

6D060400 – Физика мамандығы бойынша философия докторы (Ph.D)  
дәрежесін алу үшін диссертациялық жұмысына

**АҢДАТПА**

**Нуртаева Галия Кадырхановна**

### **Көпөлшемді гравитациялық теориялардағы брандық шешімдер**

**Жұмыстың жалпы сипаттамасы.** Диссертациялық жұмыста домендік қабырғалар мен қалың браналар (thick branes) атты гипотетикалық астрофизикалық объектілер үшін 4 және көпөлшемді модификацияланған гравитациялық теорияларында есептеу нәтижелері зерттелген.

**Тақырыптың өзектілігі.** Жалпы салыстырмалылық теориясы және Максвелдің электродинамикалық теориясы физика саласының тұрақты маңызды шешімдері болып табылады. Тұрақты шешімдер деп ақырғы энергиясы бар және тиісті өрістері бүкіл кеңістікте шексіз болатын, яғни жеке жағдайда кеңістіктің ортасында және кеңістік шексіз болатын жағдайдағы шешімдерді атаймыз. Жоғарыда аталған теориялардағы мұндай тұрақты шешімдер өте сирек кездеседі. Мысал ретінде қара құрдым түріндегі шешімдерді қарастыруға болады: қарастырылып отырған шешімдер сингулярлы: қара құрдымның ортасында нүктелік масса, нүктелік заряд және басқа да шамалар сингулярлы болады. Қандай да бір дерексіз классикалық және кванттық электродинамика аясында тұрақты шешімдерді алу мүмкін емес. Бұның себебі Максвелл теңдеулерінің сызықтығы. Тек электромагниттік толқындар Максвелл теңдеулерінің жалғыз шешімі болып табылады.

Тұрақты шешімдерді барлық жағдайда алу үшін өріс теңдеулері сызықтық емес болуы керек. Ал, жалпы салыстырмалылық теориясында тұрақты шешімдерді шешуге болады. Шындығында, мұндай шешімдер бар, мысалы, скалярлық өрістер үшін бұл бозондық жұлдыздар деп аталады. Басқа мысалдарға домен қабырғалары, брандар және кротовина сияқты нысандарды жатқызуға болады. Скаляр өрісінің потенциалы оқшауланған минимумға ие болған жағдайда алғаш рет домендік қабырғалардың шешімдері пайда болды. Бұл жағдайда домендік қабырға скалярлық потенциалдың әр түрлі минимумдарын бөлетін бет болып табылады. Бұл жағдайда скаляр өріс кеңістіктегі өзгеріске ұшырайды және бір бағытта бір минимумға, қарама-қарсы бағытта екінші минимумға ұмтылады. Скаляр өрісінің жылдам өзгеру аймағы домен қабырғасына сәйкес келеді. Жұқа қабырғадағы скаляр өрістің энергия тығыздығының өзгеруі домен қабырғасының бетінде локализацияланып, оның орнын дельта функциясы алмастырады.

Барлық өрістер қабырғаның әр жағында тұрақты болған жағдайда, яғни олар потенциалдық минимумда болса, домендік қабырғаларды вакуумды домендік қабырғалар деп атайды.

Бран әлемі туралы теорияны қарастыру (көп өлшемді сыртқы кеңістік-уақытқа салынған  $n$ -өлшемді гипербеткей) соңғы жылдары қазіргі Әлемді зерттеудің маңызды бағыты болды. Бран әлемінің теориялары шеңберінде элементар бөлшектер массаларының иерархиясын табиғи түрде сипаттауға, элементар бөлшектер теориясының басқа бірқатар мәселелерін шешуге болады. Сонымен қатар, осы типтегі теориялар қара құрдым энергиясын модельдеуде сәтті қолданылады. Кванттық гравитацияда брандар маңызды роль атқарады. Жоғарыда айтылғандарға байланысты домендік қабырғалар мен брандарды сипаттайтын модификацияланған гравитация теорияларының шешімін зерттеу қажет, өйткені олардың барлық қасиеттері осы астрофизикалық объектілердің қасиеттерін түсіну үшін **өзекті** болып табылады.

Жоғарыда айтылғандардың негізінде диссертациялық жұмыс домендік қабырғалар мен қалың браналарды зерттеуге арналған.

Жұмыста гравитацияның модификацияланған (кеңейтілген) теориялары аясында космологиялық эволюцияның сипаттамасын ұсынатын бағыттар зерттелді. Осы теорияларға шолу жасай отырып, таңдаулы бағыттарды бөліп көрсету қиын, өйткені нақты тәсілдер әр түрлі дәрежеде зерттеледі және танылады. Модификацияланған гравитация теориясы немесе гравитация теориясының баламасы – бұл Эйнштейннің гравитация теориясын жалпылайтын теориялар. Балама теориялардың мақсаты – космологиядағы құбылыстардың ең жақсы сипаттамасын ұсына отырып, модификацияланған теория шеңберіндегі гравитацияны сипаттау, сонымен қатар қазіргі кездегі тәжірибелік мәліметтерге қайшы келмеу.

Жалпы салыстырмалық теориясының бірқатар мәселелері бар, сондықтан жаңа теорияны құруға немесе ескі теорияларды жаңа тәжірибелік мәліметтермен тексеруді бастауға әрқашан бірнеше себептер бар. Демек 1916 жылы А.Эйнштейн жасаған гравитация теориясын сынаудың немесе жалпылаудың жаңа мүмкіндіктері бар. Модификацияланған гравитациялық тәсіл ғаламның кеш дамуына және қара құрдым энергиясын зерттеуде қолданылады. Іс жүзінде модификацияланған гравитация қара энергияның гравитациялық баламасын ұсынады, яғни ол қараңғы материяны біріңғай түсіндіру үшін негіз бола алады. Кейбір космологиялық эффектілерді (мысалы, галактикалардың айналу қисығы) гравитацияны модификациялау тұрғысынан түсіндіруге болады. Ғарыштық үдеу тек Әлемнің кеңеюімен түсіндіріледі, мұнда кейбір субдоминантты терминдер (мысалы  $1/R$ ) төмен қисықтық сызық кезінде маңызды бола алады. Осы көзқарас шеңберінде жалпы салыстырмалық теориясының оң сипаттамаларын сақтай отырып модификацияланған гравитация теориясын өзгертілген теориялардың класынан ажыратуға болады. Олар белгісіз бөлшектердің болуын қажет етпейді, олар әлі тәжірибе жүзінде табылмаған, бірақ зерттеудің басқа түрін қажет етеді. Бұл тәсілмен Эйнштейн – Гильберт гравитациялық әрекеті, мысалы, скаляр Риччи қисаюының ерікті функциясы  $R - f(R)$  – ды қосу арқылы өзгертіледі. Динамикаға қатысатын басқа физикалық өрістердің

(мысалы, скаляр өрісін) болуын болжайтын аралас тәсіл де қарастырылуы мүмкін. Риччи, Риман және Вейл тензорларынан алынған неғұрлым күрделі құрылымдарды немесе минималды емес өзара әрекеттесу теорияларын қолдануға болады. Сондай-ақ, өлшемдері төрттен жоғары кеңістіктердегі гравитация теорияларын және т.б. қарастыруға болады. Олардың ең көп назары  $f(R)$  - гравитация күшін тартады, өйткені ол басқа түрлендірілген гравитация теорияларына қарағанда қарапайым болып көрінеді, сонымен қатар скаляр-тензор теориясы түрінде қайта жазылуы мүмкін.

Модификацияланған гравитация теориялары - бұл соңғы уақытта ашылған Әлемнің қазіргі жеделдетілген кеңеюін түсіндірудің бәсекелес модельдерінің бірі. Бұл теориялар, шамасы, жалпы салыстырмалылықтың қарапайым геометриялық қорытылуы болып табылады. Олар Эйнштейн-Гильберт Лагранж  $R$ -ді  $f(R)$  скалярлық қисықтықтың ерікті функциясымен алмастыруға негізделген. Математикалық тұрғыдан алғанда, өзгертілген әрекетті метрикаға қатысты өзгерту арқылы алынған өріс теңдеулері мүмкін шешімдердің кең құрылымына ие, бұл оларды жаңа физикалық нәтижелер алу үшін қолдануға мүмкіндік береді. Диссертациялық жұмыста 4 және көп өлшемді модификацияланған гравитация теориялары аясында жүргізілген зерттеулер ұсынылды, және мұнда домендік қабырғаларға, қалың браналарға арналған тұрақты шешімдердің әр түрлі типтері табылды; сонымен қатар алынған шешімдерге сапалы талдау жасалды.

**Диссертация тақырыбы мен ғылыми жұмыс байланысы.** Диссертациялық жұмыс ҚР БҒМ ҒК “ғылыми зерттеуді бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру” іргелі ғылыми-зерттеу жұмысының (ҒЗЖ) жоспарына сәйкес “плазма физикасы мен плазмаға ұқсас орталардың іргелі мәселелерін зерттеу”, БР05236730 бағдарламасының ЖТН тақырыбы бойынша орындалды. (2017-2020жж., мемлекеттік тіркеу № 0115рк02918, шифр 0263/ПЦФ-14).

**Жұмыстың мақсаты.** Модификацияланған  $f(R)$  типтегі гравитация теориялары аясында  $D$ -өлшемді кеңістік-уақыттағы 4 өлшемді және  $n$  – өлшемді қалың браналардың 4 өлшемді домен қабырғаларын сипаттайтын модификацияланған гравитация теориясындағы тұрақты шешімдерді алу және егжей-тегжейлі зерттеу.

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттерді **шешу қажет**:

- Модификацияланған гравитация теориясының теңдеулерін қолдана отырып, 4 өлшемді және көпөлшемді жағдайларда домен қабырғалары мен қалың браналарды сипаттайтын теңдеулерді алу;
- Модификацияланған гравитация теориясындағы жалпақ 4 симметриялы және көп өлшемді өлшемдерді сипаттайтын теңдеулерге сүйене отырып, домен қабырғалары мен қалың браналарды сипаттайтын тұрақты шешімдерді алу;
- Қалың браналар бен домен қабырғаларының қасиеттерін зерттеу.

**Зерттеу аймағы.** Модификацияланған гравитация теориялары және олардағы жалпақ симметриялы шешімдер.

**Зерттеу нысаны.**  $f(R)$  типтегі модификацияланған гравитация теориясының өріс теңдеулері.

**Зерттеу әдісі.** Домендік қабырғалар мен қалың браналарды сипаттайтын модификацияланған гравитациялық теориялардың сызықты емес дифференциалдық теңдеулерін зерттеудің сандық және аналитикалық әдістері.

**Жұмыстың жанашылдығы.** Алғаш рет зерттеудің жанашылдығы мен өзіндік ерекшелігі:

- модификацияланған гравитация теориясында көп өлшемді және 4 өлшемді жаңа жалпақ симметриялы шешімдер алынды;

- модификацияланған гравитация теориясында қалың браналар бен домен қабырғаларының қасиеттері зерттелді;

- модификацияланған гравитация теориясында домен қабырғалары мен қалың браналардың пайда болу мүмкіндігі  $f(R)$  функциясының түрімен айтарлықтай анықталатыны көрсетілді.

**Зерттеудің теориялық және практикалық маңыздылығы.** Гравитация теориясында жаңа тұрақты шешімдер қабылдау гравитация табиғатын түсіну үшін қызықты және қажетті міндет болып табылады. Домен қабырғалары мен қалың браналар – бұл болашақта табуға болатын гипотетикалық объектілер. Сондықтан олардың қасиеттерін зерттеу теориялық физикадағы маңызды міндет болып табылады.

**Қорғауға шығарылатын мәселелер:**

- Модификацияланған гравитация теориясы арқылы табылған 4-өлшемді және көпөлшемді жағдайлардағы домендік қабырға және қалың браналар үшін тұрақты шешімдердің антидесситтерлік асимптотикасы бар;

- $f(R) = -\alpha R^n$  модификацияланған гравитация теориясының тұрақты шешімдері брананың өмір сүруі үшін қажетті, оның ортасында орналасқан және  $n$  мынадай  $1 < n < 2$  параметрлерде бар ерекше нүктеге ие;

- $f(R) = -\alpha R^n$  модификацияланған гравитация теориясындағы тұрақты вакуумдық шешімдер Codim = 1 пропорционалдылығы бар  $D$ -branes-ті материяның болуын талап етпейді.

**Автордың жеке үлесі** өз бетімен диссертациялық жұмыстың жалпы көлемін орындау, зерттеу әдісін таңдау, есептерді шығару және сандық есептеулерді жүргізу болып табылады. Есепті таңдау мен зерттеу нәтижелерін талдау ғылыми жетекшілермен бірге жүргізілді.

**Жұмыс нәтижесінің нақтылығы.** Диссертациялық жұмыста көп өлшемді модификацияланған гравитация теориясы және Wolfram Mathematica және Maple пакеттеріндегі қарапайым дифференциалдық теңдеулерді сандық шешулердің апробациядан өткен математикалық әдістері пайдаланылды. Сандық есептеулер негізінде алынған нәтижелер алынған дифференциалдық теңдеулерді сапалы зерттеумен, сондай-ақ бұрын басқа авторлар жүргізген, зерттеулермен келісілді. Сонымен қатар, алынған нәтижелердің дұрыстығы және негізділігі жоғары импакт-факторлы алыс шетел журналдарындағы, ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы қадағалау

және аттестаттау комитеті ұсынған басылымдарындағы, және алыс және жақын шетел халықаралық ғылыми конференция материалдарындағы басылымдармен расталады.

**Диссертациялық жұмыс апробациясы.** Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер келесі конференцияларда баяндалып, талқыланды:

- «10<sup>th</sup> Alexander Friedman International Seminar on Gravitation and Cosmology and 4<sup>th</sup> Symposium on the Casimir Effect» атты халықаралық конференцияда (2019, Saint-Petersburg, Russia);

- «57<sup>th</sup> Workshop on Gravity and Cosmology» атты халықаралық конференцияда (2019, Jecheon, South Korea);

- «Абдильдинские чтения: Актуальные вопросы современной физики» атты халықаралық конференцияда (2018, Алматы, Қазақстан);

- Жас ғалымдар мен студенттердің «Фараби Әлемі» атты Халықаралық ғылыми конференцияда (2018, 2019, Алматы, Қазақстан);

- сонымен қатар, профессор С.В. Киммен (Сеул, Оңтүстік Корея) халықаралық ынтымақтастық шеңберінде талқыланды.

**Басылымдар.** Диссертациялық жұмыстың мәліметтері бойынша 9 жазба жұмыстары жарияланды: 3 – PhD дәрежесін алу үшін диссертациялардың негізгі нәтижелерін жариялау үшін ҚР БҒМ БҒСБК тізбесіндегі журналдарда және жоғары импакт-факторлы халықаралық информациялық Web of Knowledge (Thomson Reuters, США) және Scopus (Elsevier, Нидерланды) қорына кіретін журналдарда 2 мақала, халықаралық ғылыми конференция материалдарында 4 мақала жарияланды.

**Диссертацияның құрылымы мен көлемі.** Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 4 бөлімнен, қорытынды және 174 қолданылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыстың жалпы көлемі 94 беттен, сонымен қатар 35 суреттен тұрады.

#### **Жұмыстың негізгі нәтижелері:**

- Өзінің нақты белгілерін сақтай отырып, жалпы салыстырмалылық теориясын кеңейтетін модификацияланған гравитация теорияларының класы қарастырылады. Оларда Эйнштейн - Гильберттің гравитациялық әрекеті скаляр Риччи қисаюының ерікті функциясын  $R - f(R)$  қосу арқылы өзгертіледі.

- Өлшемдері төрттен жоғары кеңістіктердегі гравитация теориялары қарастырылады. Олардың ең көп назары  $f(R)$  - гравитация күшін тартады, себебі ол басқа түрлендірілген гравитация теорияларына қарағанда қарапайым болып көрінеді, сонымен қатар скаляр-тензор теориясы түрінде қайта жазылуы мүмкін.

- 4 өлшемді домендік қабырғалар,  $\alpha R^n$  гравитациядағы 5 және 6 өлшемді қалың браналарда зерттелген.  $n$  және  $\delta$  параметрлерінің белгілі бір мәндері вакуумда тұрақты болғандықтан жалпақ симметриялы шешімдер алынды. Алынған шешімдер үлкен қызығушылық тудырады, өйткені олар жалпы салыстырмалылық теориясындағы ұқсас шешімдерден айырмашылығы вакуумдық шешімдер болып табылады. Нәтижесінде:

1) Барлық тұрақты шешімдерде AdS асимптотикасы бар.  
2)  $\alpha, n \rightarrow \infty$  параметрлерінің жоғарылауымен шешімдер осы параметрлердің мәндеріне тәуелсіз белгілі бір шекке ұмтылады.

3) Барлық  $n$  параметр мәндерінде шешімдер:

- егер  $n = (2p + 1)/(2q + 1)$ , мұнда  $p, q$  – толық сан, онда шешім үнемі  $x^N > 0$  және  $x^N < 0$  болған жағдайда сингулярлы болуы мүмкін.

- егер  $n$  дәрежесінің көрсеткіші иррационал сан болса, онда жалпы жағдайда шешім болмайды.

4)  $R_A^B - \frac{1}{2} \delta_A^B R = \hat{T}_A^B$  теңдеуіне сәйкес оң жақ  $\hat{T}_{\mu\nu}$  тиімді энергия импульсі тензоры ролін атқарады. Бұл жағдайда  $T_0^0$  тиімді энергия тығыздығы теріс екендігі және оның  $\gamma, \delta, \alpha, N$  параметр мәндеріне тәуелділігі зерттелгені көрсетілген.

- 4 өлшемді домендік қабырға, 5 және 6 өлшемді брандар моделі үшін фазалық портреттер, сондай-ақ масштабты факторлардың графигі алынды. Алынған қалың браналар және домен қабырғаларының шешімдері космологиялық зерттеулер үшін қызықты модель бола алады.

- брана орталығында орналасқан ерекше нүкте бар екендігін тұрақты шешімдер көрсетті. Осы нүктенің төңірегіндегі шешімдердің әрекеті аналитикалық талдаудан көрініп тұрғандай, мұндай нүкте  $N$  параметрінің белгілі бір мәндерінде ғана болады, яғни  $1 < n < 2$ . Бұл жағдайда  $u$  метрикалық функциясының алғашқы үш туындысы 0-ге тең, бұл брананы  $z = z_{fp}$  арнайы нүктесіне тікелей қоюға мүмкіндік береді.

- Арнайы нүктенің болуы  $n$  параметрлерінің мәндеріне байланысты жазықтық симметриялық шешімдерінің болуын қамтамасыз ететіндігі көрсетілген.

-  $\text{Codim} = 1$  пропорционалдылығы бар  $D$ -branes-ті өзгертілген гравитациялық теорияларында тұрақты вакуумдық шешімдер ретінде алуға болатындығы көрсетілген. Бұл  $D$ -branes-ті құру үшін материяның болуы міндетті емес дегенді білдіреді.

Осы диссертацияда алынған барлық ұзақ астрофизикалық нысандарды алу үшін қарапайым заттарды пайдаланбай модификацияланған гравитация қолданылды. Бұл модельдердің басты артықшылығы - тиісті шешімдерді қолдануға негізделген бұрын алынған шешімдерден айырмашылығы вакуумдық болып табылады.

Модификацияланған гравитация теорияларының ЖСТ-дан артықшылығы - олар шешім табуға көбірек еркіндік береді, яғни ЖСТ-ның кейбір кемшіліктерінен айырылған космологиялық модельдерді құруға мүмкіндік береді.