

АННОТАЦИЯ

8D060400 – ФИЗИКА

Философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған диссертация

ЕРГАЛИЕВА ГУЛЬМИРА ТЕМИРЕШЕВНА

Гравитация және қара құрдым теорияларының жалпыланған модельдері

Тақырыптың өзектілігі. Қазіргі космология мен гравитация физикасы Ғаламның ірі масштабтағы эволюциясын, оның үдемелі ұлғаюының табиғатын және қара құрдымдардың экстремалды қасиеттерін түсіндіруге бағытталған іргелі мәселелермен сипатталады. Соңғы онжылдықтарда алынған жоғары дәлдіктегі бақылау деректері, соның ішінде ғарыштық микротолқынды фон (CMB - Cosmic Microwave Background), Ia типті аса жана жұлдыздар (SN Ia - Type Ia supernovae), бариондық акустикалық тербелістер (BAO - Baryon Acoustic Oscillations) және гравитациялық линзалау нәтижелері стандартты Λ CDM космологиялық моделінің көптеген табыстарын растағанымен, бірқатар шешілмеген мәселелердің бар екенін көрсетті. Солардың ішіндегі ең маңыздыларының бірі – Хаббл тұрақтысының жоғары және төмен қызыл ығысуларда алынған мәндері арасындағы сәйкессіздік, яғни Хаббл шиеленісі.

Аталған мәселені түсіндіру мақсатында гравитацияның модификацияланған теориялары мен балама космологиялық модельдер белсенді түрде зерттелуде. Осындай тәсілдердің бірі – Ғалам масштабтық факторының тербелмелі сипатына негізделген квазистационарлық күй космологиясы (QSSC - Quasi Steady State Cosmology). Бұл модель бастапқы сингулярлықтың болмауымен және Ғаламның кейінгі уақыттағы динамикасын феноменологиялық тұрғыдан сипаттай алуымен ерекшеленеді. QSSC аясында Хаббл параметрінің уақытқа тәуелді тербелмелі эволюциясы төмен қызыл ығысуда оның шамасының артуына алып келуі мүмкін, бұл Хаббл шиеленісін әлсіретудің ықтимал механизмі ретінде қарастырылады.

Космологиялық аспектілермен қатар, қара құрдымдардың геометриялық, оптикалық және термодинамикалық қасиеттерін зерттеу гравитация теорияларын тексерудің маңызды құралдарының бірі болып табылады. Event Horizon Telescope жобасы арқылы супермассивті $M87^*$ және $Sgr A^*$ қара құрдымдарының көлеңкелерінің тікелей бақылануы теориялық модельдерді астрофизикалық деректермен салыстыруға жана мүмкіндіктер ашты. Осы тұрғыдан алғанда қосымша өлшемдері бар кеңістік-уақыттардағы, сондай-ақ сингулярлық емес қара құрдым модельдерін талдау ерекше өзекті болып табылады.

Диссертациялық зерттеудің мақсаты. Диссертациялық жұмыстың мақсаты – QSSC космологиялық моделін қолдана отырып Хаббл тұрақтысының шиеленісін феноменологиялық тұрғыдан әлсірету мүмкіндігін зерттеу, сондай-ақ бесөлшемді Рейснер-Нордстрем-анти-де-Ситтер ($RN-AdS_5$) қара

кұрдымдарының көлеңке сипаттамаларын және Эйнштейн-Гаусс-Бонне (ЭГБ) гравитациясы аясындағы Бардин және Бардин-Янг-Миллс типті сингулярлық емес қара құрдымдардың геометриялық және термодинамикалық қасиеттерін кешенді түрде талдау.

Қойылған мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды:

1. QSSC моделі негізінде Ғалам эволюциясының тербелмелі сипаттамасын талдау және оның жоғары қызыл ығысудағы (CMB/Planck) және төмен қызыл ығысудағы бақылаулар (OHD - Observational Hubble data, SN Ia, BAO) арасындағы Хаббл параметрі шиеленісін феноменологиялық тұрғыдан әлсірету мүмкіндігін бағалау.

2. RN-AdS₅ қара құрдымының көлеңкесін плазмалы және плазмасыз ортада есептеу, зарядтың, космологиялық тұрақтының және плазма параметрлерінің көлеңке радиусына әсерін анықтау. Алынған көлеңке сипаттамаларын M87* және Sgr A* супермассивті қара құрдымдарының бақылау деректерімен сапалық тұрғыда салыстыру.

3. ЭГБ гравитациясындағы Бардин типті тұрақты қара құрдым шешімінің термодинамикалық қасиеттерін және критикалық құбылыстарын зерттеу.

4. Бардин-Янг-Миллс қара құрдымының тұрақты шешімін алып, оның көкжиек құрылымын, термодинамикалық қасиеттерін және Бекенштейн-Хокинг ауданы заңынан ауытқуын талдау.

5. QSSC моделінің параметрлерін заманауи бақылау деректерімен салыстырып, Монте-Карло Марков тізбегі әдісі (MCMC) арқылы статистикалық бағалау.

Зерттеу нысандары. QSSC космологиялық моделі және Хаббл параметрінің тербелмелі табиғаты; RN-AdS₅ қара құрдымының көлеңкесі және нөлдік геодезиялық қозғалыс; ЭГБ гравитациясындағы Бардин қара құрдымының термодинамикалық және фазалық қасиеттері; Бардин-Янг-Миллс қара құрдымының геометриялық және термодинамикалық сипаттамалары.

Зерттеу әдістері. Зерттеуде аналитикалық әдістер (Фридман-Леметр-Робертсон-Уокер метрикасы, Эйнштейн және ЭГБ өріс теңдеулері, нөлдік геодезиялық теңдеулер), сандық әдістер (MCMC алгоритмі негізінде статистикалық талдау), геометриялық-оптикалық әдістер (қара құрдым көлеңкесін модельдеу), сондай-ақ термодинамикалық талдау әдістері қолданылды.

Ғылыми жаңалық келесі негізгі нәтижелерді қамтиды:

1. QSSC моделінің Хаббл шиеленісі әлсірету қабілеті масштабты фактордың тербелмелі сипатын сандық тұрғыда талдау және MCMC әдісі арқылы кешенді зерттеу нәтижесінде көрсетілді. OHD, Pantheon (SN Ia) және BAO бақылау деректері негізінде модель параметрлері (α, β, η, h) калибрленіп, төмен қызыл ығысудағы бақылаулармен 1σ деңгейінде үйлесімділік анықталды. Зерттеу нәтижелері QSSC моделінің фантомдық тәрізді күйді ($\omega_{DE}(0) < -1$) қосымша өрістер енгізбей табиғи түрде бере алатынын және жоғары қызыл ығысуларда Λ CDM космологиясына асимптотикалық түрде сәйкес келетінін көрсетті.

2. RN-AdS₅ қара құрдымының көлеңкесі плазмалы және плазмасыз ортада жан-жақты талданып, зарядтың (q), космологиялық тұрақтының (Λ) және плазма параметрінің көлеңке радиусына әсері толық параметрлік зерттелді. Алынған нәтижелер M87* және Sgr A* супермассивті қара құрдымдардың бақылау деректерімен сапалық тұрғыда салыстырылды.

3. ЭГБ гравитациясындағы Бардин қара құрдымының термодинамикалық қасиеттері толық параметрлік тұрғыдан талданып, жылу сыйымдылығы, Гиббс энергиясы және $P-V$ критикалық құбылыстары анықталды. Фазалық ауысулардың құрылымы AdS кеңістігіндегі қара құрдымдарға тән сұйықтық аналогиялары тұрғысынан жан-жақты зерттелді.

4. Бардин-Янг-Миллс қара құрдымының тұрақты шешімі негізінде оның көкжиек құрылымы, термодинамикалық шамалары (температура, энтропия, жылу сыйымдылығы) және энергия шығару қарқындылығы кешенді түрде талданды. Бейсызықтық электродинамика мен Янг-Миллс өрісінің сингулярлық емес қара құрдым қасиеттеріне әсері анықталды.

Диссертациялық жұмыстың құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 4 бөлімнен, қорытындыдан және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыс 30 суреттен, 165 формуладан, 23 кестеден, 203 әдебиеттер тізімі мен 98 бетті қамтиды.

Қорғауға шығарылған негізгі қағидаттар

1. QSSC моделінде масштабты фактордың тербелмелі шешімі.

QSSC моделінде масштабты фактордың *тербелмелі сипаты* Хаббл параметрінің $H(t)$ қазіргі дәуірге жақын артуына алып келетіні, тиімді күңгірт энергияның фантомдық тәрізді күйін $\omega_{DE}(0) < -1$ табиғи түрде туындататыны және төмен қызыл ығысудағы H_0 мәндерімен 1σ деңгейінде үйлесетіндігі көрсетілді. OHD, Pantheon (SN Ia) және BAO бақылау деректері бойынша жүргізілген MCMC талдауы QSSC моделіндегі тербелмелі механизмнің Хаббл параметрінің шиеленісін феноменологиялық тұрғыдан әлсірететінін және жоғары қызыл ығысуларда Λ CDM космологиясына асимптотикалық түрде сәйкес келетінін растайды.

2. RN-AdS₅ қара құрдым көлеңкесі.

Зарядталған RN-AdS₅ қара құрдымы үшін фотондық сфераның радиусы және көлеңкенің радиусы аналитикалық түрде алынды. Вакуумда көлеңке радиусы заряд q және космологиялық тұрақты Λ артқан сайын кемиді, ал плазмалы ортада заряд q плазма параметрі k артқан сайын ұлғаятыны дәлелденді. Алынған нәтижелер M87* және Sgr A* супермассивті қара құрдымдарының көлеңкелері туралы бақылаулармен сапалық деңгейде үйлеседі.

3. ЭГБ гравитациясындағы Бардин қара құрдымы.

ЭГБ гравитациясында бейсызықтық электродинамикамен байланыстырылған Бардин типті сингулярлық емес қара құрдымның жаңа дәл шешімі алынды. Қисықтық инварианттарының барлық аймақта шекті болуы сингулярлықтың жоқтығын дәлелдейді. Кеңейтілген фазалық кеңістікте

термодинамикалық сипаттаманың Ван-дер-Ваальс жүйесіне тән белгілері анықталды: бірінші ретті фазалық ауысу, критикалық нүкте және орташа өріс теориясына сәйкес келетін критикалық көрсеткіштер

$$\alpha = 0, \quad \beta = \frac{1}{2}, \quad \gamma = 1, \quad \delta = 3.$$

4. Бардин-Янг-Миллс қара құрдымының жалпыланған шешімі.

Бейсызықтық электродинамика мен Янг-Миллс өрісі біріктірілген Бардин-Янг-Миллс қара құрдымының жаңа статикалық, сфералық симметриялы шешімі алынды. Бұл шешім Бардин ($\nu = 0$), Янг-Миллс ($g = 0$) және Шварцшильд ($\nu = 0, g = 0$) метрикаларын шекті жағдайлар ретінде қайта өндіреді. Қисықтық инварианттарының шекті болуы орталық сингулярлықтың жоқтығын дәлелдейді. Термодинамикалық талдау нәтижесінде Бекенштейн-Хокинг ауданы заңының бейсызықтық өрістік әсерлерге байланысты бұзылатыны, тұрақтылық аймақтары және максималды температурамен байланысты фазалық ауысу анықталды.

Диссертациялық жұмыстағы автордың жеке үлесі. Автор ғылыми жетекшілердің басшылығымен зерттеудің барлық кезеңдеріне тікелей қатысты: өріс теңдеулерін алу, геометриялық және термодинамикалық сипаттамаларды аналитикалық талдау, сандық есептеулерді орындау, QSSC моделін бақылау деректерімен салыстыру және алынған нәтижелерді интерпретациялау. Барлық негізгі аналитикалық және МСМС сандық есептеулер автордың жеке үлесімен жүзеге асырылды.

Жұмыстың апробациясы. Диссертациялық зерттеу барысында алынған нәтижелер келесі ғылыми конференциялар мен семинарларда ұсынылып, сынақтан өтті: Студенттер мен жас ғалымдардың «Gulum және bilim-2019» XIV Халықаралық ғылыми конференциясында (Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, 2019), Қазақ физикалық қоғамының екінші конференциясында (Қазақ-Британ техникалық университеті, Алматы, 2019); «Қазіргі білім беру кеңістігіндегі физика-математика ғылымдарының рөлі» VI Халықаралық ғылыми-практикалық конференция (Атырау, 2021).

Жалпы 10 ғылыми жұмыс жарияланды: 4 мақала **WoS/Scopus** базаларында

- *Physics of the Dark Universe* (2023, IF 5.8, Q1);
- *International Journal of Modern Physics A* (2023, IF 1.3, Q3);
- *European Physical Journal Plus* (2023, IF 2.9, Q2);
- *Annals of Physics* (2023, IF 3.0, Q2);

сонымен қатар 1 мақала ҚР ҒЖБМ ЖБССҚК ұсынымды журналында, 5 халықаралық конференция материалында.

Диссертация тақырыбының ғылыми жұмыс жоспарларымен байланысы

Диссертациялық жұмыс мемлекеттік бюджеттен қаржыландырылатын келесі екі жоба аясында орындалды:

- «Гравитацияның жалпыланған теорияларына негізделген Ғаламның эволюциясын зерттеу»(AP09261147, 2021-2023 жж.);

«Метрикалық-аффиндік гравитация теориясының космологиясын зерттеу» (AP09058240, 2021-2023 жж.).

Жұмыстың теориялық және практикалық маңыздылығы. Зерттеу нәтижелері қара құрдымдардың сингулярлық емес модельдеріндегі геометриялық және термодинамикалық қасиеттерді нақтылауға, олардың физикалық параметрлерін (құрамдас өрістер, заряд, масса, космологиялық тұрақты) бағалауға мүмкіндік береді, ал QSSC моделінің параметрлерін бақылау деректері негізінде калибрлеу Хаббл шиеленісін түсіндірудің феноменологиялық механизмін ұсынады. RN-AdS₅ және Бардин типті қара құрдымдардағы фотондық сфера мен көлеңке радиустары супермассивті қара құрдымдар (*M87**, *Sgr A**) бақылауларымен салыстырылып, теориялық модельдерді астрофизикалық деректермен сәйкестендіру үшін жаңа мүмкіндіктер береді.