) және (10) теңдеулері

$$3H^2 = (2\beta - 1)\rho^\beta \quad (12)$$

және

$$2\dot{H} + 3H^2 = [(\beta - 1)\rho - \beta p]\rho^{\beta-1} \quad (13)$$

Енді тағы бір шектеу қалды. ғаламның масштабты факторы космологияда, әсіресе ғарыштың тағдыры мен кеш уақыттың динамикасын түсіну үшін өте маңызды. Бұл қазіргі заманның негізгі бөлігі ғаламның кеңеюін де, оның жермен байланысын да түсіндіретін космологиялық теориялар. Барроу (Chawla, 2012) қысым-тығыздық қатынасының қарапайым параметрленуін қолдану арқылы Эйнштейн өрісінің теңдеулерінің нақты шешімін тапты. Бұл параметризация арқылы $\alpha(t) = \exp(At^f)$ типті масштаб коэффициенті алынады, мұнда $A > 0$ және $0 < f < 1$ тұрақтылар болып табылады. Амирхашчи және басқалар (Nagpal, 2019) өріс теңдеулерінің нақты шешімін алу үшін $\alpha(t) = \sqrt{t \exp(t)}$ ретінде берілген масштаб коэффициентін зерттеді. Акарсу және т.б. масштаб коэффициенті үшін гибриді ыдырау заңын қарастырды, яғни $\alpha(t) = t^\beta \exp(\alpha t)$, бұл өнім өріс теңдеулерін толық шешу үшін дәрежелік және экспоненциалдық функциялар. Одинцов пен Ойконому $\alpha(t) = \left(\frac{3}{4}\rho_c t^2 + 1\right)^{\frac{1}{3}}$ ретінде берілген масштабты коэффициенті бар $f(R)$ гравитациясын (Beutler, 2011) қолдана отырып, циклдік кванттық космология шеңберінде материяның серпілу сценарийін зерттеді. Бұл зерттеу Чавла және басқалар ұсынған масштабты коэффициенттің арнайы түріне бағытталған (Blake, 2011) және берілген жұмыстарда (Percival, 2010) қолданылады

$$\alpha(t) = \sqrt[l]{\sinh(t)} \quad (14)$$

мұндағы $l > 0$ -ерікті тұрақты.

(14) теңдеуді қолдана отырып, біз $H(t)$ Хаббл параметрін келесідей аламыз

$$H(t) = \frac{\dot{a}}{a} = \frac{\operatorname{coth}(t)}{t} \quad (15)$$

Теориялық нәтижелерді космологиялық бақылаулармен сенімді салыстыруды қамтамасыз ету үшін біз $\alpha(t) = \frac{1}{1+z}$ (мұндағы $a_0 = 1$) және теңдеуді (14) қолдана отырып, T уақыт айнымалысын z қызыл ығысу тұрғысынан білдіреміз

$$t(z) = \sinh^{-1} \left[\left(\frac{1}{z+1} \right)^{1/2} \right] \quad (16)$$

Енді жоғарыдағы теңдеуді қолдана отырып, біз Хаббл параметрін қызыл ығысу тұрғысынан келесідей көрсете аламыз

$$H(z) = \frac{H_0}{\sqrt{2}} \sqrt{(1+z)^{2l} + 1} \quad (17)$$

(17) теңдеуінде $z = 0$ орнату арқылы біз $H(0) = H_0$ деген қорытындыға келеміз, мұндағы H_0 Хаббл параметрінің ағымдағы мәнін білдіреді. Осылайша, $\frac{d}{dt} = -H(z)(1+z) \frac{d}{dz}$ қатынасын қолдана отырып, уақыт туындыларын қызыл ығысу туындыларына ауыстыра аламыз. Осылайша, Хаббл параметрінің уақыт туындысын келесідей көрсетуге болады

$$\frac{dH}{dt} = -H(z)(1+z) \frac{dH}{dz} \quad (18)$$

(17) және (18) теңдеулерден біз Хаббл параметрінің уақыт туындысы үшін өрнек аламыз $H(z)$ қызыл ығысу тұрғысынан z ретінде $H = -\frac{H_0^2 l}{2} (1+z)^{2l}$. сонымен қатар, (17) теңдеуде келтірілген модель динамикасы толығымен модель параметрлерімен анықталады (H_0, l). Келесі бөлімде біз космологиялық параметрлердің эволюциясын зерттейміз, осы параметрлерді (H_0, l) қол жетімді бақылау деректер жиынтығын қолдана отырып шектейміз.

Деректер және әдістеме

Бұл бөлімде масштабты коэффициенттің параметрленуінің дұрыстығын оның соңғы бақылау деректеріне сәйкестігін растай отырып бағалаймыз. Біз бірқатар бақылау деректерін, соның ішінде CC деректер жинағын, Pantheon+ SN sample Ia деректер жинағын және BAO деректер жинағын пайдаланамыз. Деректерді талдау үшін біз MCMC әдісін қолдандық (Марков Монте-Карло тізбегі) жалпыға қол жетімді пакетін қолдана отырып (Guthery, 2003). Бұл тәсіл бізге модель параметрлерін (H_0, n) шектеуге мүмкіндік берді, бұл параметрлер (Zhadyranova, 2024) кеңістігінде постериорлық үлестіруді зерттеуге мүмкіндік

берді. Талдау нәтижесінде әр параметрдің артқы таралуын бейнелейтін бір өлшемді үлестірімдер (Zhadyranova, 2024) және әртүрлі параметрлер арасындағы ковариацияны көрсететін екі өлшемді үлестірімдер алынды. Бұл үлестірулер $1 - \sigma$ және $2 - \sigma$ сенімділік деңгейлерімен толықтырылды. Мұнда біз пайдаланылған бақылау деректерін береміз:

- **СС деректер жинағы:** СС деректер жинағы әртүрлі қызыл ығысуларда Хаббл $H(z)$ жылдамдығын тікелей анықтаудың құнды әдісін ұсынады. Біздің талдауымызда біз зерттеулер негізінде жиналған 31 деректер нүктесін қолданамыз. СС әдісі әртүрлі қызыл ығысулардағы екі Галактика арасындағы жас айырмашылығын бағалау үшін пассивті түрде дамидын галактикаларды спектроскопиялық анықтау әдістерін қолдануды қамтиды. Бұл жас айырмашылығы $H(z) = -\frac{1}{1+z} \frac{dz}{dt}$ есептеуге мүмкіндік беретін бақылауларға негізделген $\frac{dz}{dt}$ туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Осылайша, СС деректері өте сенімді болып саналады, өйткені олар белгілі бір космологиялық модельге тәуелді емес, күрделі интеграцияны қажет етпейді және галактикалардың абсолютті жасын анықтауға негізделген.

- **SN деректер жиынтығы:** SN Ia-ға қатысты соңғы бақылау нәтижелері ғаламның жеделдетілген кеңею фазасының болуын растады. Соңғы екі онжылдықта SN Ia үлгілерінен жиналған деректер көлемі айтарлықтай өсті. Бұл зерттеуде біз Pantheon үлгісін қолданамыз, бұл SN Ia деректерінің ең кең таңдауының бірі, оның ішінде қызыл ығысу диапазонындағы 1048 нүкте [0.01, 2.3].

- **BAO деректер жиынтығы:** BAO фотондардан, бариондардан және күңгірт заттардан тұратын сұйықтықтағы космологиялық бұзылуларға байланысты алғашқы ғаламда пайда болған тербелістерді зерттейді. Бұл сұйықтық Томсонның шашырауына байланысты тығыз байланысты болды. BAO өлшемдеріне Sloan Digital Sky Survey (SDSS), Six Degree field Galaxy Survey (6dFGS) және бариондық тербелістерді спектроскопиялық шолу (BOSS) деректері кіреді (Bekkhzhayev, 2024).

MCMC талдауымызда біз СС + SN + BAO біріктірілген деректер жиыны үшін χ^2 функциясын қолданамыз

$$\chi_{joint}^2 = \chi_{CC}^2 + \chi_{SN}^2 + \chi_{BAO}^2 \tag{19}$$

мұндағы

$$\chi_{CC}^2 = \sum_{i=1}^{31} \frac{[H(\theta_S, z_i) - H_{obs}(z_i)]^2}{\sigma(z_i)^2} \tag{20}$$

$$\chi_{SN}^2 = \sum_{i,j=1}^{1048} \Delta\mu_i (C_{Pantheon}^{-1})_{ij} \Delta\mu_j \tag{21}$$

және

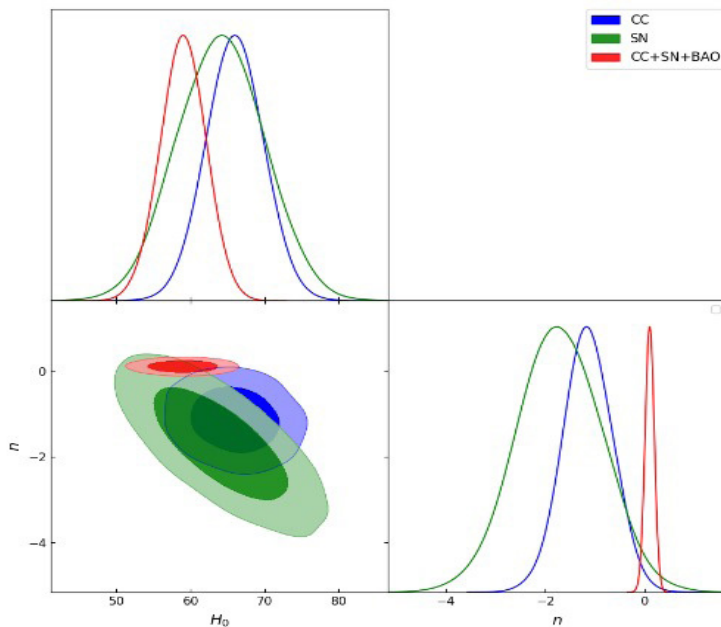
$$\chi_{BAO}^2 = X^T C_{BAO}^{-1} X \quad (22)$$

χ_{CC}^2 үшін i айнымалысы 31 деректер нүктесінде қайталанатын, олардың әрқайсысы белгілі бір z_i қызыл ығысуына сәйкес келеді. $H(\theta_S, z_i)$ - бұл модельдің параметрлерімен анықталған z_i қызыл ығысуымен модель болжаған Хаббл параметрі $\theta_S = (H_0, l)$. $H_{obs}(z_i)$ z_i қызыл ығысуында байқалатын Хаббл параметрін, ал $\sigma(z_i)$ осы қызыл ығысуда байқалған мәнмен байланысты белгісіздікті білдіреді.

χ_{SN}^2 үшін i және j айнымалылары SN Ia деректерінің 1048 нүктесінде қайталанатын. $\Delta\mu_i = \mu_{th} - \mu_{obs}$ арасындағы айырмашылықты білдіреді модулімен арақашықтық i_{th} деректер нүктелері, SN Ia және тиісті теориялық болжауға болса, C_{SN}^{-1} , SN білдіреді кері ковариационную матрицасын таңдау Pantheon+ ескеретін корреляция нүктелер арасындағы деректерді SN Ia. Әрі қарай, қашықтық Модулінің есептелген теориялық мәні келесідей анықталады $\mu_{th} = 5 \log_{10} \frac{d_L(z)}{1 \text{ Mpc}} + 25$, мұндағы $d_z(z) = c(1+z) \int_0^z \frac{dy}{H(y, \theta_S)}$ - жарқырау қашықтығы [11].

χ_{BAO}^2 үшін бұл қарастырылып отырған нақты сауалнамаға байланысты өзгертін вектор, ал C_{BAO}^{-1} - BAO деректері үшін кері ковариациялық матрица. C_{BAO}^{-1} матрицасы BAO деректер нүктелері арасындағы белгісіздік пен корреляцияны қамтиды. X тасымалдау X^T арқылы белгіленеді. Сонымен қатар, біз D_V және осы бақыланатын шамаларды әртүрлі зерттеулердегі BAO деректерімен салыстыру арқылы модель параметрлерін шектеу үшін қолданамыз: $d_A(z) = c \int_0^z \frac{dz'}{H(z')}$ және $D_V(z) = \left[\frac{d_A(z)^2 c z}{H(z)} \right]^{1/3}$. Мұнда d_A -ілеспе координаттардағы диаметр бойынша бұрыштық қашықтық, ал D_V -кеңейту шкаласы.

Нәтижелер. Λ CDM моделі арасындағы салыстыру ұсынылды, мұндағы $\Omega_{m0} = 0.315 \pm 0.007$ және $H_0 = 67/4 \pm 0.5$ км с⁻¹ Мрс⁻¹ график үшін қарастырылған. Суретте сәйкесінше 31 және 1048 деректер нүктелерін қамтитын Хаббл және Пантеон эксперименттерінің нәтижелері, сондай-ақ олардың қателері көрсетілген, бұл екі модель арасындағы нақты салыстыруды жеңілдетеді. Әрі қарай, 1 суретте CC, SN және CC+SN+BAO деректер жиынтығын қолдана отырып, H_0 және l модель параметрлері үшін $1-\sigma$ және $2-\sigma$ ықтималдық тізбектері көрсетілген. MCMC әдісін қолдана отырып, сандық есептеулерден алынған нәтижелер кестеде жинақталған. I. талдау барысында біз біріктірілген деректер жиынтығы үшін l мәні $l \sim 1.4$ аймағында шоғырланғанын анықтадық, бұл ең алдымен BAO деректерінің айтарлықтай әсеріне байланысты. Атап айтқанда, тек BAO деректерін пайдалана отырып, біз $H_0 = 70.0_{-9}^{+10}$ және $l = 1.417_{-0.025}^{+0.026}$. Деректер жиынтығындағы бұл дәйектілік модель параметрлерін неғұрлым сенімді және жан-жақты шектеу үшін біріктірілген деректерді пайдалануға назар аударуымызды негіздейді.



Сурет 1 Модель параметрлері, атап айтқанда H_0 және n , сенімділік контурларымен және артқы үлестіріммен ұсынылған.

Масштабты коэффициенттің гиперболалық параметрленуін Λ CDM моделімен статистикалық салыстыру үшін біз модельді таңдаудың екі критерийін қолданамыз: Акайке ақпараттық критерийі (AIC) және Байес ақпараттық критерийі (BIC). AIC ретінде анықталады

$$AIC \equiv \chi_{min}^2 + 2k \tag{23}$$

және BIC келесідей анықталады

$$BIC \equiv \chi_{min}^2 + k \log(N_{tot}) \tag{24}$$

мұндағы $\chi_{min}^2 = -2 \ln(\mathcal{L}_{max})$. Мұнда k модельдегі параметрлердің санын, \mathcal{L}_{max} талданатын деректер жиыны үшін максималды ықтималдық мәнін білдіреді, ал N_{tot} деректер нүктелерінің жалпы санын білдіреді. Қарастырылып отырған модельдер арасындағы ақпараттық критерий (IC) мәндерінің салыстырмалы айырмашылығына назар аударамыз. $\Delta IC_{model} = IC_{model} - IC_{min}$ деп белгіленген бұл айырмашылық әр модельдің IC мәнін бәсекелес модельдер арасындағы минималды IC мәнімен салыстырады. Джеффрис шкаласы бойынша, егер $\Delta IC \leq 2$ болса, модель

статистикалық тұрғыдан ең қолайлы деректер моделіне сәйкес келеді. 2-ден 6-ға дейінгі айырмашылық модельдер арасындағы орташа шиеленісті көрсетеді, ал 10 немесе одан да көп айырмашылық айтарлықтай шиеленісті білдіреді. Бұл салыстырулар үшін біз Λ CDM моделін эталон ретінде қолданамыз және оны біздің модельмен салыстырамыз. Содан кейін біз жоғарыда аталған мәліметтер жиынтығын қолдана отырып, H_0 және Ω_{m0} Λ CDM моделінің параметрлерін кестеде көрсетілген нәтижелермен анықтаймыз.

Талдауларымыздан CC және SN деректер жиындары үшін 2-ден төмен іс мәндері шығады. Бұл біздің модель Λ CDM моделіне де, бақылау деректер жиынтығына да сәйкес келетінін көрсетеді. Дегенмен, CC + SN + BAO деректер жиыны үшін ΔC мәні 2-ден 6-ға дейінгі диапазонда болады, бұл орташа кернеу деңгейін көрсетеді.

Хаббл параметрінің, баяулау параметрінің, зат-энергия тығыздығының және EoS параметрінің әрекетін зерттейміз. Бұл талдаулар CC, SN және CC+SN+BAO деректер жиынтығымен анықталған H_0 және l модель параметрлерінің ең қолайлы мәндеріне негізделген. β моделінің параметрі Хаббл параметрінің өрнегінде айқын көрінбейтіндіктен, біз оның зат-энергия тығыздығы мен EOS параметрінің эволюциясын зерттеуге арналған мәнін жаздық. Бақылау деректер жиынтығында көрсетілгендей $\alpha = 1,33$ мәнін қолдандық.

Космологиялық параметрлерді зерттеу ғаламның әртүрлі аспектілерін түсіну үшін өте маңызды. ғаламның жалпы динамикасын, оның кеңею жылдамдығы мен қисықтығын сипаттайтын бұл параметрлер Бариондар, фотондар, нейтринолар, DM және DE сияқты оны құрайтын элементтерден Ғаламның пайда болуын түсіндіруге үлкен қызығушылық тудырады. Кез-келген өміршең физикалық модельде бұл параметрлер шешуші рөл атқарады. Біздің жұмысымызда біз Хаббл параметрі, баяулау параметрі және EOS параметрі сияқты негізгі параметрлерге назар аудардық, бұл $f(R, L_1)$ гравитациядағы масштабты факторды параметрлеу шеңберінде.

Хаббл H параметрі ғаламның белгілі бір уақытта кеңею жылдамдығын көрсетеді. Соңғы бақылау нәтижелері Хаббл параметрі Ғаламның эволюциясы кезінде төмендейтінін көрсетеді. Бұл зерттеуде Хаббл параметрі мен модель параметрлерінің шектеулі мәндеріне негізделген z қызыл ығысуы арасындағы байланысты зерттейміз. Нәтижелер Ғаламның эволюциясы кезінде Хаббл параметрінің мәні төмендейтінін анық көрсетеді, бұл бақылау нәтижелеріне сәйкес келеді. Планк қызметкерлері жүргізген соңғы бақылау деректеріне сүйене отырып Хаббл тұрақтысы $H_0 = 67.7 \pm 0.5 \text{ км с}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ретінде анықталды. CC деректер жиынтығы үшін Хаббл тұрақтысының мәнін $H_0 = 67.6^{+1.7}_{-1.7} \text{ км с}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ретінде аламыз, $H_0 = 67.3^{+2.3}_{-2.2} \text{ км с}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ SN деректер жиынтығы үшін, және $H_0 = 66.0^{+1.2}_{-1.1} \text{ км с}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ біріккен деректер жиынтығы үшін. Бұл модельдің Хаббл тұрақтысының бақылау мәнімен толық келіскенін көрсетеді.

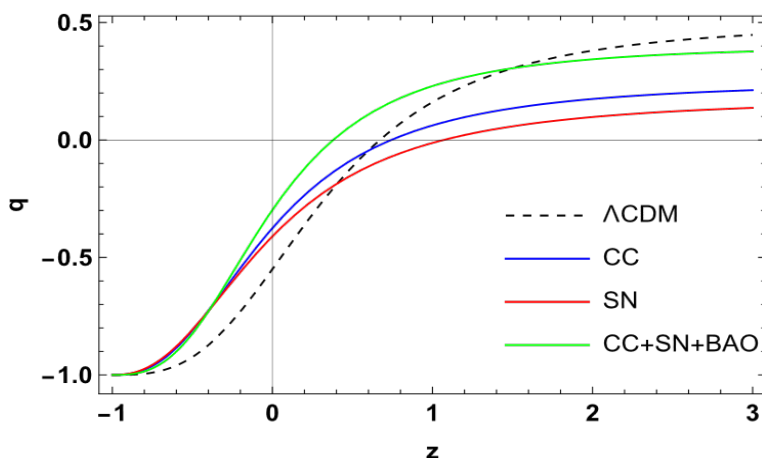
Баяулау параметрі-ғаламның кеңею тарихын сипаттайтын негізгі параметр. (17) және (18) теңдеулерден аламыз

$$\frac{H}{H^2} = l \left(\frac{1}{(1-z)^{2l} + 1} - 1 \right) \tag{25}$$

Демек, модель үшін баяулау параметрі келесідей

$$q(z) = -1 - \frac{H}{H^2} = l - 1 - \frac{l}{(1+z)^{2l} + 1} = \begin{cases} l - 1, & z \rightarrow \infty \\ -1, & z \rightarrow -1 \end{cases} \tag{26}$$

Модельдегі H Хаббл параметрінің белгісі ғаламның кеңеюін немесе кішіреюін көрсетеді, ал оның үдеуі немесе баяулауы q баяулау параметрінің белгісімен белгіленеді. оң q баяулау моделін білдіреді, ал теріс q үдеуді көрсетеді. Бір қызығы, SNe Ia және CMBR сияқты ағымдағы бақылаулар $q < 0$ бар жеделдету модельдерінің пайдасына бейім, бірақ олар бұл сценарийді нақты қолдамайды. (26) теңдеуден q баяулау параметрі $l - 1$ -ден -1 -ге дейін монотонды түрде азаятынын көруге болады. Бұл ғаламның кеңеюі баяулаудан ерте дәуірге ($l > 1$ кезінде) алыс болашақтағы үдеуге ауысатынын білдіреді. Енді осы модель үшін q -ның қызыл ығысу z графигін 2-суретте ұсынамыз. Үлгіні талдай отырып, біз модель параметрлерінің шектеулі мәндеріне сәйкес келетін баяулау параметрінің әрекетін байқаймыз. Қызыл ығысу азайған сайын баяулау параметрі азайып, барған сайын теріс мәндерге жететінін ескеріңіз. Баяулау параметрінің бұл теріс мәні ғаламның жеделдетілген кеңеюін көрсетеді, бұл бақылау деректеріне толық сәйкес келеді. Бұдан әрі q мәндері $q_0 = -0.38^{+0.06}_{-0.06}$ ретінде анықталады, $q_0 = -0.41^{+0.10}_{-0.11}$ және $q_0 = -0.30^{+0.01}_{-0.01}$ CC, SN деректер жиынтығы үшін және біріктірілген деректер, сәйкесінше.



Сурет 2 Q баяулау параметрінің z қызыл ығысуына тәуелділік графигі.

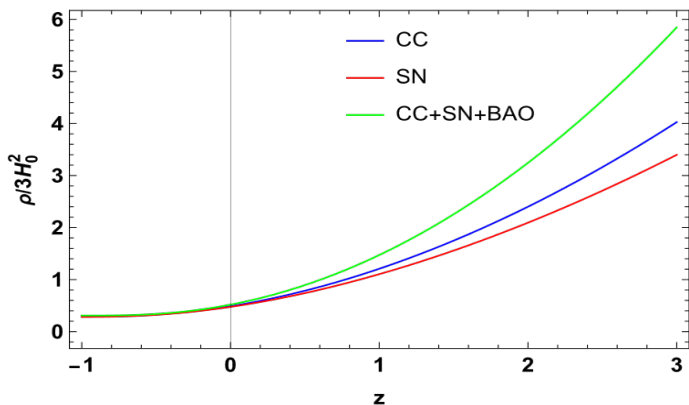
Әрі қарай, осы модельдегі EOS ω параметрінің әрекетін қарастырамыз. EoS параметрі-ғаламның энергия тығыздығының қасиеттерін сипаттайтын маңызды параметрлердің бірі. Ол зат қысымының оның энергия тығыздығына қатынасы ретінде анықталады ($\omega = \frac{p}{\rho}$). (12) және (13) теңдеулерден біз EoS параметрін келесідей аламыз

$$\omega = -1 + \left(\frac{2-4\beta}{3\beta} \right) \frac{H}{H^2} \quad (27)$$

(25) теңдеуден

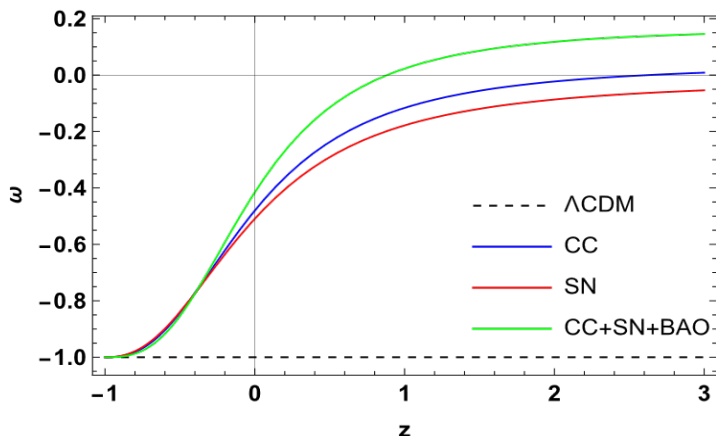
$$\omega(z) = -1 + \frac{2(2\beta-1)l(1+z)^{2l}}{3\beta((1+z)^{2l}+1)} \quad (28)$$

Талқылау. Сонымен әлемнің әртүрлі компоненттері үшін, мысалы, зат, сәулелену және DE, EoS параметрі ғаламның эволюциясына әсер ететін әртүрлі мәндерді алады. Барион және күңгірт материя сияқты релятивистік емес материя үшін EoS параметрі шамамен $\omega \approx 0$ -ге тең, бұл қысымның энергия тығыздығымен салыстырғанда шамалы екенін көрсетеді. Фотондар мен нейтрино сияқты релятивистік бөлшектердің EOS параметрі $\omega \approx \frac{1}{3}$ -ке тең, бұл олардың қысымы жоғары жылдамдығына байланысты энергия тығыздығының үштен бірін құрайтындығын көрсетеді. DE, ғаламның жеделдетілген кеңеюін басқаратын жұмбақ компонент тұрақты немесе уақыт бойынша өзгертін EOS параметрімен сипатталады. Космологиялық тұрақты, көбінесе DE-мен анықталады, $\omega \approx -1$ мәніне ие және гравитацияға қарсы теріс қысым жасайды, нәтижесінде байқалатын үдеу пайда болады. Квинтэссенция-бұл EOS параметрі уақыт бойынша өзгертін, әдетте потенциалдық энергия өрісіне тәуелді DE формасы. Ол $-1 < \omega < -1/3$ мәніне ие және космологиялық тұрақтыдан өзгеше әрекет етеді, нәтижесінде қызықты космологиялық динамика пайда болады. Фантомдық энергия-бұл DE-нің тағы бір түрі $\omega < -1$, бұл одан да жылдам кеңеюге әкеледі, бұл «үлкен алшақтық» сценарийіне әкелуі мүмкін, онда DE тығыздығының жоғарылауына байланысты ғалам бөлшектенеді. SN Ia, CMBR және BAOs өлшемдерін қоса алғанда, бақылау деректері DE үшін EoS параметрінің мәнін шектейді. Ағымдағы шектеулер ω - 1-ге өте жақын екенін көрсетеді, бұл DE өзін космологиялық тұрақты сияқты ұстайтынын көрсетеді. Алайда, $\omega = -1$ -ден шамалы ауытқулар DE табиғатын толық түсіну үшін әлі де зерттелуде.



Сурет 3 Материя энергия тығыздығының ρ қызыл ығысуына байланысты z графигі

Заттың – энергияның тығыздығы мен EOS параметрінің z -тің қызыл ығысуынан суреттегі графиктерін ұсынамыз. Модель параметрлерінің шектеулі мәндеріне сәйкес келетін 3 суретте ғарыштық материя– энергияның тығыздығы күткендей әрекет ететінін көреміз, бұл оң тенденцияны көрсетеді және алыс болашақта ғалам кеңейген сайын азаяды. Бұл мінез-құлық Ғаламның эволюциясы туралы стандартты түсініктерге сәйкес келеді. Модель параметрлерінің барлық қарастырылған мәндерінде модель материяның үстемдік ету дәуірінен басталады (ерте заманда), квинтессенция фазасынан өтеді (қазіргі уақытта) және сайып келгенде Λ CDM моделіне жақындайды (кейінгі уақытта). Сонымен қатар, 4 суретте EoS параметрінің ағымдағы мәндері квинтессенцияға ұқсас мінез-құлықты көрсететінін байқаймыз.



Сурет 4 EOS ω параметрінің z қызыл ығысуына тәуелділік графигі.

Қорытынды

$f(R, L_m)$ гравитация теориясындағы талдауымыз кеш ғарыштық кеңеюдегі квинтессенциалды мұздату сценарийін жан-жақты түсінуді ұсынады. Біз белгілі бір сызықтық емес модельге $f(R, L_m)$, назар аудардық, $f(R, m) = \frac{R}{\alpha} + L_m^\beta$, мұндағы α - еркін параметр. Бұл модельдің шешімі $a(t) = \sqrt[n]{\sinh(t)}$ ретінде берілген масштаб коэффициентінің сәйкес параметрленуін қолдану арқылы алынады, мұндағы $l > 0$ -ерікті тұрақты. Сонымен қатар, біз Λ CMB деректер жиынтығының, жақында жарияланған Pantheon+ (SN) деректер жиынтығының, сондай-ақ Λ CMB+SN+BAO біріктірілген деректер жиынтығының тіркесімін қолдана отырып, модель параметрлерін сәтті шектедік, бұл бақылау деректерімен жақсы келісілген нәтижелерге қол жеткіздік.

Сонымен қатар, Хаббл параметрінің әрекетін, баяулау параметрін, заттың энергия тығыздығын және модель параметрлерінің шектеулі мәндері үшін EoS параметрін зерттедік. 2-суретте Хаббл параметрі ғаламның эволюциясы кезінде төмендейтіні көрсетілген, бұл бақылау нәтижелеріне сәйкес келеді. Атап айтқанда, біз H параметрі z жоғарылаған сайын өсетінін байқадық. Сонымен қатар, біз Хаббл параметрінің ағымдағы мәндері Planck ($H_0 = 67.4 \pm 0.5 \text{ км с}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$) бірлесе отырып алынған деректерге сәйкес келетінін анықтадық. Эволюцияның алғашқы кезеңдерінде ғаламда материя басым болды, бұл баяулау кезеңіне әкелді. Алайда, ғалам кеңейген сайын, баяулау фазасы үдеу фазасымен ауыстырылды, бұл негізінен DE-нің басым болуына байланысты. Біз баяулау параметрін зерттедік және оның өзгеруін 4-суреттегі қызыл ығысуға байланысты суреттедік. Бұл графиктен баяулау параметрінің белгісі шамамен 0,3-1 өтпелі қызыл ығысу кезінде өзгергенін көруге болады, бұл ғаламның баяулау фазасынан үдеу фазасына өтуін көрсетеді. Бұл ауысу біздің модельдің физикалық сенімділігінің сенімді дәлелі ретінде қызмет етеді. EoS параметрі және зат-энергия тығыздығы ғарыштық уақыт ішінде күтілетін тенденцияларға сәйкес келеді, әр түрлі фазалардан өтіп, кейінгі уақыт кезеңдерінде Λ CDM моделіне жақындайды (5 және 6 суретті қараңыз). EoS параметрінің ағымдағы мәндері квинтессенцияға ұқсас мінез-құлықты көрсетеді. Маңыздысы, модель Λ CDM шегіне сәйкестігін көрсетеді және ω - ω' жазықтығында мұздату әрекетін көрсетеді (7 суретті қараңыз). Мұздату аймағында ғалам еру аймағына қарағанда тезірек кеңейеді. Сонымен қатар, дыбыс жылдамдығы ғарыштық эволюция кезінде тұрақты шектерде қалады, бұл модельдің тығыздық бұзылыстарына төзімділігін қамтамасыз етеді (8 суретті қараңыз).

Қорытындылай келе, сызықтық емес $f(R, L_m)$ моделінің бөлігі ретінде физикалық тұрғыдан тиімді шешімдер жиынтығын шығардық. Өртүрлі космологиялық параметрлерді талдауымыз модификацияланған ауырлық күші $f(R, L_m)$ қазіргі ғаламның үдеу фазасын сипаттайтын сенімді тәсіл екенін растайтын модельміздің тұрақтылығын көрсетеді.

Әдебиеттер

Аганим Н. (2020) Планк 2018 зерттеу нәтижелері VI. Космологиялық параметрлер / Ю. Акрами, М. Ашдаун, Дж. Омонт, М. Баллардини т.б. // *Astronomy & Astrophysics*. – 2020. – № 641. – А6 р.

Бекхожаев С. (2024) $f(Q, T)$ гравитация жағдайында тұтқырлық пен анизотропияның ғарыш кеңеюіне әсері / А. Жадыранова, В. Жумабекова // *Physics of the Dark Universe*. – 2024. – No. 45. – 101528 р.

Блейк К. (2011) WiggleZ dark energy шолуы: бариондық акустикалық тербелістер арқылы қашықтықтың қызыл ығысуға тәуелділігін көрсету / Э.А. Казин, Ф. Бойтлер, Т.М. Дэвис, Д. Паркинсон т.б. // *Royal Astronomical Society*. – 2011. – № 418. – Б. 1707-1724.

Бойтлер Ф. (2011) 6df галактикасына шолу: бариондық акустикалық тербелістер және жергілікті Хаббл константасы. / К. Блейк, М. Коллесс, Д.Х. Джонс, Л. Стейвли-Смит т.б. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. – 2011. – № 416. – Б. 3017-3032.

Гатери Ф.С. (2003) Модельді таңдау және көп модельді қорытынды: практикалық ақпараттық-теориялық тәсіл. / К.П. Бернхэм, Д.Р. Андерсон // *Journal of Wildlife Management*. – 2003. – № 67. – Б. 655-656.

Де Лаурентис М. (2015) $F(R,G)$ гравитациялық өрістегі космологиялық инфляция / М. Паолелла және С. Капоциелло // *Physical Review D*. – 2015. – № 91. – 083531 р.

Де ла Крус-Домбриз А. (2012) $f(R,G)$ гравитация жағдайында космологиялық шешімдердің тұрақтылығы туралы / Д. Саес-Гомес // *Classical and Quantum Gravity*. – 2012. – № 29. – Б. 0264-9381.

Жадыранова А. (2024) Вейл типті $f(Q, T)$ гравитациясындағы материяның серпілу космологиясының динамикасы / М. Кусур, С. Бекхожаев // *Chinese Journal of Physics*. – 2024. – No. 89. – Б. 1483-1492.

Жадыранова А. (2024) Кеш уақыттағы ғарыштық үдеулерді зерттеу: бакылау деректерін пайдалана отырып, сызықтық (T) космологиялық модельді зерттеу / М. Кусур, С. Бекхожаев, В. Жумабекова, Ж. Райимбаев // *Physics of the Dark Universe*. – 2024. – No. 45. – 101514 р.

Колдуэлл Р.Р. (2005) Квинтэссенция шектері // *Physical Review Letters*. – 2005. – № 95. – 141301 р.

Корда К. (2009) Гравитациялық толқындарды интерферометриялық анықтау: жалпы салыстырмалылықтың соңғы сынағы // *International Journal of Modern Physics D*. – 2009. – № 18. – Б. 2275-2282.

Кусур М. (2022) (R,T) гравитациядағы көлемдік тұтқырлығы бар Бианканың I типті кеңістік уақытында / М. Беннаи // *Geometric Methods in Modern Physics*. – 2022. – № 19. – 2250038 р.

Малик А. (2023) ЛНС-де фемтоскопиялық корреляцияларды пайдалана отырып, \overline{KN} -қосылған арна динамикасын шектеу / С. Ачарья, Д. Адамова, А. Адлер, Г.Аглиери Ринелла т.б. // *European Physical J. C*. – 2023. – № 83. – 340 р.

Нагпал Р. (2019) $F(R,T)$ гравитация жағдайында гиперболалық шешімнің космологиялық аспектілері / Дж. К. Сингх, А. Бишем және Х. Шабани // *Annals of Physics*. – 2019. – № 405. – Б. 234-255.

Перлмуттер С. (1999) Қызыл ығысуы жоғары 42 суперновалар үшін Ω және Λ өлшемдері / Г. Олдеринг, Г. Голдхабер, Р.А. Кноп, П. Ньюджент т.б. // *Astrophysical Journal*. – 1999. – № 517. – Б. 565-586.

Персиваль Дж.У. (2010) Слоан цифрлық аспанға шолу деректеріндегі бариондық

акустикалық тербелістер 7 галактиканың үлгісі / А.Р. Бет, Дж.Э. Дэниел, А.Б. Нета, Т. Будавари т.б. // Royal astronomical society. – 2010. – № 401. – Б. 2148-2168.

Райден Б. (2003) Редкие формулы для определения модуля расстояния в космологии // Introduction to Cosmology. – 2003. – № 7. – Б. 2380-4327

Рисс А.Г. (1998) Супернованың үдемелі ғалам мен космологиялық тұрақты туралы бақылауларының деректері / А.В. Филиппенко, П. Чаллис, А. Клоккиатти, А. Диркс т.б. // Astronomical Journal. – 1998. – № 116. – Б. 1009-1038.

Харко Т. (2010) $f(R, L_m)$ гравитациясы / Ф.С.Н. Лобо // European Physical J. C. – 2010. – № 70. – Б. 373-379.

Цуджикава С. (2013) Квинтэссенция: шолу // Classical and Quantum Gravity. – 2013. – № 30. – 214003 p.

Чавла С. (2012) Бастапқы баяулау фазасынан қазіргі үдеу фазасына дейінгі G және Λ өзгеретін ішекті космологиялық модельдер / Р. К. Мишра және А. Прадхан // European Physical Journal Plus. – 2012. – № 127. – 137 p.

References

Aghanim N., Yashar A. (2020) Planck 2018 results. VI. cosmological parameters, Astronomy & Astrophysics, 641:A6. DOI: 10.1051/0004-6361/201833910 (in Eng.).

Bekkhochayev S., Zhadyranova A. (2024) The impact of viscosity and anisotropy on cosmic expansion in (Q) gravity, Physics of the Dark Universe, 45:101528. DOI: 10.1016/j.dark.2024.101528 (in Eng.).

Beutler F., Colles M. (2011) The 6dF Galaxy Survey: baryon acoustic oscillations and the local Hubble constant, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 416:3017-3032. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2011.19250.x (in Eng.).

Blake C., Beutler F. (2011) The WiggleZ Dark Energy Survey: mapping the distance-redshift relation with baryon acoustic oscillations, Royal Astronomical Society, 418:1707-1724. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2011.19592.x (in Eng.).

Caldwell R.R. (2005) Limits of Quintessence, Physical Review Letters, 95:141301. DOI: 10.1103/PhysRevLett.95.141301 (in Eng.).

Chawla C., Mishra R.K. (2012) String cosmological models from early deceleration to current acceleration phase with varying G and Λ , European Physical Journal Plus, 127:137. DOI: 10.1140/epjp/i2012-12137-4 (in Eng.).

Corda C. (2009) Interferometric detection of gravitational waves: the definitive test for general relativity, International Journal of Modern Physics D, 18:2275-2282. DOI:10.1142/S0218271809015904 (in Eng.).

De la Cruz-Dombriz, Sáez-Gómez Diego D. (2012) On the stability of the cosmological solutions in $f(R,G)$ gravity, Classical and Quantum Gravity, 29:0264-9381. DOI: 10.1088/0264-9381/29/24/245014 (in Eng.).

De Laurentis M., Paolella M. (2015) Cosmological inflation in $F(R,G)$ gravity, Physical Review D, 91:083531. DOI: 10.1103/PhysRevD.91.083531 (in Eng.).

Guthery F.S., Burnham K.R. (2003) Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach, Journal of Wildlife Management, 67:655-656. DOI: 10.2307/3802723 (in Eng.).

Harko T., Lobo F.S.N. (2010) $f(R, L_m)$ gravity, European Physical J. C, 70:373-379. DOI: 10.1140/epjc/s10052-010-1467-3 (in Eng.).

Koussour M., Bennai M. (2022) On a Bianchi type-I space-time with bulk viscosity in (R ,) gravity, Geometric Methods in Modern Physics, 19:2250038. DOI: 10.1142/S0219887822500384 (in Eng.).

Malik A., Adamová D. (2023) Constraining the \overline{KN} coupled channel dynamics using femtoscopic correlations at the LHC, European Physical J. C., 83:340. DOI: 10.1140/epjc/s10052-023-11476-0 (in Eng.).

Nagpal R., Beesham A. (2019) Cosmological aspects of a hyperbolic solution in $f(R,T)$ gravity, Annals of Physics, 405:234-255. DOI: 10.1016/j.aop.2019.03.015 (in Eng.).

Percival W. J., Budavari T. (2010) Baryon acoustic oscillations in the Sloan Digital Sky Survey Data Release 7 galaxy sample, Royal astronomical society, 401:2148-2168. DOI:10.1111/j.1365-2966.2009.15812.x (in Eng.).

Perlmutter S., Nugent P. (1999) Measurements of Ω and Λ from 42 high-redshift supernovae, Astrophysical Journal, 517:565-586. DOI: 10.1086/307221 (in Eng.).

Riess A.G., Challis P. (1998) Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant, Astronomical Journal, 116:1009-1038. DOI: 10.1086/300499 (in Eng.).

Ryden B. (2003) Sparse Formulae for the Distance Modulus in Cosmology, Introduction to Cosmology, 7:2380-4327. DOI: 10.4236/jhepgc.2021.73057 (in Eng.).

Tsujikawa S. (2013) Quintessence: a review, Classical and Quantum Gravity, 30:214003. DOI: 10.1088/0264-9381/30/21/214003 (in Eng.).

Zhadyranova A., Bekkhozhayev B. (2024) The dynamics of matter bounce cosmology in Weyl-type (Q) gravity, Chinese Journal of Physics, 89:1483-1492. DOI: 10.1016/j.cjph.2024.04.023 (in Eng.).

Zhadyranova A., Koussour M. (2024) Exploring late-time cosmic acceleration: A study of a linear $f(T)$ cosmological model using observational data, Physics of the Dark Universe, 45:101514. DOI: 10.1016/j.dark.2024.101514 (in Eng.).

CONTENTS

PHYSICAL

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

CHEMISTRY

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

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

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

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

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

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

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

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

ХИМИЯ

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

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

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

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

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

ХИМИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the originality detection service Cross Check <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

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

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

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

Редакторы: *Д.С. Аленов, Ж.Ш. Әден*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 12.12.2023.

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

9,0 п.л. Тираж 300. Заказ 3.

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