«8D05306 – Физика» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алу үшін ұсынылған диссертациялық жұмысқа (мақалалар сериясы)
АҢДАТПА

СУЛИЕВА ГУЛЬНАРА

ӨРІС ТЕОРИЯЛАРЫН АСТРОФИЗИКАЛЫҚ МӘСЕЛЕЛЕРГЕ ҚОЛДАНУ

Жұмыстың жалпы сипаттамасы

Гравитациялық физиканың қазіргі бағыттары классикалық жалпы салыстырмалылық теориясының (ЖСТ) шеңберінен шығатын құбылыстарды сипаттау үшін өріс теорияларын белсенді қолдануды талап етеді. Осы контексте гравитацияның қосымша скаляр және вектор өрістермен өзара әрекеттесетін модельдері қызығушылық тудырады, себебі мұндай конфигурациялар астрофизикалық объектілердің кеңірек класыны сипаттауға мүмкіндік береді.

Диссертациялық жұмыс қосымша өрістерді кеңістік-уақыттың құрылымына енгізгеннен туындайтын гравитациялық эффектілердің теориялық зерттеуіне және олардың заманауи астрофизиканың нақты тапсырмаларына қолданылуына арналды. Негізгі көңіл қарапайым бөлшектер мен фотондардың қара құрдымдар (ҚҚ) маңындағы қозғалысын талдауға және ЖСТ болжамдарынан ауытқуларды зерттеуге бағытталған. Жұмыстың мақсаты — бар бақылау құралдарымен тексерілуі мүмкін болатын осындай ауытқуларды анықтау.

Зерттелген модельдер:

- *Сызықты емес электродинамикадан шыққан регулярлы модельдері — Фань–Ван және Дымникова ҚҚ.* Фань-Ван шешімі үшін массивті және массасыз бөлшектердің геодезиялық қозғалысы, сонымен қатар эффективті геометриядағы фотондар зерттеледі. Перигелийдің ығысуы, жарықтың ауытқуы талданады. Сонымен қатар, Новиков-Торн жұқа аккрециялық дискінің формализмін қолдана отырып, Фань-Ван және Дымникова кеңістіктеріндегі аккрециялық дискілердің сәулелену қасиеттері зерттеледі: сәулелену ағынының таралуы, температура, дифференциалдық және спектрлік жарықтар, массаны сәулеленуге айналдыру тиімділігі.

- *Екі скаляр және екі вектор өріске ие дилатондық ҚҚ.* Массивті бөлшектер дөңгелек геодезиялық траекториялары зерттелді. Тиімді потенциалдар, орбиталардың энергиясы мен бұрыштық моменті табылды; ең кіші тұрақты дөңгелек орбиталардың (ISCO) радиустары анықталды. Бұл физикалық сипаттамалардың дилатон өрісінің өзара әрекеттесу параметрі мен электр зарядтарына тәуелділігі орнатылды.

Осылайша, жұмыс көрсетілген ҚҚ модельдері мысалында әртүрлі өріс теорияларын классикалық ЖСТ-мен салыстыру әдістерін ұсынады. Сондай-ақ көрсетілген өзгерістер – топологиялық магниттік мен электр зарядтарын болуы мен дилатондық өзара әрекеттесу параметрінің әсерлеріс - астрофизикалық маңызы бар бақылауға болатын эффектілерде көрініс табатыны айқындалды.

Қолданылған тәсіл қозғалыс теңдеулерінің нақты аналитикалық және сандық шешімдерін пертурбациялық әдістермен ұштастырады, бұл аккрециялық дискіні, ҚҚ маңындағы жұлдыздардың динамикасын, гравитациялық линзалануды және жоғарыэнергетикалық процестерді модельдеуге мүмкіндік береді.

Тақырыптың өзектілігі

Диссертациялық жұмыстың өзектілігі – қазіргі астрофизиканың даму кезеңімен анықталады: дәлдігі жоғары бақылаулар күшті және әлсіз өрістердегі гравитацияның негізгі теорияларын тексеруге мүмкіндік береді. LIGO, VIRGO, KAGRA сияқты гравитациялық толқын интерферометрлері, Event Horizon Telescope жобасы және жұлдыздардың орбиталарын спектроскопиялық бақылау сияқты қазіргі құралдар компакт объектілердің табиғатын зерттеуге мүмкіндік туғызады. Қара құрдымдар мен нейтрон жұлдыздардың қосылулары тіркелді, сондай-ақ M87 және Milky Way орталықтарындағы супермассивті ҚҚ-тердің көлеңкелері кескіндер алынған.

Классикалық ҚҚ шешімдері (Шварцшильд, Рейсснер–Нордстрём, Керр) көптеген жағдайларда бақылауларды табысты сипаттаса да, сингулярлықтардың болуы секілді негізгі мәселелерге тап болады. Нелинейлі электродинамика негізіндегі регулярлы ҚҚ модельдері, Фань–Ван және Дымникова, сингулярлықтардан аулақ болуға мүмкіндік береді және ЖСТ-мен асимптотикалық түрде үйлесімді күйінде қалады. Дилатондық шешімдер жіп теорияларында және қосымша өрістер бар басқа модельдерде табиғи түрде пайда болады; ондай жағдайда скаляр және калибрлеу өрістері маңызды рөл ойнайды. Әрбір шешімге физикалық параметрлер енгізіледі (топологиялық магниттік мен электр зарядтар, дилатондық өзара әрекеттесу параметрлері).

Бақылау деректерімен салыстыру ҚҚ модельдерінің параметрлеріне шектеу қоюға мүмкіндік беретінін атап өткен жөн. Осыған байланысты қозғалыс теңдеулерінің шешімдерін, орбиталардың тұрақтылығын және ығысуларын, жарық таралуын және гравитациялық қызыл ығысуын алу бағытындағы зерттеулердің теориялық және практикалық маңызы бар: олар классикалық және баламалы гравитация модельдерін ажыратуға үлес қосады және аталған модельдердің нақты астрофизикалық нысандармен байланысын көрсетеді.

Зерттеу мақсаты

Қосымша өрістерді (сызықтық емес электромагнетик және дилатондық өзара өрістері) ескере отырып құрылған ҚҚ модельдеріндегі гравитациялық эффектілерді теориялық талдау.

Зерттеу нысаны

Қара құрдымдар, сызықтық емес электромагниттік өріс, дилатондық өріс.

Зерттеу пәні

Бөлшектер мен фотондардың қозғалысы; гравитациялық эффектілер (перигелий ығысуы, жарықтың сынуы); аккрециялық дискілер.

Зерттеу әдістері

Жұмыста келесі әдістер қолданылды:

- Геодезиялық теңдеулердің аналитикалық және сандық шешімдері;
- Дифференциалдық геометрия және тензорлық талдау әдістері;
- Лагранж формализмі және пертурбациялық әдістер;

- Сандық модельдеу.

Зерттеу міндеттері

Мақсатқа жету үшін былайша міндеттер қойылды:

1. Фань-Ван регулярлы ҚҚ сипаттайтын кеңістік-уақытта классикалық гравитациялық эффектілерді зерттеу;

2. Фань-Ван және Дымникова регулярлы ҚҚ айналасындағы аккрециялық дискілердің сәулелену қасиеттерін зерттеу;

3. Екі скаляр және екі вектор өрісі бар дилатондық ҚҚ кеңістік-уақытында дөңгелек орбиталарды талдау.

Ғылыми жаңалық және негізгі нәтижелер

Осы жұмыста алғаш рет алынған нәтижелер:

- Фань-Ван кеңістік-уақыты үшін перигелий ығысуы мен массасыз бөлшектер мен фотондардың сынуының аналитикалық өрнектері алынған. Сызықтық емес электродинамиканың Шварцшильд нәтижелеріне қосатын түзетулері көрсетіліп, олар бақылаулар арқылы айырылуы мүмкін екені дәлелденді.

- Фань-Ван және Дымникова ҚҚ үшін аккреция дискілерінің сәулелену ағыны, температурасы, жарықтығы және массаны сәулеленуге түрлендіру тиімділігі есептелді. Электр және магниттік зарядтардың нөлдік емес параметрлері үшін ISCO горизонтқа жақындайтыны көрсетілген, бұл Шварцшильд ҚҚ-мен салыстырғанда диск бетінің температурасының жоғарылауына және массаның сәулеленуге айналу тиімділігінің жоғарылауына әкеледі.

- Дилатондық ҚҚ үшін массивті бөлшектер дөңгелек геодезиялық орбиталарына шешімдер табылды. ISCO радиусы, фотон сферасы, орбиталық энергия мен бұрыштық моменттің өзара әрекеттесу параметрі мен зарядтарға тәуелділігі анықталып, Шварцшильд пен Рейсснер-Нордстрём шешімдерінен айырмашылықтар көрсетілді.

Қорғауға ұсынылатын негізгі тұжырымдар:

1. Фань-Ван регулярлы қара құрдым моделінде сызықты емес электродинамикалық әсерлер гравитациялық құбылыстардың әлсіреуіне әкеледі, соның ішінде перигелийдің ығысуы, фотондардың және массасы жоқ бөлшектердің ауытқуы және магниттік заряд жоғарылаған сайын қызыл ығысу. Sagittarius A* орбитасындағы S2 жұлдызының перигелиондық ығысуына бақылау деректерін қолдану магниттік зарядты $l \approx 4.34 * 10^{-11}$ Вб дейін шектеуге мүмкіндік береді.

2. Фань-Ван және Дымникова регулярлы қара құрдымдарының айналасындағы аккрециялық дискілер Шварцшильд қара құрдымның айналасындағыларға қарағанда жоғары спектрлік жарықпен сипатталады. Массаның радиацияға айналуының тиімділігі 11.43% (Фань-Ван) және 8.7% (Дымникова) жетеді, бұл Шварцшильд қара құрдым мәнінен сәйкесінше 2 және 1.5 есе асып түседі. Cygnus-X1 екілік жүйесінде диск бетінің максималды мүмкін температурасы: $6.70 * 10^6$ К (Фань-Ван) және $5.45 * 10^6$ К (Дымникова), Шварцшильд қара құрдым үшін мәннен тиісінше 1.75 және 1.43 есе асып түседі.

3. Дилатонды қара құрдымдар үшін центрге ең жақын тұрақты орбитаның радиусы және массаның сәулеленуге айналу тиімділігі дилатон өзара әрекеттесу параметрінің a жоғарылауымен монотонды түрде артады, ал Шварцшильд ($a = a_{min} = 0$), Сен ($a = 1$) және Рейсснер-Нордстрём ($a = a_{max} = 2$) шешімдері теорияның шектік жағдайлары ретінде табиғи түрде пайда болады.

Зерттеудің теориялық және практикалық маңыздылығы

Зерттеудің теориялық маңыздылығы – қосымша өрістерді ескеретін модельдер шеңберінде ҚҚ физикасын дамытуда. Практикалық маңыздылығы – алынған нәтижелерді компакт объектілер жанындағы процестерді модельдеуде (аккрециялық диск сәулеленуі, гравитациялық линзалау, жұлдыздардың орбиталық динамикасы) қолдану мүмкіндігімен анықталады. Алынған аналитикалық тәуелділіктер нақты астрофизикалық жүйелердегі бақылау деректеріне сүйене отырып альтернативті ҚҚ модельдерінің параметрлеріне шектеу қоюда қолданылуы мүмкін.

Нәтижелердің сенімділігі мен негізділігі

Зерттеу нәтижелері мен тұжырымдар халықаралық және отандық рецензияланған ғылыми басылымдарда жарияланулары арқылы расталады. Нәтижелердің сенімділігі оларды қазіргі теориялық модельдермен, бақылау деректерімен, ұқсас физикалық нысандар туралы қорытындылармен және басқа авторлардың зерттеулерімен сәйкестігінде көрініс табады.

Автордың жеке үлесі

Автор ғылыми жетекшілермен бірге зерттеу әдістерін таңдауға қатысқан. Сандық есептеулер мен алынған нәтижелерді талдау жүргізілді, қорытындылар жасалды. Жұмыстың нәтижелері халықаралық ғылыми конференцияларда автор тарапынан ұсынылып, рецензияланған журналдарға жариялауға дайындалды.

Жарияланымдар

Жұмыста қамтылған негізгі нәтижелер 10 ғылыми мақалаларда жарияланды, соның ішінде:

Thomson Reuters және Scopus халықаралық ғылыми деректер базасына енгізілген журналдарда жарияланған жоғары импакт мақалалар:

1. Boshkayev K., **Suliyeva G.**, Ivashchuk V., Urazalina A. Circular geodesics in the field of double-charged dilatonic black holes //The European Physical Journal C. – 2024. – Т. 84. – №. 1. – С. 19. (**WoS:** Impact Factor – 4.8, Q2. **Scopus:** 91%).
2. Mychelkin E., Makukov M., **Suliyeva G**, Jafari N. On the weak and strong field effects in antiscalar background //General Relativity and Gravitation. – 2024. – Т. 56. – №. 4. – С. 44. (**WoS:** Impact Factor – 2.8, Q2. **Scopus:** 73%).
3. Kurmanov Y., Boshkayev K., Konysbayev T., Luongo O., Saiyp N., Urazalina A., Ikhsan G., **Suliyeva G.** Accretion disks properties around regular black hole solutions obtained from non-linear electrodynamics // Physics of the Dark Universe. – 2024. – Т. 46. – С. 101566. (**WoS:** Impact Factor – 6.4, Q1. **Scopus:** 84%).
4. **Suliyeva G.**, Boshkayev K., Konysbayev T., Kurmanov Y., Luongo O., Muccino M., Quevedo H., Urazalina A., Dalelkhankyzy A. Geometric properties versus particle motion in the Fan-Wang spacetime // Chinese Journal of Physics. – 2025.– Т. 96. – С. 1065. (**WoS:** Impact Factor – 4.6, Q1. **Scopus:** 85%).

Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім беру сапасын қамтамасыз ету комитеті ұсынған басылымдардағы мақалалар:

1. Kurmanov Y., Boshkayev K., Konysbayev T., Muccino M., Urazalina A., Ikhsan G., Saiyp N., Rabigulova G., Karlinova M., **Suliyeva G.**, Taukenova A., Beissen N. Analysis of dark matter profiles in the halos of spiral galaxies // Physical Sciences and Technology. – 2023. – Т. 10. – №. 3-4. – С. 4-16.
2. **Suliyeva G.**, Kurmanov Y., Konysbayev T., Boshkayev K., Urazalina A., Luongo O. Finite temperature effects within Scalar Field Dark Matter model // Eurasian Physical Technical Journal. – 2024. – Т. 21. – №. 2. – С. 92-101.
3. Kurmanov Y., Konysbayev T., **Suliyeva G.**, Ikhsan G., Saiyp N., Rabigulova G, Urazalina A. Radiative characteristics of accretion disks around rotating regular black holes // International Journal of Mathematics and Physics. – 2024. – Т. 15. – №. 1. – С. 57-67.
4. **Сулиева Г.**, Мычелкин Э., Макуков М. Два типа визуализации скалярного поля //Доклады НАН РК. – 2025. – Т. 2. – С. 79-93.

Халықаралық және отандық ғылыми конференциялар жинағындағы жарияланымдар:

1. Suliyeva G.B. Circular geodesics in the field of double-charged dilatonic black holes // International Scientific Conference of students and young scientists “Farabi Alemi” of Al-Farabi Kazakh National University, Almaty – 2023. P. 29.

Жұмыстың апробациясы

Осы жұмыста алынған нәтижелер ұсынылып, талқыланды:

- әл-Фараби атындағы ҚазҰУ теориялық және ядролық физика кафедрасының ғылыми семинарларында;
- «Фараби әлемі» студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық ғылыми конференциясында, Алматы қ., 6-8 сәуір 2023 ж.;
- «Abdildin Readings. Actual Problems of Modern Physics» халықаралық конференциясында, Алматы қ., 12-15 сәуір 2023 ж.;
- «New Trends in Theoretical Physics» халықаралық конференциясында, Ташкент қ., 23-28 қазан 2023 ж.;
- «International Conference on Theoretical Physics and Astrophysics» халықаралық конференциясында, Ташкент қ., 13-18 мамыр 2024 ж.

Зерттеу тақырыбының ғылыми жұмыс жоспарларымен байланысы

Зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің «Ғылыми зерттеулерді гранттық қаржыландыру» іргелі зерттеу жұмыстарының жоспарына сәйкес «AP19680128 Дилатонды қара құрдымның гравитациялық өрісіндегі сынақ бөлшектері мен фотондардың қозғалысы» тақырыбы бойынша жүргізілді.