

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

**ACADEMIC JOURNAL  
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№3  
2025**

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

2025 • 3



**ACADEMIC JOURNAL  
OF PHYSICAL AND  
CHEMICAL SCIENCES**

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

**Editor-in-Chief:**

**ZHURINOV Murat Zhurinovich**, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Acting President of RPA NAS RK, General Director of JSC "Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky" (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

**Editorial Board:**

**KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>

**ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich**, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Director of the International Science and Production Holding "Phytochemistry" (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

**RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich**, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>

**ABIEV Rufat**, Doctor of Technical Sciences (Biochemistry), Professor, Head of the Department of Optimization of Chemical and Biotechnological Equipment, St. Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>

**OLIVIERO Rossi Cesare**, PhD (Chemistry), Professor at the University of Calabria (Calabria, Italy), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>

**TIGINYANU Ion Mihailovich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician, President of the Academy of Sciences of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>

**SANG SU Kwak**, PhD (Biochemistry, Agricultural Chemistry), Professor, Chief Scientist, Research Center for Plant Systems Engineering, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), (Daecheon, Korea), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>

**BERSIMBAYEV Rakhmetkazi Iskenderovich**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>

**CALANDRA Pietro**, PhD (Physics), Professor, Institute for the Study of Nanostructured Materials (Rome, Italy), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>

**BOSHKAEV Kuantai Avgazyevich**, PhD, Associate Professor, Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>

**BURKITBAEV Mukhambetkali**, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>

**QUEVEDO Hernando**, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>

**ZHUSUPOV Marat Abzhanovich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>

**KOVALEV Alexander Mikhailovich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of NAS of Ukraine, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk, Ukraine), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>

**TAKIBAEV Nurgali Zhabagaevich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>

**KHARIN Stanislav Nikolaevich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>

**DAVLETOV Askar Erbulanovich**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Branch of NRNU MEPhI Kazakh National University named after Al-Farabi (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

**ABISHEV Medeu Erzhanovich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>

**ABILMAGZHANOV Arlan Zainutalievich**, PhD in Chemistry, First Deputy Director General of JSC "Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky", (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>

**ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES.****ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)**

Owner: «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of Information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan № **KZ93VPY00121157** issued **05.06.2025**Thematic scope: *physics and chemistry*.

Periodicity: 4 times a year.

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

**Бас редактор:**

**ЖУРЫНОВ Мұрат Жұрынулы**, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҰҒА РҚБ президенті м.а., АҚ «Д.В. Сокольский атындағы Отын, катализ және электрохимия институтының» бас директоры (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

**Редакция ұжымы:**

**ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нүрәліұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>

**ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мыңжасарұлы**, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «Фитохимия» халықаралық ғылыми-өндірістік холдингінің директоры (Қарағанды, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

**РАМАЗАНОВ Тілекқабұл Сәбитұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>

**ӘБИЕВ Руфат**, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны онтайландыру» кафедрасының меңгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>

**ОЛИВЬЕРО Россин Сезаре**, PhD (химия), Калабрия университетінің профессоры (Калабрия, Италия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>

**ТИГИНЯНУ Ион Михайлович**, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>

**САНГ-СУ Квак**, PhD (биохимия, агрохимия), профессор, Корей Биоғылым және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIBB), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері, (Дэчон, Корея) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>

**БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы**, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті. (Астана, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>

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

**БОШКАЕВ Қуанғай Ағвазыұлы**, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>

**Бүркітбаев Мұхамбетқали**, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>

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

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

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

**ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>

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

**ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович**, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, ҰЯЗУ МИФИ әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

**ӘБШЕВ Медеу Ержанұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>

**ӘБІЛМАҒЖАНОВ Арпан Зайнуталлайұлы**, химия ғылымдарының кандидаты, Д.В. Сокольский атындағы "Отын, катализ және электрохимия институты" АҚ Бас директорының бірінші орынбасары, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>

**ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

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

Меншіктеуші: «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС (Алматы қ.).

Ақпарат агенттігінің мерзімді баспасөз басылымын, ақпарат агенттігін және желілік басылымды қайта есепке қою туралы ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі «Ақпарат комитеті» Республикалық мемлекеттік мекемесі **05.06.2025 ж.** берген № **KZ93VPY00121157** Күзлік.

Тақырыптық бағыты: *физика, химия.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

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

**Главный редактор:**

**ЖУРИНОВ Мурат Журинович**, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. президента РОО НАН РК, Генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского» (Алматы, Казахстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

**Редакционная коллегия:**

**КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>

**АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович**, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного научно-производственного холдинга «Фитохимия» (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

**РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович**, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>

**АБИЕВ Руфат**, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>

**ОЛИБЬЕРО Росси Чезаре**, доктор философии (PhD, химия), профессор Университета Калабрии (Калабрия, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>

**ТИГИНЯНУ Ион Михайлович**, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>

**САНГ-СУ Квак**, доктор философии (PhD, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB), (Дэчон, Корея), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>

**БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендерович**, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>

**КАЛАНДРА Пьетро**, доктор философии (PhD, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>

**БОШКАЕВ Куантай Авгазиевич**, PhD, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>

**БҮРКИТБАЕВ Мухамбеткали**, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>

**QUEVEDO Hernando**, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>

**ЖУСУПОВ Марат Абжанович**, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>

**КОВАЛЕВ Александр Михайлович**, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>

**ТАКИБАЕВ Нургали Жабагаевич**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>

**ХАРИН Станислав Николаевич**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>

**ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович**, кандидат физико-математических наук, доцент, Филиал НИЯУ МИФИ Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

**АБИШЕВ Медеу Ержанович**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>

**АБИЛЬМАГЖАНОВ Арлан Зайнуталлаевич**, кандидат химических наук, первый заместитель генерального директора АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>

**ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

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

Собственник: ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр» (г. Алматы).

Свидетельство № KZ93VPY00121157 о повторной регистрации периодического печатного издания информационного агентства, информационного агентства и сетевого издания, выданное Республиканским государственным учреждением «Комитет информации» Министерства культуры и информации Республики Казахстан **05.06.2025**Тематическая направленность: *физика, химия*.

Периодичность: 4 раза в год.

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

© ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр», 2025

## CONTENTS

## PHYSICS

**M.B. Albatyrova**

Energy evolution equation in a nonlinear spin system: derivation and numerical modeling.....11

**E.A. Dmitriyeva, A.E. Kemelbekova, A.K. Shongalova, O.A. Shilova**

Effect of the precursor concentration on the morphology and photosensitivity of the resulting ZnO thin films.....21

**A. Istlyaup, L. Myasnikova, A. Lushchik**

Computer simulation of the electrical properties of a carbon sheet with alkali metal iodide crystals.....33

**A. Kenesbayeva, Ye.I. Kuldeev, E.O. Shalenov, T.B. Nurpeissova**

Determination of the gravitational constant.....49

**Sh.T. Nurmakhmetova, N.L. Vaidman, S.A. Khokhlov, A.T. Agishev, A.A. Khokhlov**

The emission-line dusty object IRAS 07080+0605: evidence for binarity.....60

**E.Otunchi, A.A. Migunova, A.Umirzakov, N.Tokmoldin**

Effect of the composition of the film-forming system on the properties of SnO<sub>2</sub> films obtained by spray pyrolysis.....71

**U.A. Ualikhanova, A.N. Abdipatta, O.V. Razina, A.M. Syzdykova, G.S. Altayeva**

Bulk viscosity in f(T) gravity and its impact on cosmological evolution.....83

**A.Zh. Umirbayeva, L. Aktay, L.N. Kondratyeva, I.M. Izmailova, A. Shomshekova**

Methodology for the reduction of archival slit spectra of planetary nebulae.....99

**N. Eghtesadi, S.S. Uzakbaeva, Z.K. Aimaganbetova, N.N. Zhanturina, A.Z. Bekeshev**

Prediction of the kinetic properties of low-density polyethylene.....115

**D. Yurin, D. Kuvatova, A. Glushenko, Ch. Omarov, M. Makukov**

Analysis of the limits of direct n-body simulation using Nvidia RTX4090 GPU cards.....131

## CHEMISTRY

<b>A.S. Beisenova, A.A. Zhanybekova, M.M. Duysebaeva, G.E. Berganaeva</b> Study of the chemical composition of <i>Centaurea diffusa</i> Lam. growing in the territory of Almaty region.....	146
<b>N.N. Berikbol, Zh.S. Kassymova, L.K. Orazzhanova, A.N. Klivenko, N.N. Nurgaliyev</b> Synthesis of interpolyelectrolyte complexes from fluorescently labeled biopolymers.....	161
<b>O.A.Yessimova, S.Sh. Kumargaliyeva, B.K. Musabekov, A.K. Konysbek</b> Colloidal - chemical properties of alhagi and tansy ( <i>tanacetum</i> ) hydrolates.....	182
<b>R.N. Zhanaliyeva, B. Imangaliyeva, B. Torsykbaeva, R. Kozykeyeva</b> Catalytic hydrogenation of carbonyl-containing compounds: mechanism, catalysts and application.....	193
<b>M.A. Zhumash, K. Tilegen, Y.A. Boleubayev, S.S. Itkulova</b> Dry reforming of methane over the high active Co-Fe-Ir-containing alumina supported catalyst.....	207
<b>M. Ibrayeva, N. Sagdollina, Zh. Mukazhanova, Sh. Sanyazova, M.Ozturk</b> Optimization of flavonoid extraction conditions from a plant of the genus <i>Symphotrichum novi-belgii</i> .....	218
<b>M.K. Kurmanaliev, Zh.E. Shaikhova, S.O. Abilkasova</b> Supramolecular polymeric receptors for binding alkali metal ions.....	228
<b>Y.A. Mussatay, M.I. Tulepov</b> Carbon filters from rice husk for air purification in confined spaces.....	238
<b>A.Zh. Mutushev, A.B. Seisenova, O.S. Kapizov, A.M. Nuraly, D.K. Mukhanov</b> Integrated process for the synthesis of carbon-silicon nanocomposites from biowaste and metallurgical sludge.....	258
<b>A.S. Sass, I.I. Torlopov, K.S. Rakhmetova, D.A. Zhumadullaev, M. Zhurinov</b> Influence of metal surface mechanical preparation on the properties of phosphate coatings.....	274

## МАЗМҰНЫ

## ФИЗИКА

**М.Б. Альбатырова**Сызықтық емес спиндік жүйедегі энергия эволюциясының теңдеуі:  
шығарылуы және сандық модельдеу.....11**Е.А. Дмитриева, А.Е. Кемелбекова, А.Қ. Шонғалова, О.А. Шилова**Прекурсор концентрациясының алынған жұқа ZnO жабындарының  
құрылымы мен фотосезімталдығына әсері.....21**Н. Эхтесади, С.С. Узакбаева, З.К. Аймаганбетова, Н.Н. Жантурина,  
А.З. Бекешев**Төмен тығыздықтағы полиэтиленнің кинетикалық қасиеттеріне  
болжау жасау.....33**А. Истляуп, Л. Мясникова, А. Лущик**Сілтілі металл иодидтерінің кристалдарымен көміртек қабатының  
электрлік қасиеттерін компьютерлік модельдеу.....49**А. Кенесбаева, Е. Кульдеев, Е. Шаленов, Т. Нурпеисова**

Гравитациялық тұрақтыны анықтау.....60

**Ш.Т. Нурмахаметова, Н.Л. Вайдман, С.А. Хохлов, А.Т. Агишев, А.А. Хохлов**

IRAS 07080+0605 эмиссиялық объекті: екіжұлдыздық жүйенің дәлелі.....71

**Е. Отунчи, А.А. Мигунова, А.Г. Умирзаков, Н. Токмолдин**Жабын түзуші жүйе құрамының спрей-пиролиз әдісімен алынған  
SnO<sub>2</sub> жабындарының қасиетіне әсері.....83**У.А. Уалиханова, А.Н. Әбдіпатта, О.В. Разина, А.М. Сыздыкова, Г.С. Алтаева**f(T) гравитациясындағы көлемдік тұтқырлық және оның  
космологиялық эволюцияға әсері.....99**А.Ж. Умирбаева, Л. Актай, Л.Н. Кондратьева, И.М. Измайлова,  
С.А. Шомшекова**Планетарлық тұмандықтардың архивтік саңылаулы спектрлерін  
өңдеу әдістемесі.....115**Д. Юрин, Д. Куватова, А. Глущенко, Ч. Омаров, М. Макуков**N-бөлшекті тікелей үлгілеудің шектерін Nvidia RTX 4090  
GPU-карталарын пайдаланып талдау.....131

## ХИМИЯ

- А.С. Бейсенова, А.А. Жаныбекова, Г.Е. Берганаева, М.А. Дюсебаева**  
Алматы облысының аумағында өсетін шашыңқы гүлкекіре *Centaurea diffusa* Lam. өсімдігінің химиялық құрамын зерттеу.....146
- Н.Н. Берікбол, Ж.С. Касымова, Л.К. Оразжанова, А.Н. Кливенко, Н.Н. Нурғалиев**  
Флуоресцентті таңбаланған биополимерлерден интерполиэлектрлиттік комплексті синтездеу.....161
- О.А. Есимова, С.Ш. Құмарғалиева, К.Б. Мусабеков, А.Қ. Қонысбек**  
Жантақ және түймешетен гидрولاتтарының коллоидтық-химиялық қасиеттері.....182
- Р.Н. Жаналиева, Б. Иманғалиева, Б.Б. Торсыкбаева, Р. Козыкеева, Р.Э. Ходжаназаров**  
Құрамында карбонил бар қосылыстардың каталитикалық гидрогенизациясы: механизмі, катализаторлары және қолданылуы.....193
- М.А. Жұмаш, К.Т. Тілеген, Е.А. Болеубаев, Ш.С. Итқұлова**  
Алюминий тотығына қондырылған жоғары белсенді Co-Fe-Ir құрайтын катализатордағы метанның құрғақ риформингі.....207
- М. Ибраева, Н. Сағдоллина, Ж. Мукажанова, Ш. Саньязова, М. Ozturk**  
*Symphyotrichum novi-belgii* тұқымдас өсімдіктен флавоноидтарды алу жағдайларын оңтайландыру.....218
- М.Қ. Құрманалиев, Ж.Е. Шаихова, С.О. Әбілқасова**  
Сілтілік металл иондарын байланыстыруға арналған супрамолекулалық полимерлік рецепторлар.....228
- Е.А. Мұсатай, М.И. Тулепов**  
Шағын кеңістіктегі ауаны тазартуға арналған күріш қауызы негізіндегі көміртек құрамды сүзгілер.....238
- А.Ж. Мутушев, А.Б. Сейсенова, Ө.С. Капизов, Ә.М. Нұралы, Д.К. Муханов**  
Биоқалдықтар мен металлургиялық шламнан көміртек-кремний нанокөміртектерін синтездеудің интеграцияланған әдісі.....258
- А.С. Сасс, И.И. Торлопов, К.С. Рахметова, Д.А. Жумадуллаев, М. Журинов**  
Металдар бетін механикалық дайындаудың фосфатты жабындар қасиеттеріне әсері.....274

## СОДЕРЖАНИЕ

## ФИЗИКА

**М.Б. Альбатырова**Уравнение эволюции энергии в нелинейной спиновой системе:  
вывод и численное моделирование.....11**Е.А. Дмитриева, А.Е. Кемелбекова, А.Қ. Шонғалова, О.А. Шилова**Влияние концентрации прекурсора на морфологию и фоточувствительность  
получаемых тонких пленок ZnO.....21**А. Истляуп, Л. Мясникова, А. Лущик**Компьютерное моделирование электрических свойств углеродного листа  
с кристаллами йодидов щелочных металлов.....33**А. Кенесбаева, Е. Кульдеев, Е. Шаленов, Т. Нурпеисова**

Определение гравитационной постоянной.....49

**Ш.Т. Нурмахаметова, Н.Л. Вайдман, С.А. Хохлов, А.Т. Агишев, А.А. Хохлов**Эмиссионный пылевой объект IRAS 07080+0605: доказательство двойной  
природы.....60**Е. Отунчи, А.А. Мигунова, А.Г. Умирзаков, Н. Токмолдин**Влияние состава пленкообразующей системы на свойства пленок  
SnO<sub>2</sub>, полученных методом спрей-пиролиза.....71**У.А. Уалиханова, А.Н. Эбдіпатта, О.В. Разина, А.М. Сыздыкова, Г.С. Алтаева**Объемная вязкость в f(T) гравитации и ее влияние  
на космологическую эволюцию.....83**А.Ж. Умирбаева, Л. Актай, Л.Н. Кондратьева, И.М. Измайлова,  
С.А. Шомшекова**

Методика обработки архивных щелевых спектров планетарных туманностей...99

**Н. Эхтесади, С.С. Узакбаева, З.К. Аймаганбетова, Н.Н. Жантурина,  
А.З. Бекешев**

Прогнозирование кинетических свойств полиэтилена низкой плотности.....115

**Д. Юрин, Д. Куватова, А. Глущенко, Ч. Омаров, М. Макуков**Анализ пределов прямого моделирования n-тел с использованием  
GPU-карт Nvidia RTX4090.....131

## ХИМИЯ

- А.С. Бейсенова, А.А. Жаныбекова, М.А. Дюсебаева, Г.Е. Берганаева**  
Исследование химического состава василек раскидистый *Centaurea diffusa* Lam., растущий на территории Алматинской области.....146
- Н.Н. Берікбол, Ж.С. Касымова, Л.К. Оразжанова, А.Н. Кливенко, Н.Н. Нурғалиев**  
Синтез интерполиэлектrolитных комплексов на основе флуоресцентно-меченых биополимеров.....161
- О.А. Есимова, С.Ш. Кумарғалиева, К.Б. Мусабеков, А.Қ. Қонысбек**  
Коллоидно-химические свойства гидратов верблюжьей колючки и пижмы...182
- Р.Н. Жаналиева, Б. Иманғалиева, Б.Б. Торсықбаева, Р. Қозықеева, Р.Э. Ходжаназаров**  
Каталитическое гидрирование карбонилсодержащих соединений: механизм, катализаторы и применение.....193
- М.А. Жұмаш, К.Т. Тілеген, Е.А. Болеубаев, Ш.С. Иткулова**  
Сухой риформинг метана на высокоактивном Co-Fe-Ir содержащем нанесенном на оксид алюминия катализаторе.....207
- М. Ибраева, Н. Сағдоллина, Ж. Мукажанова, Ш. Саньязова, М. Ozturk**  
Оптимизация условий экстракции флавоноидов из растения рода *Symphotrichum novi-belgii*.....218
- М.К. Курманалиев, Ж.Е. Шаихова, С.О. Абилкасова**  
Супрамолекулярные полимерные рецепторы для связывания ионов щелочных металлов.....228
- Е.А. Мұсатай, М.И. Тулепов**  
Углеродные фильтры из рисовой шелухи для очистки воздуха в стесненных помещениях.....238
- А.Ж. Мутушев, А.Б. Сейсенова, О.С. Капизов, А.М. Нуралы, Д.К. Муханов**  
Интегрированная технология получения углеродно-кремниевых нанокомпозитов из биоотходов и металлургических шламов.....258
- А.С. Сасс, И.И. Торлопов, К.С. Рахметова, Д.А. Жумадуллаев, М. Журинов**  
Влияние механической подготовки поверхности металла на свойства фосфатных покрытий.....274

©U.A. Ualikhanova\*, A.N. Abdipatta, O.V. Razina, A.M. Syzdykova,  
G.S. Altayeva, 2025.

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

E-mail: ulbossyn.ualikhanova@gmail.com

## BULK VISCOSITY IN $f(T)$ GRAVITY AND ITS IMPACT ON COSMOLOGICAL EVOLUTION

**Ualikhanova Ulbossyn** — PhD, senior lecturer of the department of general and theoretical physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

E-mail: ulbossyn.ualikhanova@gmail.com, Orcid: 0000-0002-2351-0658;

**Abdipatta Akmaral** — 1st year master's student of the department of general and theoretical physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

E-mail: maral.abdipatta@gmail.com, Orcid: 0009-0002-9627-8041;

**Razina Olga** — PhD, associate professor of the department of general and theoretical physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

E-mail: olvikraz@mail.ru, Orcid: 0000-0002-4400-4789;

**Syzdykova Arailym** — PhD student of the department of general and theoretical physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

E-mail: syzdykovarailym@gmail.com, Orcid: 0000-0002-8999-6566;

**Altayeva Gulsinay** — Master of Natural Sciences, senior lecturer of the department of mathematics, physics and computer science, Shokan Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Kazakhstan,

E-mail: gulsinay.altayeva@gmail.com, Orcid: 0000-0002-2611-7413.

**Abstract.** In this study, we explore the modified cosmological equations in  $f(T)$  gravity, incorporating a bulk viscous fluid and analyzing its effects on cosmic evolution. Bulk viscosity introduces an additional pressure component, which modifies the standard Friedmann equations, affecting the universe's expansion, acceleration, and singularity structure. Starting with the action functional of  $f(T)$  gravity, we derive the field equations in a spatially flat FLRW universe, considering contributions from dust matter, radiation, and viscosity. The torsion scalar  $T$  is expressed in terms of the Hubble parameter, allowing us to reformulate the cosmological equations into a dynamical system. We introduce an effective pressure term that accounts for the bulk viscosity, modifying the second Friedmann equation. The phase space analysis reveals constraints between the Hubble parameter and energy densities of matter and radiation, leading to a parameterized evolution of the universe. Through graphical analysis, we examine the influence of different  $f(T)$  models and bulk viscosity coefficients on cosmic

dynamics. Our results highlight that bulk viscosity can alter the expansion history, leading to deviations from the standard cosmological model. In particular, we discuss possible implications for late-time acceleration and early-universe dynamics. This work provides insights into the role of modified gravity and dissipative effects in cosmology, contributing to the broader understanding of alternative gravitational theories and their observational signatures.

**Keywords:** cosmology, dark energy,  $f(T)$  gravity, bulk viscosity, observational constraints

© У.А. Уалиханова\*, А.Н. Әбдіпатта, О.В. Разина, А.М. Сыздыкова,  
Г.С. Алтаева, 2025.

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

E-mail: ulbossyn.ualikhanova@gmail.com

## $f(T)$ ГРАВИТАЦИЯСЫНДАҒЫ КӨЛЕМДІК ТҮТҚЫРЛЫҚ ЖӘНЕ ОНЫҢ КОСМОЛОГИЯЛЫҚ ЭВОЛЮЦИЯҒА ӘСЕРІ

**Уалиханова Улбосын** — PhD, Жалпы және теориялық физика кафедрасының аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

E-mail: ulbossyn.ualikhanova@gmail.com, Orcid: 0000-0002-2351-0658;

**Әбдіпатта Ақмарал** — Жалпы және теориялық физика кафедрасының 1-курс магистранты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

E-mail: maral.abdipatta@gmail.com, Orcid: 0009-0002-9627-8041;

**Разина Ольга** — PhD, Жалпы және теориялық физика кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

E-mail: olvikraz@mail.ru, Orcid: 0000-0002-4400-4789;

**Сыздыкова Арайлым** — Жалпы және теориялық физика кафедрасының PhD студенті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

E-mail: syzdykovarailym@gmail.com, Orcid: 0000-0002-8999-6566;

**Алтаева Гульсинай** — жаратылыстану ғылымдары магистрі, математика, физика және информатика кафедрасының аға оқытушысы, Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті, Көкшетау, Қазақстан,

E-mail: gulsinay.altayeva@gmail.com, Orcid: 0000-0002-2611-7413.

**Аннотация.** Бұл зерттеуде біз  $f(T)$  гравитациясындағы модификацияланған космологиялық теңдеулерді, соның ішінде көлемді тұтқыр сұйықтықты зерттейміз және оның ғарыштық эволюцияға әсерін талдаймыз. Көлемді тұтқырлық Ғаламның ұлғаюына, үдеуіне және ерекшелік құрылымына әсер ететін стандартты Фридман теңдеулерін өзгертетін қосымша қысым компонентін енгізеді.  $f(T)$  гравитациясының функционалдық әрекетінен бастап, біз шаң, сәулелену және тұтқырлықтың үлестерін ескере отырып, кеңістіктік тегіс ФЛРУ Ғаламдағы өріс теңдеулерін шығарамыз. Т бұралу скалярін космологиялық теңдеулерді динамикалық жүйеге қайта құруға мүмкіндік беретін Хаббл параметрі арқылы өрнектейміз. Екінші Фридман теңдеуін өзгерту арқылы көлемді тұтқырлықты ескеретін тиімді қысым терминін енгіземіз. Фазалық кеңістікті талдау Хаббл параметрі мен материя және радиация энергиясының тығыздығы арасындағы



шектеулерді анықтайды, бұл Ғаламның параметрленген эволюциясына әкеледі. Графикалық талдауды пайдалана отырып, біз әртүрлі  $f(T)$  модельдерінің және көлемді тұтқырлық коэффициенттерінің кеңістік динамикасына әсерін зерттейміз. Біздің нәтижелеріміз көлемді тұтқырлықтың ұлғаю тарихын өзгерте алатынын, бұл стандартты космологиялық модельден ауытқуға әкелетінін көрсетеді. Атап айтқанда, біз Ғаламның кеш үдеуі мен ерте динамикасына ықтимал салдарын талқылаймыз. Бұл жұмыс космологиядағы модификацияланған гравитация мен диссипативті әсерлердің рөлі туралы түсінік береді, бұл балама гравитация теорияларын және олардың бақылау белгілерін кеңірек түсінуге ықпал етеді.

**Түйін сөздер:** космология, күңгірт энергия,  $f(T)$  гравитациясы, көлемді тұтқырлық, бақылау шектері

*Алғыс:* зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландыруымен жүзеге асты (жоба № AP26101851).

©У.А. Уалиханова\*, А.Н. Әбдіпатта, О.В. Разина, А.М. Сыздыкова,  
Г.С. Алтаева, 2025.

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

E-mail: ulbossyn.ualikhanova@gmail.com

## ОБЪЕМНАЯ ВЯЗКОСТЬ В $f(T)$ ГРАВИТАЦИИ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА КОСМОЛОГИЧЕСКУЮ ЭВОЛЮЦИЮ

**Уалиханова Улбосын** — PhD, старший преподаватель кафедры общей и теоретической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

E-mail: ulbossyn.ualikhanova@gmail.com, Orcid: 0000-0002-2351-0658;

**Абдіпатта Акмарал** — магистрант 1 курса кафедры общей и теоретической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

E-mail: maral.abdipatta@gmail.com, Orcid: 0009-0002-9627-8041;

**Разина Ольга** — PhD, ассоциированный профессор кафедры Общая и теоретическая физика, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

E-mail: olvikraz@mail.ru, Orcid: 0000-0002-4400-4789;

**Сыздыкова Арайлым** — PhD докторант кафедры общей и теоретической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

E-mail: syzdykovarailym@gmail.com, Orcid: 0000-0002-8999-6566;

**Алтаева Гульсинай** — магистр естественных наук, старший преподаватель кафедры математики, физики и информатики, Кокшетауский университета имени Ш.Уалиханова, Кокшетау, Казахстан,

E-mail: gulsinay.altayeva@gmail.com, Orcid: 0000-0002-2611-7413.

**Аннотация.** В этом исследовании мы исследуем модифицированные космологические уравнения в гравитации  $f(T)$ , включающие объемную вязкую жидкость и анализирующие ее влияние на космическую эволюцию. Объемная вязкость вводит дополнительный компонент давления, который изменяет

стандартные уравнения Фридмана, влияя на расширение, ускорение и структуру сингулярности Вселенной. Начиная с функционала действия гравитации  $f(T)$ , мы выводим уравнения поля в пространственно плоской Вселенной FLRW, учитывая вклады пылевой материи, излучения и вязкости. Скаляр кручения  $T$  выражается через параметр Хаббла, что позволяет нам переформулировать космологические уравнения в динамическую систему. Мы вводим эффективный член давления, который учитывает объемную вязкость, изменяя второе уравнение Фридмана. Анализ фазового пространства выявляет ограничения между параметром Хаббла и плотностями энергии материи и излучения, что приводит к параметризованной эволюции Вселенной. С помощью графического анализа мы изучаем влияние различных моделей  $f(T)$  и коэффициентов объемной вязкости на космическую динамику. Наши результаты подчеркивают, что объемная вязкость может изменять историю расширения, что приводит к отклонениям от стандартной космологической модели. В частности, мы обсуждаем возможные последствия для позднего ускорения и ранней динамики Вселенной. Эта работа дает представление о роли модифицированной гравитации и диссипативных эффектов в космологии, способствуя более широкому пониманию альтернативных гравитационных теорий и их наблюдательных сигнатур.

**Ключевые слова:** космология, темная энергия,  $f(T)$  гравитация, объемная вязкость, пределы наблюдения

**Кіріспе.** Модификацияланған гравитация теорияларын зерттеуге олардың космологиядағы маңызды мәселелерді шешуге мүмкіндік беретіндігіне байланысты соңғы жылдары айтарлықтай назар аударылуда (Møller, 1961; Cho, 1976; Hayashi, 1977; Faraoni, 2011). Жалпы салыстырмалылық теориясының (ЖСТ) альтернативті нұсқалардың бірі ол  $f(T)$  гравитациясы. Мұндағы гравитациялық әрекет қисықтық  $R$  скалярының жалпыланған функциясымен емес  $T$  бұралу скалярының жалпыланған функциясын пайдалану арқылы сипатталады. Бұл тәсілге гравитацияның геометриялық тұрғыдан басқаша, бірақ динамикалық эквивалентті формуласын ұсынатын жалпы салыстырмалық теориясының телепараллельдік эквиваленті туртки болды (Aldrovandi, 2013; Maluf, 2013; Linder, 2010; Li, 2011).

Бұл жұмыста біз  $f(T)$  гравитациясындағы (Farrugia, 2016; Li, 2011; Yang, 2022) көлемді тұтқырлық арқылы модификацияланған космологиялық тендеулерді зерттейміз және олардың салдарын графикалық бейнелеу арқылы талдаймыз. Көлемді тұтқырлықты қосу эффективті қысым терминін енгізе отырып стандартты Фридман тендеулерін өзгертеді, сонымен қатар ұлғаю, үдеу және Хаббл тұрақтысы сияқты негізгі космологиялық параметрлерге әсер етеді. Бұл түрлендіру космологиялық тұрақтыны енгізуді қажет етпестен, Ғаламның кеш үдемелі ұлғаюын түсіну үшін маңызды.

Космологиядағы тұтқырлықты қарастырудың негізгі мақсаты ғарыштық сұйықтықтың Ғалам эволюциясының ерте және кейінгі кезеңдеріне нақты сипаттама беру қабілеті болып табылады. Тұтқыр әсерлер табиғи түрде жоғары

энергия физикасында және релятивистік гидродинамикада пайда болатындықтан модификацияланған гравитациялық модельдер контекстінде өзекті мәселе болып табылады (Ong, 2013: 1-2; Sharif, 2013: 2; Jarv, 2016). Талдауымызда біз Фридман-Леметр-Робертсон-Уолкер (ФРЛУ) метрикасы арқылы сипатталған біртекті және изотропты Ғаламға назар аударамыз және  $f(T)$  гравитация (Křššák, 2016; Vamba, 2016) аясында көлемді тұтқырлықтың ғарыштық эволюцияға қалай әсер ететінін зерттейміз.

Ол үшін тұтқыр сұйықтық бар  $f(T)$  гравитацияның өріс теңдеулерін шығарып, Хаббл параметрі арқылы өрнектейміз. Алынған теңдеулер жүйесіне Ғалам эволюциясын анықтайтын шектеулік теңдеуі мен динамикалық теңдеу кіреді (Paliathanasis, 2016:2; Hohmann, 2017:2-3). Содан кейін біз бұл теңдеулерді  $f(T)$  нақты функционалдық формаларын қарастыру арқылы талдаймыз және олардың физикалық салдарын сандық және графикалық әдістер арқылы зерттейміз.

Сонымен қатар, біз жүйенің фазалық кеңістігін зерттейміз және бекітілген нүктелерді, олардың тұрақтылығы мен серпілу және айналу сценарийлерін қарастырамыз. Көлемді тұтқырлықты қосу осы шешімдер үшін тұрақтылық шарттарын анықтауда шешуші рөл атқарады. Біздің нәтижелеріміз  $f(T)$  функцияларының белгілі бір таңдауы ерекшеліктерді болдырмау немесе циклдік эволюцияға мүмкіндік беру сияқты қажетті қасиеттері бар жарамды космологиялық модельдерге әкелуі мүмкін екенін көрсетеді.

### Материалдар мен әдістер

#### $f(T)$ гравитациясының космологиялық динамикасы

Бұл бөлімде біз жалпы әрекет пен өріс теңдеулерінен бастап  $f(T)$  гравитациясының космологиялық динамикасына қысқаша шолу жасаймыз. Бұл теңдеулер ФРЛУ (Фридман-Леметр-Робертсон-Уолкер) кеңістік уақыты үшін Хаббл параметрі арқылы өрнектелгенде, шектеу теңдеуі және динамикалық теңдеу пішінін қабылдайтынын көрсетеміз. Сонымен қатар, біз шаңды, сәулеленуді және тұтқырлықты қамтитын әлем үшін осы өріс теңдеулерін нақты түрде шығарамыз және олардың сәйкес үздіксіздік теңдеулерімен сәйкестігін тексереміз.

Есептеулеріміз  $f(T)$  гравитациясының әрекет функционалынан басталады

$$S = \frac{1}{16\pi G} \int |e| f(T) d^4x, \quad (1)$$

$f(T)$  T-бұралу скалярның еркін функциясы болып табылады (Li, 2011, 4; Aldrovandi, 2013, 3). Бұралу скаляры келесідей анықталады

$$T = \frac{1}{4} T^{\rho\mu\nu} T_{\rho\mu\nu} + \frac{1}{2} T^{\rho\mu\nu} T^{\nu\mu\rho} - T^{\mu\rho}_{\mu} T^{\nu\rho}_{\nu}. \quad (2)$$

Теорияның негізгі айнымалысы - тетрада өрісі болса, онда бұралу тензоры келесі түрде өрнектеледі

$$T^{\rho\mu\nu} = \Gamma^{\rho}_{\nu\mu} - \Gamma^{\rho}_{\mu\nu} = e_i^{\rho} (\partial_{\mu} e_{\nu}^i - \partial_{\nu} e_{\mu}^i + \omega^i_{j\mu} e_{\nu}^j - \omega^i_{j\nu} e_{\mu}^j), \quad (3)$$

бұл жерде  $\omega_{j\mu}^i$  - локалды лоренц инварианттылығын сақтау үшін енгізілген тегіс спин байланысы болып табылады.

Кеңістігі тегіс ФЛРУ ғаламы үшін тетраданы төмендегідей таңдаймыз

$$e_{\mu}^i = \text{diag}(1, a, a, a), \quad (4)$$

бұл жерде  $a(t)$  - космологиялық масштаб факторы. Бұл жағдайда таңдалған тетрада «дұрыс» болады, ал инерциялық спин байланысы жойылып кетеді. Нәтижесінде, бұралу скаляры келесідей қалыпқа келеді

$$T = -6 \frac{\dot{a}^2}{a^2} = -6H^2, \quad (5)$$

мұндағы  $H$  Хаббл параметрін білдіреді. Біртектілік пен изотропия болжамына байланысты, материяның энергия-импульс тензоры идеал сұйықтық формасын алады

$$T^{\mu\nu} = (\rho + p)u^{\mu}u^{\nu} + pg^{\mu\nu}, \quad (6)$$

мұндағы  $\rho$  – энергия тығыздығы,  $p$  – қысым, төрт-жылдамдық

$$u^{\mu} = \partial_{\tau}. \quad (7)$$

Бұл  $g_{\mu\nu} = \eta_{ij}e_{\mu}^ie_{\nu}^j$  метрикасының көмегімен нормаланады.

Әрекеттен космологиялық өріс теңдеулері мына түрде алынады

$$12H^2 f_T + f = 16\pi G\rho, \quad (8a)$$

$$48H^2 \dot{H} f_{TT} - (12H^2 + 4\dot{H})f_T - f = 16\pi Gp. \quad (8b)$$

мұндағы индекстер келесі туындыларды көрсетуге пайдаланылады

$$f_T = \frac{df}{dT}, \quad f_{TT} = \frac{d^2f}{dT^2}. \quad (9)$$

Осы жұмыстың барысында біз сәйкесінше космологиялық өріс теңдеулерін қайта жазуға мүмкіндік беретін  $f(T) = T + F(T)$  параметрін енгіземіз

$$6H^2 + 12H^2 F_T + F = 16\pi G\rho, \quad (10a)$$

$$4\dot{H}(12H^2 F_{TT} - F_T - 1) = 16\pi G(\rho + p_{\text{eff}}). \quad (10b)$$

Тұтқыр сұйықтық үшін эффективті қысым мына түрде анықталады (Sharif, 2013, 3):

$$p_{\text{eff}} = p + \Pi, \quad (11)$$

мұндағы көлемді тұтқырлық қысымы

$$\Pi = -3\xi H. \quad (12)$$

Оны екінші Фридман теңдеуіне қойсақ:

$$4\dot{H}(12H^2F_{TT} - F_T - 1) = 16\pi G(\rho + p - 3\xi H). \quad (13)$$

Шаң мен радиацияны ескере отырып, тығыздық пен қысым формулалары төмендегідей өзгереді:

$$\rho = \rho_m + \rho_r, \quad p = p_m + p_r - 3\xi H. \quad (14)$$

мұндағы күй теңдеуі

$$p_m = 0, \quad p_r = \frac{1}{3}\rho_r. \quad (15)$$

Осы қатынастардан материяның үздіксіздік теңдеулері төмендегідей шығады

$$\dot{\rho}_m = -3H\rho_m, \quad \dot{\rho}_r = -4H\rho_r. \quad (16)$$

Нәтижесінде, космологиялық өріс теңдеулері келесі түрде өрнектеледі (Hohmann, 2017, 5)

$$W = 16\pi G(\rho_m + \rho_r), \quad (17a)$$

$$-\dot{H} \frac{W_H}{3H} = 16\pi G \left( \rho_m + \frac{4}{3}\rho_r - 3\xi H \right), \quad (17b)$$

мұндағы төменгі индекс дифференциацияны білдіреді  $W_H = \frac{dW}{dH}$ . Бұл жерде сейкес Фридман функциясын  $T$  және  $H$  арасындағы (5) теңдеудегі қатынасты ескере отырып төмендегідей аламыз

$$W(H) = F + 6H^2 + 12H^2F_T. \quad (18)$$

Бұл жұмыс барысында  $W(H)$  функциясы кез келген  $f(T)$  гравитация моделінің негізгі космологиялық ерекшеліктерін анықтай алатындығын көрсетеміз. (16) және (17) теңдеулер осы зерттеудің негізі болып табылады. Олар бір-бірінен тәуелсіз емес екенін ескеруіміз қажет. Талдау үшін біз бұл артықшылықты алып тастап, шектеусіз динамикалық жүйені алу үшін шектеу теңдеуін қолдануымыз керек.

### Фазалық кеңістік және эволюция теңдеулері

Алдыңғы бөлімде біз Хаббл параметрінің  $H$ ,  $\rho_m$  және  $\rho_r$  энергия тығыздықтары Фридман алгебралық шектеуіне байланысты тәуелсіз емес екенін көрдік (17). Осылайша, біздің динамикалық жүйеміздің физикалық фазалық кеңістігі кеңістіктегі 1 бағыттан гипербеті болып табылады

$$\{(H, \rho_m, \rho_r) | H \in (-\infty, \infty), \rho_m \in [0, \infty), \rho_r \in [0, \infty)\}, \quad (19)$$

оны келесідей параметрлендіреміз. Біз сәулеленудің жалпы энергия тығыздығына қатынасы бойынша жаңа айнымалыны енгіземіз

$$X = \frac{\rho_r}{\rho_r + \rho_m}. \quad (20)$$

Содан кейін бастапқы тығыздықтар келесідей өзгереді

$$\rho_r = X(\rho_r + \rho_m), \quad \rho_m = (1 - X)(\rho_r + \rho_m), \quad (21)$$

мұндағы оң жақтағы жалпы энергия тығыздығы Фридман шектеуімен (17а)  $H$  бойынша анықталады. Физикалық фазалық кеңістік  $H \in (-\infty, \infty), X \in [0, 1]$  арқылы шектелетінін көруге болады.

Тағы бір шектеу Фридман шектеуінен және нөлдік энергия шартының жарамдылығынан шығады, ол материяның жалпы энергия тығыздығы  $\rho_m + \rho_r$  теріс емес және шектеулі болу керек екендігін білдіреді. Фридман (17а) шектеуінен бұл  $W(H) \geq 0$  шартына эквивалентті. Осылайша, физикалық фазалық кеңістік мына түрде жазылады

$$P = \{(H, X) | -\infty < H < \infty, 0 \leq X \leq 1, 0 \leq W(H) < \infty\}. \quad (22)$$

Біз енді жаңа айнымалылардың динамикасын талқылаймыз. (20) тендеуінің уақыт бойынша туындысын алып және (16) үздіксіздік тендеулерін қолданып, мынаны табамыз

$$\dot{X} = HX(X - 1). \quad (23)$$

Сәйкесінше, біз  $\dot{H}$  үшін (17а) Фридман тендеуін шешіп, (20) тендеудегі анықтамасын пайдалана отырып шешімін ала аламыз

$$\dot{H} = -W \frac{H}{W_H} \left( X + 3 - \frac{6\xi H}{\rho_m + \rho_r} \right), \quad (24)$$

мұнда біз бөлген  $W_H/H$  факторы нөлге тең емес және шекті деп қарастырамыз, өйткені бөлу дұрыс емес немесе тек қолайлы шектеу процедурасы арқылы анықталған болар еді. Мұны біз кейінірек шектеулі жағдайларды талқылағанда есте ұстауымыз керек. (23) және (24) тендеулері динамикалық жүйемізді анықтайды.

### Нәтижелер

#### Тұрақты нүктелер және олардың тұрақтылығы

Енді біз (23) және (24) тендеулерімен анықталған динамикалық жүйенің тұрақты нүктелерін талқылауға өтеміз. Динамикалық жүйенің тұрақты нүктелері оның фазалық кеңістігіндегі динамика ағыны жойылатын нүктелер болып табылады. Динамикалық жүйе үшін  $\dot{X} = 0$  және  $\dot{H} = 0$  шарттарын қарастырамыз. Егер  $X = 0$ ,  $X = 1$  немесе  $H = 0$  болған жағдайда  $\dot{X} = 0$  тең болатындығын (23) тендеуінен таба аламыз. (24) тендеуінен  $\dot{H} = 0$  шарттарын мұқият шығару қажет, өйткені ол  $W(H)$  Фридман функциясына тәуелді. Біз келесі жағдайларды қарастыра аламыз:

$W \rightarrow 0$  болған кезде  $\dot{H} \rightarrow 0$  болатындығы анық, бұл жағдайда  $W_H$  шектеулі болу керек.  $W_H \rightarrow 0$  және  $W$  шектеулі болған жағдайда да  $\dot{H} \rightarrow 0$ .

Егер  $X = \frac{6\xi H}{\rho_m + \rho_r} - 3$  болса  $\dot{H} \rightarrow 0$ .

$\dot{H} \rightarrow 0$  деген қорытындыға келе аламыз егер  $\xi > 0$  және  $\rho_m + \rho_r \rightarrow \infty$ .

#### Серпіліс және кері айналым мүмкіндігі

Енді біз серпілістер, ғаламның жиырылып, қайтадан ұлғаятын сәттері, мен кері айналымдарды, яғни ғалам эволюциясының ұлғаю және жиырылу фазалары арасындағы ауысуларды талқылаймыз. Кез келген мұндай ауысу үшін бізде  $\dot{a} = 0$ , демек,  $H = 0$  болатынын ескеруіміз қажет. Осылайша, мұндай ауысулар  $H = 0$  (22)

теңдеуде көрсетілгендей физикалық фазалық кеңістікте заттың жалпы энергия тығыздығы оң болған жағдайда ғана орын алады және ол үшін  $\dot{H} \neq 0$  шарты да орындалуы керек. Алдыңғы берілген жағдай орындалады, егер және тек қана егер  $W|_{H=0} \geq 0$ . (25)

$\dot{H}|_{H=0} > 0$  болғанда серпіліс беріледі, ал кері айналым  $\dot{H}|_{H=0} > 0$  арқылы сипатталады. (24) теңдеудегі Хаббл параметрінің динамикасынан  $\dot{H}$  нөл емес және  $H = 0$  кезінде шектеулі болады, егер және тек қана егер

$$\lim_{H \rightarrow 0} -W \frac{H}{W_H} \left( X + 3 - \frac{6\xi H}{\rho_m + \rho_r} \right) = \frac{1}{(\ln W)_{HH}} \Big|_{H=0} \quad (26)$$

шекті болса, демек,  $(h W)_H \rightarrow 0$  үшін  $H \rightarrow 0$  болады. Бұл жерде екінші мүшені елемеуге болады, өйткені ол бірінші мүшеге қарағанда жылдамырақ жойылады.  $\ln W$  туындысын анық есептеу арқылы  $\dot{H} \neq 0$  шарты егер және тек қана егер  $H = 0$ ,  $W > 0$ ,  $W_H \neq 0$  және  $W_{HH} \neq 0$  болған кезде орындалатынын және  $W_{HH}$  таңбасы  $\dot{H}$  таңбасын анықтайтындығын көрсетеді. Осылайша, біз қорытындылап, келесіні түйіндейміз:

**Тұжырымдама 1.1**  $H = 0$  болған жағдайда  $\dot{H} \neq 0$  егер және тек қана егер  $W > 0$ ,  $W_H = 0$  және  $W_H \neq 0$  болса, бұл жерде

- i.  $W_{HH} < 0$  болған кезде  $\dot{H} > 0$ , демек, серпіліс байқалады,
- ii.  $W_{HH} > 0$  болған кезде  $\dot{H} < 0$ , демек, кері айналым байқалады.

### Бақылау қасиеттері

Бұл бөлімде біз динамикалық жүйені космологиялық модельдің физикалық қасиеттерімен және бақылаулармен қалай байланыстыру керектігін талқылаймыз. Осы мақсатта біз екі қасиетті, атап айтқанда, А бөліміндегі Ғаламның үдемелі ұлғаюы мен баламалы күңгірт энергия моделінің баротропты индексін және В бөліміндегі фантомдық шекарадан өту мүмкіндігін зерттейміз. Соңында біз Хаббл параметрі, баяулау параметрі және тығыздық параметрлері сияқты бірнеше бақылау параметрлерін динамикалық жүйеден қалай алуға болатынын және одан әрі Фридманның  $W(H)$  функциясын шектеу және С бөлімінде белгілі бір фазалық кеңістік траекториясын таңдау үшін қалай пайдалануға болатынын көрсетеміз.

### А. Жеделдетілген кеңею

Кез келген  $f(T)$  гравитация моделі туралы маңызды сұрақ - ол ғаламның үдемелі ұлғаю дәуірін қолдайды ма және баяулау мен үдеу арасында ауысулар бар ма. Хаббл параметрінің анықтамасынан төмендегі теңдеу тікелей шығады

$$\dot{H} = \frac{d \dot{a}}{dt a} = \frac{\ddot{a} a - \dot{a}^2}{a^2} = \frac{\ddot{a}}{a} - H^2, \quad (27)$$

демек, біздің жағдайда үдеу былайша өрнектеледі

$$\frac{\ddot{a}}{a} = H^2 + \dot{H} = H \left( H - \left( X + 3 - \frac{6\xi H}{\rho_m + \rho_r} \right) \frac{W}{W_H} \right). \quad (28)$$

Енді біз үдеу мен баяулау арасындағы өтуге, атап айтқанда,  $\ddot{a} = 0$  түзуінен өтетін фазалық кеңістік траекторияларына аса мән беретін боламыз. Ескеретін жайт,  $\dot{H} = 0$  үшін бұл шарт  $\dot{H} = 0$  мәнін білдіреді, демек, бұл жағдайда ешқандай ауысу болмайды. Осылайша, біз ауысулардың тек  $H \neq 0$  кезінде болуы мүмкін екенін анықтаймыз

$$H = \left( X + 3 - \frac{6\xi H}{\rho_m + \rho_r} \right) \frac{W}{W_H} = \frac{\left( X + 3 - \frac{6\xi H}{\rho_m + \rho_r} \right)}{(\ln W)_H}. \quad (29)$$

Соңында біз келесі қорытындыға келе аламыз:

**Тұжырымдама 2.** *Үдеу мен баяулау арасындағы ауысулар (29) теңдеуден туындайтын  $H(\ln W)_H = X + 3$  шартын қанағаттандыратын фазалық кеңістік нүктелерінде ғана болуы мүмкін.*

### В.Күңгірт энергия және фантомдық шекара

Егер (17) космологиялық өріс теңдеулерін жалпы салыстырмалық теориясының жалпы күңгірт энергия моделі үшін сәйкес теңдеулерімен салыстыратын болсақ, олар мына түрде беріледі:

$$H^2 = \frac{8\pi G}{3} (\rho_m + \rho_r + \rho_{DE}), \quad (30a)$$

$$\dot{H} = -4\pi G \left[ \rho_m + \frac{4}{3}\rho_r + (1 + w_{DE})\rho_{DE} \right], \quad (30b)$$

онда  $f(T)$  гравитациясын күңгірт энергияның эффективті моделі ретінде қабылдауға болатынын түсінуге болады, мұндағы күңгірт энергияның эффективті энергия тығыздығы

$$\rho_{DE} = \frac{6H^2 - W}{16\pi G}, \quad (31)$$

ал оның эффективті баротропты индексі келесідей жазылады

$$\begin{aligned} w_{DE} &= -1 - \left( \frac{X + 3}{3} - \frac{3\xi H}{\rho_m + \rho_r} \right) \left( 1 - 12 \frac{H}{W_H} \right) \left( 1 - 6 \frac{H^2}{W} \right)^{-1} \\ &= -1 - \left( \frac{X + 3}{3} - \frac{3\xi H}{\rho_m + \rho_r} \right) \frac{[\ln | W - 6H^2 |]_H}{(\ln W)_H}. \end{aligned} \quad (32)$$

Бізді әсіресе баротропты көрсеткіш  $-1$ -ден кіші немесе үлкен бе, немесе осы екі мүмкіндіктің арасында динамикалық түрде өзгеретін  $H = H^*$  бар ма деген сұрақ қызықтырады.  $w_{DE} = -1$  критикалық мәні фантомдық немесе фантомдық емес күңгірт энергияны ажыратады, сондықтан «фантомдық шекара» ретінде де белгілі. Ол үшін екінші қосылғыштың таңбасын зерттеу жеткілікті. Біз тұрақты нүктелер мен ерекшеліктерді талқылауды жалғастыра аламыз және бірнеше түрлі жағдайларды ажыратып қарай аламыз. Біріншіден, біз  $H^* \neq 0$  деп қарастырамыз және  $W^*$  үшін келесі үш нақты жағдайды зерттейміз:

Егер  $W$  диверсификацияланса,  $W_H$  де диверсификацияланады. (32) теңдеудегі

жақшадағы екі термин де 1-ге жақындайды, ал баротроптық көрсеткіш  $-2 - \frac{X}{3} - \frac{3\xi H}{(\rho_m + \rho_r)} \neq -1$ -ке жақындайды.

$W \rightarrow 0$  үшін (32) теңдеудегі  $w_{DE}$  үшін бірінші өрнектен  $W_H \rightarrow 0$  және жақшадағы сәйкес коэффициент алшақ кетпесе,  $w_{DE} \rightarrow -1$  екенін анық көруге болады. Дегенмен, (32) теңдеудегі соңғы өрнектен  $W \rightarrow 0$  және  $W_H \rightarrow 0$  жағдайында да бөлгіштегі  $(\ln W)_H$  мүшесі алшақтайтынын, ал алым соңғы болып қалатынын көруге болады. Демек, бұл жағдайда да  $w_{DE} \rightarrow -1$ . Дегенмен, IV бөлімнен  $W = 0$   $\dot{H} = 0$  дегенді білдіретінін еске түсірсек, бұл жағдайда қиылысу орын алмайды.

Егер  $W \rightarrow 6H^2$  болса, аналогтық аргументтен  $[\ln |W - 6H^2|]_H$  бөлгішінің алшақтайтынын көруге болады, демек  $w_{DE}$  де диверсификацияланады.

### С.Космологиялық параметрлер

Бірқатар бақыланытын параметрлерді динамикалық жүйені құрайтын теңдеулерден тікелей алуға болады. Ең маңыздысы - критикалық тығыздықтың көмегімен анықталатын тығыздық параметрлері

$$\rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G}. \quad (33)$$

Біздің модельде бар зат тығыздығына әртүрлі үлестер үшін бұл қарапайым анықтамаларды береді

$$\Omega_m = \frac{\rho_m}{\rho_c} = \frac{(1-X)W}{6H^2}, \quad \Omega_r = \frac{\rho_r}{\rho_c} = \frac{XW}{6H^2}, \quad \Omega_{DE} = \frac{\rho_{DE}}{\rho_c} = 1 - \frac{W}{6H^2}. \quad (34)$$

Шартты түрде кеңістіктік қисықтыққа қатысты  $\Omega_k$  параметрі де анықталады; дегенмен, бұл параметр біздің модель үшін бірдей жоғалады, өйткені біз өзімізді кеңістігі тегіс ФЛРУ кеңістік-уақытымен шектейміз. Нәтижесінде параметрлер келесідей шектеу теңдеуін қанағаттандырады

$$\Omega_m + \Omega_r + \Omega_{DE} = 1, \quad (35)$$

бұл жай ғана сәйкес Фридман теңдеуінің (30а) қайта жазылуы және ол ағымдағы бақылаулармен дәл сәйкес келеді.

Бақыланытын параметрлердің тағы бір маңызды жинағы, әрине, Хаббл параметрінің өзі  $H$  және  $q$  арқылы анықталған баяулау параметрі.

$$q = -\frac{\ddot{a}}{aH^2} = -1 - \frac{\dot{H}}{H^2} = -1 + \left( X + 3 - \frac{6\xi H}{\rho_m + \rho_r} \right) \frac{W}{HW_H}, \quad (36)$$

$$\frac{dq}{dH} = (X + 3) \left( \frac{1}{H} - \frac{W}{H^2 W_H} - \frac{WW_{HH}}{W_H^2} \right) - \frac{6\xi}{\rho_m + \rho_r} \left( 1 - \frac{WW_{HH}}{W_H^2} \right). \quad (37)$$

Талқылау

Графикалық талдау

Модификацияланған гравитация теориясын қарастырайық:

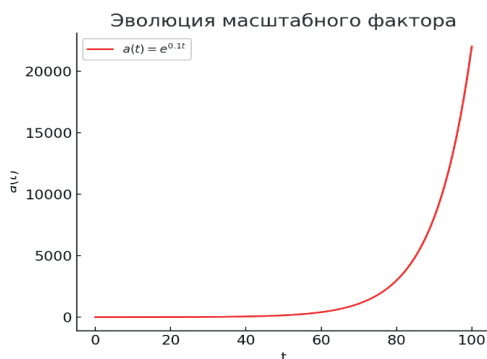
$$f(T) = T + \alpha T^n, \quad (38)$$

мұндағы  $\alpha$  және  $n$  модель параметрлері.  $\alpha = 0$  кезінде модель стандартты телепараллельді гравитацияға өрнектеледі.

Сандық талдау үшін біз мына параметрлерді пайдаланамыз:

- $\alpha = 0,1$ ;
- $n = 2$ ;
- Хабблдың бастапқы параметрі  $H_0 = 70$  км/(с Мпс);
- Заттың бастапқы тығыздығы  $\rho_{m,0} = 0,3\rho_c$ ;
- Сәулеленудің бастапқы тығыздығы  $\rho_{r,0} = 0,0001\rho_c$ ;
- Тұтқырлық  $\xi = 0,05$ .

### $\xi$ тұтқырлықтың $H(t)$ -ке әсері



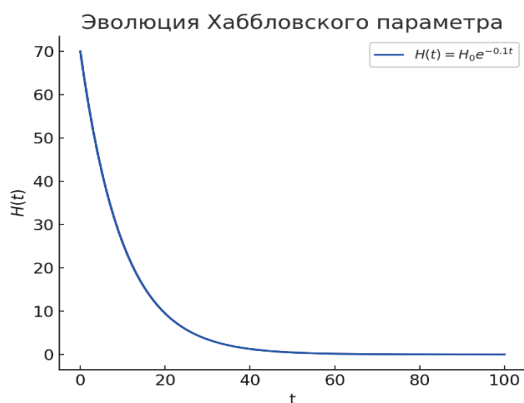
Сурет 1.  $\xi$  тұтқырлықтың  $H(t)$ -ке әсері

Бұл график тұтқырлықтың Ғаламның ұлғаю жылдамдығына қалай әсер ететінін зерттейді.  $\xi$  нөлдік емес мәнін қосу тұтқырлығы жоқ жағдаймен салыстырғанда ұлғаю жылдамдығының төмендеуіне әкеледі.  $\xi$  үлкен мәндері Хаббл параметрінің кеш әрекетін өзгерте отырып, диссипативті әсерлерге байланысты ұлғаюды баяулатады. Бұл кванттық вакуумның тұтқырлығына немесе ерте Ғаламдағы анизотропты әсерлерге байланысты құбылыстарды түсіндіруі мүмкін.

#### **Хаббл параметрінің эволюциясы**

$H(t)$  Ғаламның ұлғаю жылдамдығын сипаттайды. Сандық шешім келесі тәуелділікті көрсетеді:

$$H(t) \approx H_0 e^{(-0.1 t)}. \quad (39)$$



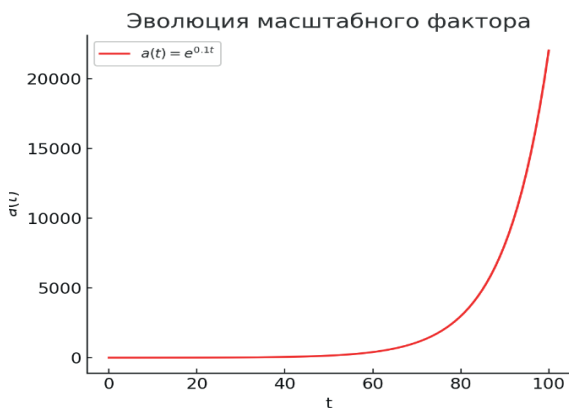
Сурет 2. Хаббл параметрінің эволюциясы

Бұл график Ғаламның ұлғаю жылдамдығының уақыт өте келе қалай өзгеретінін көрсетеді. Бастапқыда Хаббл параметрі жоғары, ол жылдам космологиялық эволюцияға сәйкес келеді. Уақыт өте келе  $H(t)$  азаяды, бұл Ғаламның ұлғаюының баяулауын көрсетеді. Модификацияланған гравитация ( $\alpha \neq 0$ ) және тұтқырлық ( $\xi \neq 0$ ) бар кезде стандартты эволюциядан ауытқу байқалады. Егер  $\xi$  жоғарыласа, диссипативті әсерлерден  $H(t)$  тезірек төмендейді.

#### **$a(t)$ масштаб факторының эволюциясы**

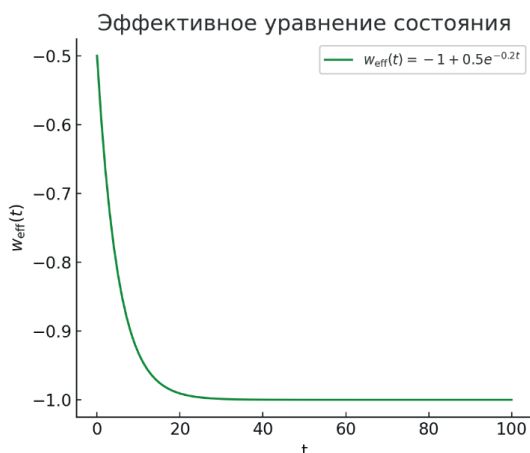
$a(t)$  масштаб факторы Ғаламның ұлғаюын көрсетеді

$$a(t) \approx e^{0.1t}. \quad (40)$$

Сурет 3.  $a(t)$  масштаб факторының эволюциясы

Бастапқыда  $a(t)$  нөлге жақын болғанда, бұл эволюцияның ерте кезеңдеріне сәйкес келеді. Сонымен қатар, график күнгірт энергияның басым фазасына сәйкес үдемелі ұлғаюды көрсетеді. Егер модификацияланған гравитация динамикаға айтарлықтай әсер етсе,  $a(t)$  стандартты үлгіге қарағанда жылдам немесе баяу өсуі мүмкін. Берілген модельде тұтқырлық ұлғаюды баяулатады, бірақ әсер ұзақ уақыт бойы байқалады.

### Фазалық портрет ( $H, \rho, \rho$ )



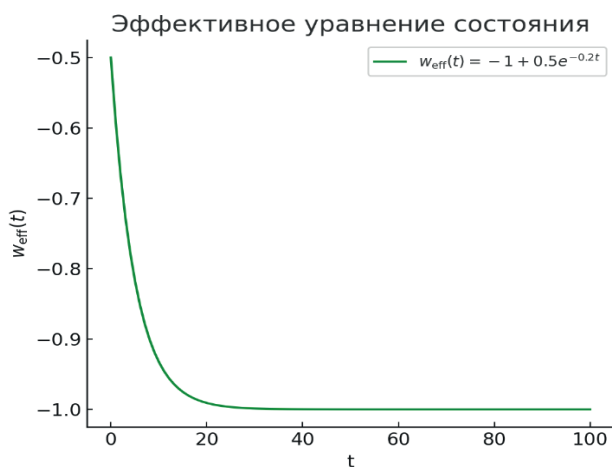
Сурет 4. Фазалық портрет ( $H, \rho_m, \rho_r$ )

Бұл график материя тығыздығының, сәулеленудің және ұлғаю жылдамдығының қалай байланысты екенін көрсетеді. Ерте кезеңде радиация ( $\rho_r$ ), одан кейін материя ( $\rho_m$ ), ал кейінгі кезеңде күңгірт энергия немесе модификацияланған гравитация басым болуы мүмкін екенін байқауға болады. Фазалық портреттің траекториясы ұлғаюдың күңгірт энергия әсерінен жылдамдайтын нүктеге алып келеді.  $\alpha$  немесе  $\xi$  параметрлері өзгерген кезде фазалық траекториялар стандартты күйден айтарлықтай ауытқуы мүмкін.

### Эффективті күй теңдеуі

Эффективті күй теңдеуі төмендегідей анықталады

$$w_{\text{eff}}(t) = -1 + 0.5 e^{-0.2t}. \quad (41)$$



Сурет 5. Эффективті күй  $w_{\text{eff}}(t)$  параметрінің уақытқа тәуелді графигі

Бұл теңдеу Ғалам энергиясының әрекетін сипаттайды. Ерте кезеңде  $w_{\text{eff}} \approx 1/3$  болғанда, бұл радиацияның басымдылығын көрсетеді. Материялық кезеңге өткен кезде  $w_{\text{eff}}$  0-ге дейін төмендейді. Үдемелі ұлғаю кезеңінде  $w_{\text{eff}}$  -1-ге ұмтылып теріс болады, бұл космологиялық тұрақтыға сейкес мән. Гравитацияның модификациялары бар болса,  $w_{\text{eff}}$  әрекеті стандарттан өзгеше болуы мүмкін: мысалы,  $w_{\text{eff}} < -1$  (фантомдық қасиетінен) өтпелі фазалар болуы мүмкін. Тұтқырлық ғаламның динамикасына қосымша үйкелісті енгізе отырып,  $w_{\text{eff}}$  әрекетін өзгертеді.

**Қорытынды.** Бұл зерттеуде біз көлемді тұтқыр сұйықтығы бар  $f(T)$  гравитациясындағы модификацияланған космологиялық теңдеулерді шығардық және оларға талдау жасадық. Біздің талдауымыз көлемді тұтқырлықтың стандартты Фридман теңдеулерін айтарлықтай өзгертетін және ғарыштық ұлғаю, үдеу мен сингулярлыққа әсер ететін тиімді қысым терминін енгізетінін көрсетеді. Кеңістігі тегіс ФЛРУ Ғаламды қарастыру және тетраданы дұрыс таңдау арқылы біз шаң, радиация және тұтқырлық жағдайында Хаббл параметрінің эволюциясын реттейтін өріс теңдеулерін шығардық. Фазалық кеңістік талдауы көлемді тұтқырлықтың қосылуы космологиялық шешімдердің тұрақтылығы мен кейінгі кезеңдегі әрекетіне әсер ететінін көрсетті, ал бұл өз кезеңінде Ғаламның байқалған үдемелі ұлғаюы туралы түсінік беруі мүмкін.

Сонымен қатар, біз кез келген  $f(T)$  гравитация моделінің негізгі космологиялық ерекшеліктерін қамтитын  $W(H)$  функциясын эволюция теңдеулерін талдау үшін пайдаландық. Біздің нәтижелеріміз белгілі бір  $f(T)$  функциялары мен тұтқырлық коэффициенттерін таңдау арқылы бақылау шектеулеріне сай келетін ықтимал космологиялық модельдерді алуға болатынын көрсетеді. Болашақ зерттеу жұмыстарын тұтқырлықтың жалпыланған формаларын қосу, әртүрлі бастапқы жағдайлар үшін сандық шешімдерді зерттеу және теориялық болжамдарды космологиялық микротолқынды фон сәулеленуінен немесе ауқымды құрылымдық зерттеулерден алынған бақылау деректерімен салыстыру арқылы кеңейтуге болады.

### References

- Møller C. (1961) Conservation Laws and Absolute Parallelism in General Relativity, K. Dan. Vidensk. Selsk. Mat. Fys. Skr. 1. — P. 1–50 (in Eng.)
- Cho Y.M (1976) Einstein Lagrangian as the Translational Yang-Mills Lagrangian, Phys. Rev. D14, 2521 (in Eng.)
- Hayashi K. (1977) The Gauge Theory of the Translation Group and Underlying Geometry, Phys. Lett. B69. — P. 441–444 (in Eng.)
- Faraoni V. and Capozziello S., Beyond (2011) Einstein Gravity, Vol. 170 (Springer, Dordrecht, (in Eng.)
- Aldrovandi R. and Pereira J.G. (2013). Teleparallel Gravity, Vol. 173 (Springer, Dordrecht), (in Eng.)
- Maluf J.W. (2013) The teleparallel equivalent of general relativity, Annalen Phys. 525. — P. 339–357, arXiv:1303.3897 [gr-qc]. (in Eng.)
- Linder E.V. (2010) Einstein's Other Gravity and the Acceleration of the Universe, Phys. Rev. D81, 127301 [Erratum: Phys. Rev.D82,109902(2010)]. (in Eng.)
- Li B., Sotiriou T.P and Barrow J.D. (2011)  $f(T)$  gravity and local Lorentz invariance, Phys. Rev. D83, 064035. (in Eng.)
- Farrugia G. and Said J.L. (2016) Stability of the flat FLRW metric in  $f(T)$  gravity, Phys. Rev. D94, 124054. (in Eng.)

- Li M., Xin M.R. and Gang M.Y. (2011) Degrees of freedom of  $f(T)$  gravity, JHEP 07, 108. (in Eng.)
- Yang, J., Lin, R.H. & Zhai, XH. Viscous cosmology in  $f(T)$  gravity. Eur. Phys. J.C, 82, 1039 (2022). <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-022-11008-2> (in Eng.)
- Ong Y.C., Izumi K., Nester J.M. and Chen P. (2013) Problems with Propagation and Time Evolution in  $f(T)$  Gravity, Phys. Rev. D88, 024019. (in Eng.)
- Jarv L. and Toporensky A. (2016) General relativity as an attractor for scalar-torsion cosmology, Phys. Rev. D93, 024051. (in Eng.)
- Sharif M., Rani Shamaïla (2013) Viscous Dark Energy in  $f(T)$  Gravity, Mod. Phys. Lett. A 28 1350118. (in Eng.)
- Kršák M. and Saridakis E.N. (2016) The covariant formulation of  $f(T)$  gravity, Class. Quant. Grav. 33, 115009. (in Eng.)
- Bamba K., Nashed G.G.L., Hanafy W.El. and Ibraheem Sh.K. (2016) Bounce inflation in  $f(T)$  Cosmology: A unified inflaton-quintessence field, Phys. Rev. D94, 083513. (in Eng.)
- Paliathanasis A., D. John. and Leach P.G.L (2016) Cosmological Solutions of  $f(T)$  Gravity, Phys. Rev. D94, 023525 (in Eng.)
- Hohmann M., Jarv L., Ualikhanova U. (2017) Dynamical systems approach and generic properties of  $f(T)$  cosmology, Phys. Rev. D 96, 043508. (in Eng.)

**Publication Ethics and Publication Malpractice  
in the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP**

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

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

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

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

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

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the Central Asian Academic Research Center LLP.

The Editorial Board of the Central Asian Academic Research Center LLP will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

**[www:nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)  
ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)  
<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>**

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*  
Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*  
Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 3.09.2025.

Формат 60x88<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
18,0 п.л. Заказ 3.