

## АНДАТПА

«6D060500-Ядролық физика» мамандығы бойынша философия ғылымдарының докторы (PhD) дәрежесін алуға негізделген диссертация

**Мансурова Айжан**

### **Квадрупольдық моменті ескерілген нейтронды жұлдыздардың гравитациялық өрісі**

#### **Зерттеудің жалпы сипаттамасы**

Бұл жұмыс Эйнштейннің жалпы салыстырмалық теориясын қолдана отырып, нейтрондық жұлдыздар сияқты астрофизикалық ықшам нысандардың гравитациялық өрісін түсіндіруге арналған.

Эйнштейннің теңдеулерінің ішкі шешімі идеалды сұйықтықтың мысалында, оны статикалық және өстік симметриялық уақыт-кеңістігіндегі жағдайында зерттелді.

Мұнда масса мен квадрупольдық моментті анықтайтын екі параметрмен сипатталатын сыртқы  $q$ -метрикамен ішкі кеңістік-уақыт біркелкі үйлестірілген деген физикалық шарт қолданылды. Есептеулерді мейілінше жеңілдету үшін сыртқы  $q$ -метриканың ішкі аналогы изотропты идеалды сұйықтық табиғатымен ұқсас деген ұйғарым жасалынды. Шынында да, сыртқы статикалық және осьтік симметриялық гравитация көзімен үйлесімді, барынша жалпыланған ішкі шешім, төрт кернеуге ғана ие бола алады. Біз мұнда олардың үшеуі ескерусіз шамалы мәндер деп есептеп, тек бір изотропты кернеуге ие идеалды сұйықтық аламыз. Сонымен қатар, изотропты идеалды сұйықтық өте идеалдандырылған модель болып табылады, өйткені идеалды сұйықтықтың статикалық және изотропты көздері, кем дегенде, сығылмайтын сұйықтықтың күй теңдеуі жағдайында сфералық болуы керек. Бұл, тіпті шағын қысым анизотропиялары идеалдандырылған изотропты конфигурациядан бірден алыстап, сұйықтықтың таралуында үзілістерді тудыруы мүмкін екеніне байланысты. Сонымен қатар, жақында жарияланған жұмыстарда, изотропиялық жағдайдың тұрақтылығын талдай отырып, жұлдыздың эволюциясы кезінде болатын нақты физикалық процестер массаның таралу динамикалық эволюциясы кезінде жойыла алмайтын қысымның анизотропиясының пайда болуына сөзсіз әкелетіні анықталды. Сондықтан кейбір зерттеу нәтижелері шынайы жұлдыздар эволюциясының соңғы тепе-теңдік конфигурациясы қысым анизотропиясының болуымен сипатталатынын көрсетеді. Дегенмен, бұл жұмыста біз алынған өріс теңдеулерінің математикалық күрделілігін жеңілдету үшін изотропия шартын қабылдаймыз. Осы жұмыс нәтижелері математикалық тұрғыда кейбір күй теңдеулері үшін Эйнштейн теңдеулері орындалатын квадрупольді идеалды сұйықтықтың жуық шешімдерін табуға болатынын көрсетеді.

## **Зерттеудің өзектілігі**

Эйнштейн ұсынған гравитация теориясы гравитациялық өрістің әрекетін түсіндіру үшін кеңінен қолданылады. Өйткені оның жарамдылығы макроскопиялық сценарийлердің кең ауқымында тәжірибе жүзінде дәлелденген. Ақ ергежейлі, нейтрондық жұлдыздар және планеталар сияқты ықшам объектілер тудыратын гравитациялық өрісті анықтау үшін екі байланысты мәселені қарастыру керек, оның бірі ішкі және екіншісі сыртқы гравитациялық өрістер. Жақында жүргізілген зерттеулер мұндай объектілердің гравитациялық өрісін дәл сипаттау үшін жоғары көпполюсті моменттер маңызды рөл атқара алатынын көрсетті және бұл зерттеулерге бағытталған күш-жігер осы объектілердің кеңістіктегі әрекетін түсінуді жақсарту үшін өте маңызды.

Дегенмен, физикалық тұрғыда маңызды ішкі шешімдерді іздеу оңай жұмыс емес. Шешімдердің бірегей еместігін ескерсек, зерттеу қиындықтарының артатынын байқауға болады. Шынында да, Биркгоф теоремасы Шварцшильд метрикасының Эйнштейн теңдеулерінің жалғыз сфералық симметриялы вакуумдық шешімі екеніне кепілдік бергенімен, Шварцшильд метрикасымен салыстыруға болатын көптеген сфералық симметриялы ішкі шешімдер бар. Осьтік симметрия жағдайында жағдай одан да күрделі. Соңғы жұмыстарда квадрупольдермен бірнеше сыртқы шешімдерді салыстыру келтірілген. Олардың барлығы әртүрлі аналитикалық өрнектермен берілген және мультипольді моменттердің әртүрлі жиынтықтарымен сипатталатыны анықталды. Осы тұрғыдан алғанда, олардың барлығы физикалық жағынан бір-бірінен ерекшеленеді. Сондықтан сыртқы шешімдердің әрқайсысымен салыстыруға болатын көптеген ішкі метрикалар болады деп күтуге болады. Мұндай жағдайдың мысалы,  $q$ -метрика үшін ішкі шешімдер осы жұмыста жан қақта талданып шешімдері ұсынылған.

## **Зерттеудің мақсаты**

Идеал сұйықтықтың статикалық осьтік симметриялы көзі жағдайында Эйнштейннің ішкі теңдеулерін зерттеу үшін квадрупольді импульсі бар нейтрондық жұлдыздардың ішкі және сыртқы гравитациялық өрістерін зерттеу.

## **Осы мақсатқа жету үшін келесі тапсырмалар қойылды:**

1. Ықшам нысандардың гравитациялық өрісін түсіндіру үшін квадрупольдік моментті ескеретін өріс теңдеулерін есептеу
2. Алынған өріс теңдеулерін, әртүрлі типтегі күй теңдеулерін және жұлдыздар бетіндегі сәйкестендіру шарттарын ескере отырып, ақ ергежейлі және нейтрондық жұлдыздардың гравитациялық өрісін сипаттау
3. Квадрупольдік моментті ескеретін ақ ергежейлілер және нейтрондық жұлдыздардың гравитациялық өрісін сипаттайтын күй теңдеулеріне талдау жасау және тиімді күй теңдеулерін анықтау

## **Зерттеу нысаны:**

Ақ ергежейлі және нейтрондық жұлдыздар сияқты ықшам нысандар

## **Зерттеудің құралы:**

Зерттеу нысаны арнайы бағдарламалық қамтамасыз етуде жүргізілетін есептеудің аналитикалық және сандық әдістері болып табылады.

### **Диссертацияны қорғаудағы негізгі қағидалар:**

1. Квадрупольдық моменті ескерілген Эйнштейн өріс теңдеулерінің статикалық сыртқы шешімдері 5 параметрлік шешімдер тобымен анықталады және олар асимптотикалық тегіс және асимптотикалық емес тегіс шешімдерді қамтиды.

2. Айнымалы тығыздыққа ие квадрупольдық моменті бар нейтрондық жұлдыздардың ішкі гравитациялық өрісі үшін Эйнштейн теңдеулерінің жаңа сфералық емес шешімдері массаның таралуы, массаның шекті мәндері, радиусы және энергиясы қатынасы, сондай-ақ, сәйкестік және деформацияланатын объектінің бетіндегі сыртқы жуықталған метрикамен біркелкі ұштастыру шарттарын қанағаттандырады.

3. Нейтрондық жұлдыздар үшін қысымның тығыздықтан тәуелді эффективті күй теңдеуі политроптық күй теңдеуімен сипатталады және сәйкес өріс теңдеулерінің шешімдері нейтрондық жұлдыздар ішінде сингулярлық емес қасиетке ие.

### **Ғылыми зерттеудің жаңалығы:**

1. Квадрупольдық моментті ескере отырып, Эйнштейннің өріс теңдеулерінің статикалық сыртқы шешімдері тобы алынды, бұл шешімдер 5 параметрден тұрып, асимптотикалық тегіс және асимптотикалық емес тегіс шешімдерді қамтиды. Алынған шешімдер ықшам нысандардың сыртқы гравитациялық өрісін сипаттайды.

2. Айнымалы тығыздыққа ие ықшам нысандардың ішкі гравитациялық өрісі үшін, квадрупольдық моментті ескеретін Эйнштейн теңдеулерінің жаңа сфералық емес шешімдері алынды. Алынған шешімдер барлық физикалық шарттарды қанағаттандырады, атап айтқанда: заттың таралуы, массаның және ықшам объектінің радиусының шекті болуы және энергияның оң болуы. Сондай-ақ, алынған ішкі шешімдер деформацияланатын объектінің бетіндегі сыртқы жуықталған метрикамен біркелкі сәйкестендіру шартын да қанағаттандырады.

3. Қысымның тығыздықтан тәуелді тиімді күй теңдеуін және нейтрондық жұлдыздар үшін политроптық күй теңдеуімен жуықтап шешуге болатыны анықталды. Сингулярлық қасиетке ие сыртқы метрикаға сәйкес келетін ішкі шешімдер тығыздық пен қысымның энергетикалық шарттарын қанағаттандырды. Алынған шешімдерді квадрупольдық моментті ескеріп, ықшам нысандар үшін гравитациялық өрісті сипаттауға болатыны анықталды.

### **Зерттеудің әдістемелік негізі**

Теориялық зерттеулер үшін негізінен зерттелетін модельдер мен сценарийлердің параметрлерін шектеу үшін жалпы салыстырмалылық теориясының әдістері қолданылды. Жетілдірілген сандық әдістер мен компьютерлік модельдеуді қолдану арқылы оларды сандық түрде ұсынылып, сыналды. Сәйкесінше, алынған аналитикалық және сандық нәтижелерді нейтрондық жұлдыздар мен ақ ергежейлілер сияқты астрофизикалық ықшам объектілер туралы арнайы журналдар мен мақалалардағы зерттеулер нәтижелерімен салыстыру жүргізілді.

### **Жұмыстың ғылыми-тәжірибелік маңыздылығы:**

Бұл зерттеу жұмысы теориялық зерттеуге жатады. Алынған нәтижелер квадрупольдің мәнін алуға көмек береді және релятивистік әсерлерде маңызды рөл атқаратын астрофизика, навигациялық жүйелер және спутниктік технологиядағы елеулі қолданыстарға әкелуі мүмкін.

### **Автордың жеке үлесі**

Автордың жеке үлесі – автордың негізгі ғылыми нәтижелерді алуға тікелей атсалысқанында болып табылады. Теориялық есептеулердің және модельдердің сандық талдауларының барлық нәтижелерін автордың өзі алды. Міндеттерді қою және идеяларды әзірлеу ғылыми кеңесшілермен бірлесіп жүргізілді. Диссертация тақырыбы бойынша барлық басылымдар оның тікелей қатысуымен дайындалды.

### **Диссертация нәтижелерінің сенімділігі**

1. Осы жұмыста келтірілген теориялық болжам жалпы салыстырмалық саласындағы белгілі ғылыми еңбектердің жалғасы болып табылады. Алынған нәтижелер бұрынырақ жасалынған басқа да зерттеулердің нәтижелерімен тікелей байланысты және олардың логикалық жалғасы болып табылады.

2. Жұмыста келтірілген теориялық нәтижелер бұрынырақ жасалынған жұмыстардың нәтижелерімен жақсы үйлеседі.

### **Диссертацияның нәтижелерін сынақ тестілеуі**

Диссертацияның негізгі нәтижелері Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-дың физика-техникалық факультетінің семинарларында, сондай-ақ келесі халықаралық конференцияларда ұсынылып, талқыланды:

- «Фараби әлемі» - Халықаралық студенттер мен жастардың ғылыми конференциясы (2018 ж., Алматы қ., Қазақстан);

- «Фараби әлемі» - Халықаралық студенттер мен жастардың ғылыми конференциясы (2019 ж., Алматы қ., Қазақстан);

- «Фараби әлемі» - Халықаралық студенттер мен жастардың ғылыми конференциясы (2020 ж., Алматы қ., Қазақстан);

### **Жарияланымдар:**

Диссертациялық жұмыстың материалдары негізінде 7 басылым жарық көрді. Бұл басылымдардың төртеуі мақалалар, олардың біреуі Thomson Reuters (ISI Web of Knowledge) және Scopus деректер базасында сілтемесі бар, үш мақала Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігінің Білім және ғылымды бақылау комитеті ұсынған ғылыми басылымдарында жарық көрген. Жергілікті халықаралық конференцияда үш баяндама жасалды:

1. Abishev M. et al. Approximate perfect fluid solutions with quadrupole moment //International Journal of Modern Physics D. – 2021. – Т. 30. – №. 13. – С. 2150096. (Scopus: жоғарғы процентилі 95%; диссертация саласы бойынша процентилі: 70%)

2. Abishev M. E. et al. Стационарное вакуумное решение уравнений Эйнштейна //Вестник. Серия Физическая (ВКФ). – 2019. – Т. 69. – №. 2. – С. 4-9. (ҚР БҒМ БҒССҚК ұсынылған)

3. Абишев М. Е. и др. Определения релятивистских мультипольных моментов в ньютоновской гравитации массивных объектов //Вестник Казахского

национального университета. Серия физическая. – 2020. – №. 1. – С. 11-18. (ҚР БҒМ БҒССҚК ұсынылған)

4. Mansurova A. A. et al. Согласование условий для внутреннего и внешнего пространства-времени астрофизических компактных объектов //Вестник. Серия Физическая (ВКФ). – 2019. – Т. 71. – №. 4. – С. 45-50. (ҚР БҒМ БҒССҚК ұсынылған)

5. А. А. Мансурова, Studies of physics properties of neutron stars//International Scientific Conference of Students and Young Scientists «Farabi Alemi», April 9- 12, 2018, Almaty, Kazakhstan, Book of Abstracts, ed. by A. E. Davletov (Almaty, 2018), p. 46. (Жергілікті халықаралық конференция)

6. Mansurova A., Alimkillova M. Description of the quadrupolar mass distribution with stationary generalized q-metric//International Scientific Conference of Students and Young Scientists «Farabi Alemi», April 8- 11, 2019, Almaty, Kazakhstan, Book of Abstracts, ed. by A. E. Davletov (Almaty, 2019), p. 19. (Жергілікті халықаралық конференция)

7. Мансурова А. А., Бейсен Н. А., Иващиук В. Д. Исследование условий сопоставления общей теорий относительности// Международная конференция студентов и молодых ученых «Фараби әлемі», April 6- 9, 2020, Алматы, Қазақстан, Книга аннотаций под ред. Абишева М. Е. (Алматы, 2020), с. 19. (Жергілікті халықаралық конференция)

#### **Диссертацияның құрылымы мен көлемі:**

Диссертация кіріспеден, төрт тараудан, қорытындыдан және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Машиналық мәтінде басылған 95 беттен, 26 сурет, 97 әдебиеттен тұрады.