

МУСАТАЕВА АСЕМ БОЛАТБЕКОВНА

**«Космологиялық параметрлерін параметрлеу және күңгірт энергия мен модификацияланған гравитация модельдеріне бақылау шектеулері»
«БД060400-Физика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD)
дәрежесін алу үшін диссертацияның**

АННОТАЦИЯСЫ

Тақырыптың өзектілігі. Қазіргі космология Үлкен Жарылыстың стандартты моделіне сүйенеді, оған сәйкес ғалам шамамен 13,8 миллиард жыл бұрын тығыздығы мен температурасы өте жоғары күйден шыққан. Бұл модель Ғаламның кеңеюі, күн элементтерінің көптігі, ғарыштық микротолқынды фон радиациясы және ғаламның ауқымды құрылымы сияқты маңызды бақылау деректерімен жақсы сәйкес келеді. Алайда, 1998 жылы Ia типті супернова бақылауларына негізделген ғаламның жеделдетілген кеңеюінің ашылуы ғылымға жаңа іргелі міндет қойды - күңгірт энергияның табиғатын түсіндіру, бұл ғаламдағы барлық энергияның шамамен 70% құрайды. Ең тиімді құралдардың бірі - космологиялық шамаларды параметрлеу-мысалы, күй теңдеуінің параметрі, баяулау параметрі, сонымен қатар диагностикалық параметрлер және басқалар. Параметрлеудің әртүрлі формаларын қолдану күңгірт энергияның эволюциясын бақылауға және балама модельдерді Λ CDM-ден ажыратуға мүмкіндік береді. Бүгінгі таңда зерттеушілерде pantheon+ суперновалары, ғарыштық хронометр деректері, бариондық акустикалық тербелістер, Планк миссиясының деректері, desi спектроскопиялық шолуларының нәтижелері және т.б. сияқты жоғары дәлдіктегі бақылау деректерінің бай массиві бар. Бұл деректер модель параметрлеріне қатаң шектеулер қою мүмкіндігін ашады және Әлемнің ұлғаюы динамикасын үлкен дәлдікпен сынауға мүмкіндік береді. Бұл тұрғыда Байес талдауы, Монте-Карло Марков тізбегі әдісі, және Акаике мен Байестің ақпараттық критерийлері сияқты статистикалық әдістерді қолдану ерекше маңызды.

Бұл үдеудің ең қарапайым түсіндірмесі - Λ CDM моделіндегі Λ космологиялық тұрақты. Алайда, бұл модель бірқатар теориялық және бақылаушы мәселелерге тап болады, соның ішінде "дәл баптау" деп аталатын мәселе және ерте және кеш ғаламнан алынған Хаббл тұрақтысын бағалаудағы сәйкессіздік. Бұл жағдайлар баламалы тәсілдерге, ең алдымен, $f(R)$, $f(T)$, $f(R,T)$, $f(Q,T)$, $f(G)$, $f(Q)$ сияқты модификацияланған гравитация теорияларына, сондай-ақ оларды, гравитациялық әсер материяның жаңа геометриялық компоненттерімен кеңейетін жалпылауға қызығушылықты оятады. Күңгірт энергия тәуелсіз энергетикалық компонент ретінде емес, кеңістік-уақыттың геометриялық қасиеттерінің салдары ретінде қарастырылатын теориялық модельдер ерекше маңызға ие. Мұндай модельдер үдемелі ұлғаюдың табиғатына жаңа көзқараспен қарауға және стандартты космологиялық парадигмадан асып түсуге мүмкіндік береді.

Алайда, олардың өміршеңдігін бағалау үшін бақылау деректерімен салыстыру қажет, бұл талдаудың әмбебап әдістерін әзірлеуді қажет етеді.

Зерттеудің мақсаты. Параметрлеу әдістерін қолдана отырып, Гаусс–Бонне телепараллель моделі теориясы мен $f(Q)$ теориясына негізделген модификацияланған гравитация теориялары шеңберінде ғаламдағы космологиялық эволюцияны зерттеу, сондай-ақ олардың физикалық тұрақтылығы мен алынған мәліметтерге сәйкестігін бағалау үшін заманауи астрофизикалық бақылауларды қолдана отырып, осы модельдердің бақылау шектеулеріне салыстырмалы талдау жүргізу.

Зерттеу міндеттері. Диссертациялық зерттеуді жүргізу аясында келесі міндеттер қойылды:

1. Хаббл параметрінің $H(z)$ космологиялық шешімін алу және ғаламның жеделдетілген кеңеюін бағалау, содан кейін бақылау деректеріне (ОНД, ВАО, SNeIa) негізделген модель параметрлерін шектеу және модельдің тұрақтылығын талдау үшін $f(Q) = \beta Q^{(m+1)}$ модельді қолданатын симметриялы телепараллельді гравитация теориясы $f(Q)$ шеңберіндегі күй теңдеуінің тиімді параметрін жобалау және талдау.

2. $f(Q)$ модификацияланған гравитациясы шеңберінде Хаббл параметрінің параметрлеу схемасын қолдану арқылы өріс теңдеулерінің нақты шешімін алу, бақылау деректерін (57 Hubble нүктесі, 1048 SN нүктесі, 6 ВАО нүктесі) пайдалана отырып модель параметрлерін шектеу және ғарыштық параметрлердің, оның ішінде баяулау параметрі, энергия тығыздығы және күй теңдеуі параметрлері эволюциясын талдау, метрикалық емес скалярға негізделген ғарыштық эволюцияны зерттеу.

3. Космологиялық тұрақтысыз ерте инфляциядан кеш жеделдетілген кеңеюге дейінгі космологиялық эволюцияны түсіндіру үшін T бұралу инвариантына және Гаусс-Бонне мүшесінің T_G телепараллель эквивалентіне негізделген Гаусс-Бонне $f(T, T_G)$ модификацияланған телепараллель гравитациясы аясында z өтпелі қызыл ығысуды шектей отырып және (SNeIa+BAO+CMB+ $H(z)$) біріктірілген деректер негізінде $q(z)$ және $w(z)$ параметрлерін Λ CDM моделімен салыстыра отырып, Хаббл параметріне параметрлеу әдісін әзірлеу және қолдану.

Зерттеу объектілері. Ғаламның кеңею динамикасын сипаттайтын космологиялық параметрлер (атап айтқанда Хаббл параметрі, баяулау параметрі, күй теңдеуі параметрі); модификацияланған гравитация теориялары, соның ішінде $f(Q)$ гравитациясы және Гаусс-Бонне модификацияланған телепараллель теориясы; ғаламның эволюциясын сипаттау үшін космологиялық модельдерге қолданылатын параметрлік схемалар; заманауи бақылау деректері (Ia типті асқын жаңа жұлдыздарды бақылау, бариондық акустикалық тербелістер, ғарыштық микротолқынды фондық сәулелену, модель параметрлерін шектеу үшін қолданылатын $H(z)$) деректері.

Зерттеу әдістері. Теңдеулерді аналитикалық шешу, вариациялық әдістер, модификацияланған гравитация модельдерін құру және

салыстырмалы талдау, астрофизикалық деректерді өңдеу, теориялық модельдерді бақылау деректеріне статистикалық сәйкестендіру, космологиялық модельдердің параметрлерін бағалау, параметрлер саны мен жуықтау сапасын ескере отырып, ең жақсы модельді таңдау, сандық модельдеуді қолдану, яғни ғаламның кеңеюін немесе құрылымын үлкен масштабта модельдеу.

Қорғауға шығарылатын негізгі ережелер. Диссертациялық зерттеудің келесі негізгі нәтижелері қорғауға ұсынылады:

1. $f(Q)$ модификацияланған гравитация теориясының шеңберінде Хаббл параметрін параметрлеуді, $H(z)$, SNeIa және BAO деректерін пайдалана отырып ғаламның баяулау фазасынан жеделдетілген кеңеюге дейінгі эволюциясының дәл қайталануын және модельдің қазіргі заманғы бақылауларға сәйкестігін көрсететін $H_0 = 65.9 \pm 1.3$ км/с/Мпк, $q_0 = -0.38 \pm 0.06$, $z_{rr} = 0.68 \pm 0.01$ және $\omega_0 = -0.59^{+0.04}_{-0.04}$ тиімді мәндері алынды.

2. Хаббл параметрі бақылау деректері, бариондық акустикалық тербелістер және Ia-типті суперновалар деректеріне негізделген $\omega_{eff} = -1 + \frac{A}{A + B(1+z)^{-3}}$ күй теңдеуінің тиімді параметрін $A = 0.342 \pm 0.022$, $B = 0.677 \pm 0.025$ және $m = 0.013 \pm 0.021$ бағалаулармен параметрлеу, ғалам динамикасының EoS ағымдағы $\omega_0 = -0.91^{+0.08}_{-0.08}$ мәнімен баяулаудан жеделдету режиміне өзгеруін $z_{rr} = 0.60 \pm 0.02$ қызыл ығысу ауысатынын көрсетеді, бұл күй теңдеуі мәнімен расталатыны, модельдің квинтэссенциалды болатыны дәлелденді.

3. $f(T, T_G)$ модификацияланған гравитация теориясындағы космологиялық модельге Байес талдауын жүргізу арқылы оның бақылау деректерімен сәйкестігін ($\gamma = 0.62501$, $\beta = 0.67364$, $q_0 = -0.45015$, $\omega \approx -1$ кезінде $z \rightarrow 0$) Планкқа жақын мәнді алу, әлемнің баяулаудан үдемелі ұлғаюға ауысуын сипаттау және күшті энергетикалық шарттың бұзылуы кезінде нөлдік және доминантты энергетикалық шарттардың сәйкестігін көрсететін күңгірт энергияның квинтэссенциалды табиғаты ашылды.

Зерттеудің негізгі нәтижелерінің сипаттамасы. Алынған нәтижелердің жаңалығы мен маңыздылығының негіздемесі.

$f(T, T_G)$ гравитация моделі күңгірт энергия мәселесін шешудің жаңа жолдарын аша отырып, космологиялық тұрақтысыз ғаламның жеделдетілген кеңеюіне бәсекеге қабілетті түсініктеме береді. Ғылыми жаңалыққа мыналар кіреді:

1. Алғаш рет $f(Q) = \beta Q^{(m+1)}$ модельмен $\omega_{eff} = -1 + \frac{A}{A + B(1+z)^{-3}}$ эффективті күй теңдеуін және $H(z) = H_0 \left(\frac{m + (1+z)^n}{m+1} \right)^{\frac{3}{2n}}$ Хаббл параметрін параметрлеу

қолданылды. Бұл ғаламның материяның үстемдік ету дәуірінен болашаққа дейінгі эволюциясын сипаттайтын космологиялық параметрлер үшін бұған дейін $f(Q)$ гравитациясы контекстінде зерттелмеген аналитикалық шешімдер

алуға мүмкіндік берді. Параметрлерді шектеу үшін МКМТ әдісімен біріктірілген ОНД, ВАО және SNe деректерін пайдалану ($H_0 = 65.9_{-1.3}^{+1.3}$ км/с/Мпк, $m = 1.43_{-0.23}^{+0.25}$, $n = 2.04_{-0.27}^{+0.27}$) $f(Q)$ гравитацияда жоғары дәлдік пен инновациялық тәсілді қамтамасыз етеді.

ОНД+ВАО+SNe біріктірілген деректерінен А, В және m шектеулі мәндерін пайдалана отырып, тығыздық параметрін, күй теңдеуі параметрін және баяулау параметрін қызыл ығысу функциясы ретінде талдадық.

2. Алғаш рет модельдің тұрақтылығын көрсететін сызықтық бұзылуларға ($\delta(z)$, $\delta_m(z)$ өшу) талдау жасалды. Теріс көлбеулі $Om(z)$ диагностикасы квинтессенциалды сипатты растайды, ал statefinder (r, s) $f(Q)$ гравитация үшін жаңа Λ CDM эволюцияны көрсетеді. Statefinder параметрлері мен om диагностикасы, сондай-ақ оларды Λ CDM моделімен салыстыру талданды. Сипатталған модель модификацияланған гравитация бөлігі ретінде кеш ғаламдағы ғарыштық эволюцияның сипатын қарапайым түсіндіру болып табылады. Ол қазіргі уақытта квинтессенциалды сипатын көрсетеді және кейбір бақылау деректеріне жақсы сәйкес келеді, бұл біздің модельді стандартты космологияға қолайлы балама етеді.

3. Модель $f(Q) = -Q + \frac{\alpha}{Q}$ түрдегі квинтессенциалды сипатты $\omega_0 = -0.59_{-0.04}^{+0.04}$ көрсете отырып және баяулаудан үдемелі ұлғаюға $z_{tr} = 0.68 \pm 0.01$ өтуді қайталау арқылы жеделдетілген кеңейуді түсіндіреді. Әлсіз энергетикалық, нөлдік энергетикалық, басым энергетикалық (орындалады) және күшті энергетикалық (бұзылады) шарттарын тексеру $f(Q)$ гравитациясы үшін бұрын зерттелмеген модельдің физикалық жарамдылығын растайды. Бұралу скалярына (T) және Гаусс-Бонне (T_G) комбинациясының телепараллель эквивалентіне негізделген $f(T, T_G)$ модификацияланған гравитация үшін бақылау шектеулерін зерттеу ұсынылды. Фридманның жалпы теңдеулерін шығарып, содан кейін нақты $f(T, T_G)$ анзацтарын таңдау арқылы энергия тығыздығы, күй теңдеуі параметрлері және т.б. сияқты әртүрлі бақыланатын параметрлерді толық зерттеу жүргізіледі.

SCBH деректерінен алынған b және γ еркін параметрлерінің ең жақсы мәндерін қолдана отырып, H Хаббл параметрін параметрлеу қарастырылды. Бұл параметризация ғаламның ағымдағы жеделдетілген кеңеюін сипаттайтын уақытқа тәуелді ($q < 0$) алдыңғы баяулаумен ($q > 0$) Q баяулау параметріне әкеледі. $H(z)$ құрамына кіретін еркін космологиялық параметрлер материя тығыздығы (Ω_m) және сәулелену тығыздығы (Ω_r) сияқты фондық параметрлермен байланысты болуы мүмкін екендігі анықталды. Алынған Хаббл параметрінің мәні H_0 Планк миссиясы бойынша алынған бағалауға жақын. Осылайша, $f(T, T_G)$ гравитация моделі квинтессенциалды сипаты мен бақылау деректерімен сәйкестікті көрсете отырып, ғаламның ерте баяулаудан кеш жеделдетілген кеңеюге өтуін сәтті сипаттайды.

Алғаш рет бастапқы параметрлеуі бар модификацияланған $f(Q)$ және $f(T, T_G)$ гравитация моделі әзірленді, бақылау деректерінде сәтті сынақтан өтті және квинтэссенциялық сипатқа ие екендігін көрсетті. Бұл модификацияланған гравитация теорияларына елеулі үлес қосады және космологиялық зерттеулердің жаңа бағыттарын ашады.

Алынған нәтижелерді апробациялау. Диссертациялық зерттеу барысында алынған нәтижелер рецензияланатын Scopus және Web of Science индекстелген журналдарында жарияланды. Модель Λ CDM-ге жақындығын көрсете отырып, бақылау деректеріне сәйкестікке сыналған. $f(Q)$ гравитация саласындағы жұмыстарға сілтемелер зерттеуді қазіргі ғылыми дискурсқа біріктіреді.

Зерттеу бақылау деректері, жариялау және ғылыми қолдау арқылы сыналған $f(Q)$ және $f(T, T_G)$ гравитацияның жаңа моделін ұсыну арқылы космологияға елеулі үлес қосады. Ол астрофизикадағы іргелі зерттеулердің басымдықтарына жауап береді, модификацияланған гравитация теорияларын зерттеудің перспективаларын ашады.

Ғылымның даму бағыттарына немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкестігі. Зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (грант №AP09058240 Гравитацияның метрикалық-аффиндық теориясының космологиясын зерттеу), бұл оның ғылым мен технологияны дамыту саласындағы ұлттық басымдықтарға сәйкестігін көрсетеді. Қазақстанда физика және астрофизика саласындағы іргелі зерттеулерге ғылыми әлеуетті нығайтуға және әлемдік ғылыми қоғамдастыққа интеграциялауға бағытталған мемлекеттік бағдарламалар шеңберінде қолдау көрсетіледі.

Жұмыс жоғары энергия физикасы, космология және астрофизиканы қоса алғанда, ғылымның басым бағыттарын дамыту, сондай-ақ халықаралық аренада қазақстандық ғылымның бәсекеге қабілеттілігін арттыру сияқты мемлекеттік бағдарламалардың мақсаттарын іске асыруға ықпал етеді.

Зерттеу тақырыбы телескоптар мен спутниктерді (мысалы, Planck, DESI) бақылауларды қоса алғанда, халықаралық жобалар қолдайтын күңгірт энергия мен космологиялық эволюцияны зерттеу сияқты жаһандық ғылыми бастамалармен байланысты.

Жарияланымдар. Диссертациялық зерттеу нәтижелері бойынша импакт-фактор мен квартильмен рецензияланатын ғылыми журналдарда 3 шетелдік мақала жарияланды:

1. Mussatayeva A., Myrzakulov N., Koussour M. Cosmological constraints on dark energy in $f(Q)$ gravity: A parametrized perspective // Physics of the Dark Universe. 2023. Vol.42. P.101276. Импакт фактор – 6.4. Квартиль – Q1, процентиль – 83.

2. Myrzakulov N., Mussatayeva A., Koussour M. Quintessence-like features in the late-time cosmological evolution of $f(Q)$ symmetric teleparallel gravity // Chinese Journal of Physics. 2023. Vol.85. P.345-358. Импакт фактор – 4.6. Квартиль – Q1, процентиль – 85.

3. Shekh S.H., Myrzakulov N., Pradhan A., Mussatayeva A. Observational Constraints on $f(T, T_G)$ Gravity with Hubble's Parametrization // Symmetry. – 2023. Vol.15. P.321. Импакт фактор – 2.2. Квартиль – Q2, процентиль – 82.

Докторанттың әрбір жарияланымды дайындауға қосқан үлесі. Мақалалар сериясы бойынша диссертация дайындауда теориялық жұмыс, компьютерлік модельдеу, ғылыми материалдарды талдау және баспаға дайындауды автордың жеке өзі жүзеге асырды. Ғылыми жетекшілермен бірлесіп міндеттер қою, зерттеу әдістерін таңдау, алынған нәтижелер мен жұмыс қорытындысын талқылау және талдау жұмыстары жүргізілді.