«6D061100 – Физика және астрономия » мамандығы бойынша философия ғылымдарының докторы (PhD) дәрежесін алуға арналған диссертациялық жұмысқа

АҢДАТПА

НҰРБАҚЫТ ГҮЛМИРА
ЖАЛПЫ САЛЫСТЫРМАЛЫҚ ТЕОРИЯСЫНДА ШАҒЫН ОБЪЕКТІЛЕРДІҢ ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ ӨРІСТЕРІ

Зерттеудің жалпы сипаттамасы

Шағын объектілер класына жиі планета тәрізді денелер, ақ ергежейлі жұлдыздар, нейтрондық жұлдыздары, басқа да экзотикалық тығыз жұлдыздар мен қара құрдымдар кіреді. Дәстүрлі астрофизикалық объектілердің гравитациялық өрісін сипаттау үшін Ньютонның гравитация теориясы жеткілікті екені белгілі. Алайда квазарлар мен пульсарлар сияқты экзотикалық тығыз объектілердің ашылуы, сондай-ақ гравитациялық коллапстың қара құрдымға дейін жету мүмкіндігі салыстырмалық теориясының астрономия мен астрофизикадағы маңыздылығын көрсетеді. Сонымен қатар, ғарыштық зерттеулердің жетістіктері мен заманауи өлшеу технологияларының дамуы салыстырмалылық эффектілерін тіпті Күн жүйесінің ішінде де ескеруді талап етеді.

Қазіргі релятивистік гравитацияның маңызды міндеттерінің бірі – Эйнштейннің салыстырмалылық теориясы негізінде Ғаламды сипаттау, атап айтқанда жұлдыздар мен қара құрдымдар сияқты аспан денелерінің айналасындағы гравитациялық өрістердің сипаттамаларын зерттеу және олардың динамикалық қасиеттерін түсіндіру болып табылады.

Жалпы салыстырмалылық теориясы Эйнштейннің кеңістік-уақыттың иілісі арқылы гравитацияны сипаттайтын іргелі теориясы. Бұл теория Ньютон механикасын кеңейтіп, күшті гравитациялық өрістердегі астрофизикалық құбылыстарды түсіндіруге мүмкіндік берді. Жалпы салыстырмалылық теориясы тек теориялық физикада ғана емес, сонымен қатар астрофизикада, аспан механикасында, космологияда, шағын объектілер мен гравитациялық толқындар физикасында да маңызды рөл атқарады.

Осы диссертациялық жұмыс жалпы салыстырмалылық теориясы аясында нейтрондық жұлдыздары мен қара құрдымдарды қоса алғанда, шағын объектілердің гравитациялық өрісін сипаттауға арналған. диссертациялық жұмыста қара құрдымдардың пайда болу шарттары, олардың физикалық сипаттамалары мен гравитациялық әсерлері қарастырылады. Сонымен қатар, аса массивті қара құрдымдар туралы бақылау деректерімен сәйкестігі, жалпы салыстырмалылық теориясы шешімдерінің қолдану аймақтары және балама модельдермен салыстырмалы талдау жүргізіледі. Бұл жұмыс теориялық модельдер мен заманауи бақылау нәтижелері негізінде шағын объектілердің табиғатын тереңірек сипаттауға бағытталған.

Зерттеудің өзектілігі

Қазіргі заманғы физика мен астрономияның маңызды бағыттарының бірі – жұлдыздар мен қара құрдымдар сияқты аспан денелерінің маңындағы гравитациялық өрістерді жалпы салыстырмалылық теориясы аясында зерттеу болып табылады. Жалпы салыстырмалылық теориясы – Эйнштейн ұсынған гравитацияны кеңістік пен уақыттың қисықтығы арқылы сипаттайтын іргелі теория. Бұл теория Ньютон механикасын кеңейтіп, күшті гравитациялық өрістер мен ғарыштық құбылыстарды түсінуге жол ашады.

Жалпы салыстырмалылық теориясының практикалық қолданысы кең: мысалы, ғаламдық позициялау жүйелері (GPS – Global Positioning System) мен «Voyager», «New Horizons» сияқты ғарыш аппараттарының траекторияларын есептеуде жалпы салыстырмалылық теориясына негізделген түзетулер қажет. Сондай-ақ нейтрондық жұлдыздарды, рентгендік қос жұлдыздарды немесе галактикалардың ядроларындағы объектілерді жалпы салыстырмалылық теорияны ескермей сипаттау мүмкін емес.

Қара құрдымдар – қазіргі астрофизиканың негізгі зерттеу нысандарының бірі. Жалпы салыстырмалылық теориясы пайда болғанға дейін «қара жұлдыздар» сияқты гипотетикалық объектілер ұсынылған еді. Алайда 1967 жылдан бастап пульсарлардың, қос жұлдызды жүйелердегі қара құрдым кандидаттарының, белсенді галактикалық ядролардың, квазарлар мен блазарлардың ашылуы нәтижесінде қара құрдымдар нақты астрофизикалық объектілер ретінде мойындалды. Тығыз қос жұлдызды жүйелерде бақыланған шағын денелер сол кезде белгілі нейтрондық жұлдыздар мен ақ ергежейлілерге сәйкес келмеді. Сонымен қатар галактикалар орталығында массасы миллиондаған, кей жағдайда миллиардтаған Күн массасына тең объектілер анықталды, олардың табиғатын тек аса массивті қара құрдымдар арқылы түсіндіруге болады.

2016 жылдан бастап гравитациялық толқындардың тіркелуінен кейін жұлдыз массасындағы қара құрдымдар физикасына деген қызығушылық айтарлықтай артты. Эйнштейн болжаған бұл құбылыс жоғары сезімтал лазерлік интерферометрлер – LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory* – Лазерлік интерферометрлік гравитациялық толқын обсерваториясы) мен Virgo (гравитациялық толқындарды анықтауға арналған интерферометр обсерваториясы) көмегімен және жаңа анықтау мен деректерді талдау әдістерінің енгізілуі арқылы ашылды.

M87 галактикасы мен Құс жолы галактикасының орталығындағы аса массивті қара құрдымдардың көлеңке бейнесін алу – жаһандық ғылыми ынтымақтастықтың маңызды жетістігі болды. Бұл зерттеу жалпы салыстырмалылық теориясы болжауларын растады және оның дұрыстығын дәлелдеді.

Қазіргі таңда Шварцшильд, Рейснер-Нордстрём және Керр шешімдері сияқты қара құрдымдарға арналған баламалы шешімдер ұсынылғанымен, бақылау дәлдігі олардың айырмашылықтарын анықтауға жеткіліксіз.

Айта кету керек, 2017 жылы Райнер Вайсс, Барри Бэриш және Кип Торн гравитациялық толқындарды тіркеуге қосқан үлесі үшін Нобель сыйлығына ие болды, ал 2020 жылы Роджер Пенроуз, Райнхард Генцель және Андреа Гез қара құрдымдарға қатысты жаңалықтары үшін осы сыйлықты иеленді.

Ғаламның пайда болу тарихын кезең-кезеңімен түсіну де жалпы салыстырмалылық теориясы мен заманауи астрофизиканың жетістігі болып табылады. Үлкен жарылыстан (13,8 миллиард жыл бұрын) бастап алғашқы элементтердің түзілуі, космостық микротолқынды фонның бөлінуі, алғашқы жұлдыздар мен галактикалардың қалыптасуы, Күн жүйесінің пайда болуы – осының бәрі физикалық заңдылықтарға негізделген. Қазіргі уақытта Ғаламның кеңеюі жалғасуда.

Алайда аса массивті қара құрдымдардың пайда болуы толық анықталмаған. Түрлі гипотезалар бар: бастапқы газ бұлттарының тікелей коллапсы, жұлдыз массасындағы қара құрдымдардың бірігуі немесе алғашқы жұлдыздардың қалдықтарынан материяның аккрециясы. 2025 жылы астрономдар алғаш рет галактиканың шетінде кезіп жүрген аса массивті қара құрдымның жұлдызды жұтып жатқан сәтін – AT2024tvd оқиғасы ретінде бақылады. Бұл қара құрдымдар тек галактикалар орталығында ғана емес, басқа аймақтарда да бола алатынын көрсетеді. Қара құрдымдарды зерттеу болашақта да жалғаса береді.

Осылайша, қара құрдымдардың пайда болуы, қасиеттері мен сипаттамаларын жалпы салыстырмалылық теориясы аясында зерттеу – заманауи астрофизиканың басты бағыттарының бірі болып табылады. Сондықтан бұл диссертациялық жұмыстың тақырыбы, мақсаты мен міндеттері «физика және астрономия» мамандығына толық сәйкес келеді.

Зерттеудің мақсаты

Қара құрдымдар мен нейтрондық жұлдыздардың гравитациялық өрістерін жалпы салыстырмалылық теориясы негізінде зерттеу.

Зерттеу нысандары

Күшті гравитациялық өрістер, қара құрдымдар мен нейтрондық жұлдыздар, Эйнштейн өріс теңдеулері. Сынама бөлшектердің қозғалысы.

Зерттеу пәні

Эйнштейннің өріс теңдеулерінің дәл және жуық шешімдері. Жалпы салыстырмалық теориясындағы денелер қозғалысының адиабаттық теориясы. Аса массивті қара құрдымдардың түзілу механизмі.

Зеттеу әдісі

Бұл зерттеуде келесі теориялық және сандық әдістер қолданылды:

- Эйнштейн өріс теңдеулерінің аналитикалық және сандық шешімдері;
- Дифференциалдық геометрия және тензорлық талдау әдістері;
- Лагранж және Гамильтон формализмі, пертурбативтік әдіс;
- Сандық модельдеу.

Зерттеудің міндеттері

Жұмыстың мақсатына жету үшін келесі міндеттер қойылды:

1. Эрез-Розеннің жуықталған метрикасы мен Хартл-Торнның сыртқы статикалық метрикасы арасындағы байланысты анықтау.

2. Жалпы салыстырмалық теориясында денелер қозғалысын адиабаттық теория арқылы зерттеу.

3. Фермиондық қараңғы материяның гравитациялық коллапсы нәтижесінде пайда болған аса массивті қара құрдымдардың түзілуін зерттеу.

Ғылыми жаңалығы мен ерекшелігі

Осы жұмыста алғаш рет:

1. Эрез-Розеннің жуық метрикасы мен Хартл-Торнның сыртқы статикалық шешімі арасында ~Q және M^2 жуықтауында Зипой-Вурхиз түрлендіруін қолданбай-ақ байланыс орнатылды.

2. Адиабаттық теория аясында сынақ бөлшектерінің қозғалысын сипаттау арқылы Хартл-Торн және Керр метрикалары үшін $1/c^2$ жуықтауында перигелий прецессиясының өрнегі алынды. Орталық дененің айналуы мен деформациясының сынақ бөлшегі траекториясына әсері көрсетілді. Сонымен қатар, алынған формуланың салыстырмалық эффектілерінің суперпозиция принципіне сәйкес келетіні дәлелденді.

3. Аса массивті қара құрдымдардың түзілуінің жаңа механизмі ұсынылды. Бұл механизмге сәйкес, аса массивті қара құрдымдар галактика орталықтарында қараңғы материяның гравитациялық коллапсы нәтижесінде түзіледі. Осы механизм арқылы түзілген қара құрдымдар кейін аккреция есебінен массасын арттырады.

Қорғауға ұсынылатын ғылыми тұжырымдар

1. Эрез-Розеннің жуық метрикасы мен Хартл-Торнның статикалық метрикасы арасындағы байланыс Q және M^2 жуықтауында Зипой-Вурхиз түрлендіруінсіз орнатылады. Ал тек Q жуықтауында екі метрика арасындағы байланысты тек Зипой-Вурхиз түрлендіруі арқылы ғана орнатуға болады.

2. Гравитациялық өріс көзі массасының, айналу моментінің және квадруполь моментінің әсері салыстырмалы эффектілердің суперпозиция принципі арқылы сипатталады. Күннің айналу және квадруполь моменттерінің планеталар перигелийінің ығысуына әсері мардымсыз.

3. Галактиканың орталығындағы бастапқы қара құрдымдар тығыз фермиондық қараңғы материя ядроларының гравитациялық коллапсы нәтижесінде түзіледі. Бұл үдеріс дәстүрлі жұлдыздық механизмдерге қарағанда әлдеқайда жылдамырақ жүріп, аса ауыр қара құрдымдардың пайда болуына себеп болады.

Зерттеудің теориялық және практикалық маңызы

Зерттеу нәтижелері астрофизика, шағын объектілер физикасы және космология салаларында теориялық және сандық әдістердің дамуына өз үлесін қосады. Сонымен қатар, алынған теориялық нәтижелер рентгендік пульсарлар мен гамма-сәулелену көздерін түсіндіруге мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелердің сенімділігі мен негізділігі

Алынған нәтижелер бақылау мәліметтеріне сәйкес келеді. Диссертациялық жұмыстың сенімділігі жоғары импакт-факторлы шетелдік

журналдарда және ҚР ҒЖБМ Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған басылымдарда жарияланған мақалалармен расталады.

Автордың жеке үлесі

Автор зерттеу жұмысының барлық үдерісін басынан аяғына дейін өзі орындады, оның ішінде әдеби шолу мен барлық сандық есептеулер бар. Бұл жұмыс ғылыми жетекшілерімен кеңесе отырып жүргізілді. Автор зерттеу әдістерін таңдауға тікелей қатысып, алынған нәтижелерді ғылыми жетекшілерімен бірлесе талдады.

Жұмыстың апробациясы

Диссертациялық жұмысты жазу барысында 8 баспа жұмысы жарық көрді. Оның ішінде 2 мақала ҚР ҒЖБМ Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған беделді басылымдарда – *International Journal of Mathematics and Physics* және *Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының Хабарлары. Физика-математика сериясы* журналдарында жарияланды. 3 мақала *Web of Science* және *Scopus* дерекқорларына енген жоғары импакт-факторлы халықаралық журналдарда жарияланды. Сонымен қатар, 3 тезис халықаралық конференцияларда ұсынылды. Бұл диссертация жалпы салыстырмалылық теориясы аясындағы шағын объектілердің гравитациялық өрісін зерттеуге елеулі үлес қосады.

Thomson Reuters немесе Scopus халықаралық ғылыми дерекқорларына кіретін басылымдарда жарияланған импакт-факторы жоғары мақалалар.

1. Boshkayev K., Quevedo H., Nurbakyt G., Malybayev A., Urazalina A. The Erez-Rosen Solution versus the Hartle-Thorne Solution // Symmetry – 2019. – Vol.11(10). – art. № 1324. *(***WoS (JCR):** Impact Factor (2019) = 2.645, Q2. **Scopus (CiteScore):** 54%*).*

2. Arguelles C. R., Boshkayev K., Krut A., Nurbakyt G., Rueda J. A., Ruffini R., Uribe-Suarez J. D. Yunis R. On the growth of supermassive black holes formed from the gravitational collapse of fermionic dark matter cores // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, (MNRAS) – 2023. – Vol. 523(2). – P. 2209-2218. *(***WoS (JCR):** Impact Factor (2022) = 4.8, Q1. **Scopus (CiteScore):** 85%*).*

3. Boshkayev K., Nurbakyt G., Quevedo H., Suliyeva G., Taukenova A. S., Tlemissov A., Tlemissova Zh., Urazalina A., Dalelkhankyzy A., Stuchlik Z., Beissen N., Gumarova Sh. “Adiabatic theory in Kerr spacetimes” // General Relativity and Quantum Cosmology. – 2024. – Vol. 56(5). – art. №. 67 *(***WoS (JCR):** IF (2022) = 2.0, Q2. **Scopus (CiteScore):** 73%*).*

Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласында сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған басылымдардағы жарияланымдар.

1. Boshkayev K., Malybayev A., Quevedo H., Nurbakyt G., Taukenova A., Urazalina A. The correspondence of the Erez-Rosen solution with the Hartle-Thorne solution in the limiting case of ~Q and ~M^2//News of the National

Academy of science of the Republic of Kazakhstan: Physico-Mathematical Series, – 2020. – Vol. 5, no.333 – P. 19-27.

2. Suliyeva G. B., Boshkayev K., Nurbakyt G., Quevedo H., Taukenova A. S., Tlemissov A. T., Tlemissova Zh. A., Urazalina A. Adiabatic theory of motion of bodies in the Hartle-Thorne spacetime // International Journal of Mathematics and Physics. – 2022. – Vol. 13 (1). – P. 82-90.

Халықаралық және отандық ғылыми конференциялар материалдарында жарияланған мақалалар.

1. Boshkayev K.A., Nurbakyt G. Correspondence of the Erez-Rosen metric with the q-metric // International Scientific Conference of students and Young scientists "Farabi Alemi" of Al-Farabi Kazakh National University, Almaty – 2019. – P. 13.

2. Boshkayev K.A., Zhumakhanova G., Nurbakyt G. Erez-Rosen metric versus q-metric // The 6th International Workshop of Nuclear Physics, Nuclear Astrophysics and Cosmic Rays Almaty, Kazakhstan, – 2019. – P. 58.

3. Нұрбақыт Г. Қонысбаев Т., Курманов Е. Квазипериодты тербелістер арқылы шағын нысандардың негізгі параметрлерін анықтау // «Фараби әлемі» атты студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық ғылыми конференция материалдары, Алматы, Қазақстан. – 2022. – Б. 54.

Диссертациялық жұмыстың құрлымы мен көлемі

Диссертациялық жұмыс кіріспеден**,** 4 тараудан**,** қорытындыдан және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыс 316 формула, 2 кесте, 11 сурет 191 әдебиеттер тізімі мен 108 бетті қамтиды.