

**«6D061100 – Физика және астрономия» мамандығы бойынша философия докторы (Ph.D.) ғылыми дәрежесіне іздену диссертациясының**

**АҢДАТПАСЫ**

**Өтебай Айгерім Байнұрқызы**

**Шашыраңқы жұлдыздық шоғырлардың түзілуі мен эволюциясы**

**Жұмыстың жалпы сипаттамасы**

Диссертациялық жұмыс суық әрі тығыз газ-тозаң бұлттарынан пайда болған шашыраңқы жұлдыздық шоғырлардың эволюциясын зерттеуге бағытталған. Жұлдыз түзілу тиімділігі төмен болған шоғырлардың газ үрілуі себепті ыдырап кетпей, гравитациялық байланыстырылған шоғырға айналатын сандық үлгілері ұсынылған.

**Тақырыптың өзектілігі**

Көзге көрінетін Әлемнің үлкен жарылыстан бері дамуы жұлдыздардың бар болуымен тығыз байланысты. Жұлдыздардың пайда болуы мен эволюциясының механизмдерін түсіну арқылы ғана Әлемнің дамуын толық қанды түсінуге болады. Ал жұлдыздардың жеке-жекеден емес, шоғырларда топтасып пайда болуы галактикалардың жұлдыз түзілу тарихын сипаттайтын бірден-бір құбылыс. Алайда, шоғырлар даму барысында бастапқы күйлерінен көп өзгеріске ұшырап, тіпті өз галактикасының толысу өрісінде ыдырап кетіп жатады. Бұндай өзгерістер жұлдыз түзу тарихын шоғырларды бақылау арқылы тікелей зерттеуге кедергі келтіреді. Сондықтан жұлдыздық шоғырлардың пайда болуын, дамуын және ыдырауын жан-жақты зерттеу қазіргі таңдағы өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Әсіресе Джеймс Вэбб ғарыш телескобының іске қосылуы, және ол арқылы ең алыс галактикалардағы шоғырлардың бақылануы, бұл мәселелердің шешімін табуды қажет етеді.

Жұлдыздық шоғырлар суық газ бұлттарының коллапсы нәтижесінде тығыздалған бөліктерінде түзіледі. Қойнауында термоядролық реакциялар басталған массасы жоғары жұлдыздар айналасындағы газ бөлшектеріне кері әсерін бере бастайды, атап айтқанда, олар газ бұлтшаларын қыздырып, иондап, жарық қысымы мен жұлдыздық желі арқылы ығыстырады. Осылайша, шамамен 10 км/с жылдамдықпен үрленген газ-тозаң бөлшектері миллион жыл шамасында кластерден кетіп қалады. Бұл үрленіп шығарылған қалдық газ шоғырдың бастапқы массасының көп бөлігін алып кеткендіктен, жұлдыздық шоғыр динамикалық тепе-теңдігін жоғалтады да қарқынды релаксация басталады. Жұлдыздық шоғырдың түзілу шарттарына тәуелді, қарқынды релаксация барысында оның массасы мен құрылымы өзгеріске ұшырайды. Мұның бәрі шоғырдың кейінгі эволюциясына айтарлықтай әсер етеді.

Шоғырдың пайда болуы мен эволюциясының моделін жасауда осындай құбылыстарды барынша ескеру өте маңызды. Сонымен қатар модельдер тек бір-екі арнайы кластерлерді ғана емес, кең параметрлер кеңістігіндегі кластерлерді сипаттай алатын болуы қажет. Диссертациялық жұмыстың

маңыздылығы – құрылымдары әр түрлі шоғырлардың түзілу шарттарын ескере отырып, кластерлердің ұзақ мерзімді эволюциясының сандық моделін дайындау және сол модель көмегімен соңғы кезде көп қызығушылық тудыратын кейбір бақыланатын құбылыстарға байланысты мәселелерді зерттеу.

### **Жұмыстың мақсаты**

Шашыраңқы жұлдыздық шоғырлардың пайда болғаннан ыдырауына дейінгі барлық эволюциялық кезеңдерін түсіндіретін сандық модельді дайындау және оны кейбір бақыланатын құбылыстарды түсіндіруге қолдану.

### **Зерттеудің міндеттері**

1. Өте жас шоғырлардың құрылымын жақсырақ сипаттау үшін Денен тығыздық профилін қолданып, жұлдыздық шоғырлардың жаңа моделін дайындау.

2. Жұлдыздық кластердің қарқынды релаксация кезеңінен кейінгі эволюциясына Денен тығыздық профилінің ішкі көлбеулігінің әсерін зерттеу.

3. Ұсынылып отырған модельді лездік радио жарқылдарының дисперсиялық өлшемін түсіндіруге қолдану.

**Зерттеу нысандары:** центрлік концентрленген сфералық симметриялық газ бұлтынан бір еркін құлау уақыты ішінде тұрақты болып табылатын тиімділікпен түзілген жұлдыздық шоғырлар.

**Зерттеу пәні:** жұлдыз түзілу тиімділігі әр түрлі жұлдыздық шоғырлардың динамикалық эволюциясы, шоғырдың түрлі параметрлерінің оған әсері.

**Зерттеу әдісі:** Дифференциалдық теңдеулерді сандық шешу, N-дене есебін төртінші дәрежелі Эрмит әдісімен сандық интегралдау, phi-GRAPE/GPU кодымен CUDA/C, MPI, OpenMP технологияларын қолдана отырып параллельді есептеу, Python ортасында NumPy, SciPy, Pandas пакеттерін қолдана отырып, үлкен мәліметтерді өңдеу.

### **Қорғауға шығарылатын тұжырымдар**

1. Жұлдыздық шоғырларды N-body модельдеу барысында бастапқы тығыздық профилі ретінде Денен моделін қолдану кластердің қарқынды релаксациядан кейін сақталып қалуына жеткілікті жұлдыз түзу тиімділігінің мәнін бұрында алынған 15%-дан бақылауларға жақсырақ сәйкес келетін 3% -ға дейін түсіреді.

2. Жұлдыздық кластердің қос еңісті тығыздық профилінің ішкі бөлік көлбеулігін жоғарылату лездік газ үрілуінен кейін сақталатын гравитациялық байланыстырылған масса үлесінің өсуіне алып келеді.

3. Лездік радио жарқылдарының көздері бола алатын жас нейтрондық жұлдыздардың 80%-ы өздері пайда болған шоғырдан шамамен 100 парсектен әрі кете алмайды, сол себепті бұл жарқылдар сәулеленуінің жұлдыз түзу аймағынан шыққан иондалған газбен әсерлесуі олардың дисперсия өлшемінің жоғары болуына айтарлықтай үлес қоса алады.

**Жұмыстың ғылыми жаңалығы** келесі жұмыстардың алғаш рет жасалуында болып табылады:

1. Денен модельдері жас жұлдыздық шоғырларды адекватты және тиімді түрде сипаттай алатыны көрсетілді;

2. шашыраңқы шоғырлар моделін жасауда қос көлбеулі тығыздық профилі мен жұлдыздар эволюциясының жаңартылған алгоритмдері қолданылды;

3. лездік радио жарқылдарының көздері бола алатын, аса жаңа жарылыстардың қалдықтары болып табылатын жас нейтрондық жұлдыздардың өздері пайда болған шоғырдың айналасындағы таралуы зерттелді.

### **Жұмыстың теориялық және практикалық маңыздылығы**

Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер жұлдыздық шоғырлардың пайда болуы мен эволюциясын білу арқылы галактикалардың жұлдыз түзілу тарихын, жалпы Әлемнің даму тарихын түсінуге жол ашады. Сонымен қатар, жұмыс барысында жасалған аса ауқымды параллельді есептеу әдістері сан алуан салаларда қолданысын таба алады. Және компьютерлік симуляциялардан шыққан нәтижелерді талдау үшін жасалған үлкен мәліметтерді өңдеу құралдары астрономия саласында ғана емес, үлкен мәліметтермен жұмыс жасайтын кез-келген салаға адаптацияланып, қолданыла алады.

### **Автордың жеке қосқан үлесі**

Автор диссертациялық жұмыстың барлық кезеңдеріндегі зерттеу жұмыстарына толықтай қатысты. Есептің бастапқы шарттарын дайындауды және компьютерлік симуляциялардың шығыс мәліметтерін өңдеуді автор жеке өзі жасады. Компьютерлік симуляцияларды орындау өте ауқымды жұмыс пен ресурсты талап ететіндіктен, ол кейбір коллабораторлармен бөлісіп жасалды. Есепті қою мен нәтижелерді талдау кеңесшілермен, сонымен қатар отандық және шетелдік коллабораторлармен бірлесіп іске асырылды.

### **Нәтижелердің сенімділігі мен негізділігі**

Зерттеу барысында алынған нәтижелер мен қорытындылар диссертацияның барлық бөлімдерінің мазмұнына сәйкес келеді және негізгі ғылыми нәтижелерді рецензияланатын халықаралық және отандық ғылыми журналдарда, оның ішінде Web of Science және Scopus дерекқорларының 1-квартіліне (Q1) енгізілген импакт-факторы жоғары журналда жариялануымен қамтамасыз етіледі

### **Жұмысты апробациялау**

Диссертациялық жұмыстың нәтижелері үш мақалада және бірнеше халықаралық конференция материалдарында жарияланды. Атап айтқанда

**Clarivate (Web of Science) деректер базасы бойынша және Scopus халықаралық ғылыми деректер базасына енетін басыламдарда жоғары импакт-факторлы мақалалар:**

1. Shukirgaliyev, B., Otebay, A., Sobolenko, M., Ishchenko, M., Borodina, O., Panamarev, T., Myrzakul, S., Kalambay, M., Naurzabayeva, A., Abdikamalov, E., et al. Bound mass of Dehnen models with a centrally peaked star formation efficiency // *Astronomy and Astrophysics*. – 2021. – Vol. 654. – P. A53. doi: 10.1051/0004-6361/202141299. [Q1, IF=5.803, 85%]

**ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған басылымдардағы мақалалар:**

1. Shukirgaliyev, B., Otebay, A., Just, A., et al. Violent relaxation in isolated star clusters // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Physico-mathematical series. – 2019. – Vol. 3. – № 325. – P. 130.

2. Otebay, A., Kalambay, M., Shukirgaliyev, B. How far can get FRB progenitor neutron stars from their birthplace? // Recent Contributions to Physics. – 2021. – Vol.4. – №79. – P. 33.

#### **Тезистер жинақтарындағы жарияланымдар:**

1. Өтебай А.Б., Қаламбай М.Т., Шукиргалиев Б.Т. Оқшауланған жұлдыздық шоғырлардағы қарқынды релаксация. //“Фараби Әлемі” атты халықаралық ғылыми конференция тезистер жинағы - Алматы, 2019.-277 бб.

2. Бегалы З., Өтебай А.Б., Қаламбай М.Т. Жұлдызтүзу тиімділігінің шоғырдың бастапқы тығыздық профиліне тәуелділігі. //“Фараби Әлемі” атты халықаралық ғылыми конференция тезистер жинағы – Алматы, 2020.-275 бб.

3. Өтебай А.Б., Бегалы З., Қаламбай М.Т., Шукиргалиев Б.Т. Жұлдыздық шоғырлардың тығыздық профилдері мен лездік газ ығыстырудан кейінгі өмірсүргіштігі. //“Фараби Әлемі” атты халықаралық ғылыми конференция тезистер жинағы – Алматы, 2020.-307 бб.

4. Абдраманова А.Е., Өтебай А.Б., Тлеубек А.Н., Әбдінәсілім А.Т., Гравитация арқылы байланысқан жұлдыздық шоғырланулардың динамикасын сандық моделдеу. //“Фараби Әлемі” атты халықаралық ғылыми конференция тезистер жинағы – Алматы, 2021.-274 бб.

5. Өтебай А.Б., Қаламбай М.Т., Шукиргалиев Б.Т., Жұлдыздық шоғырдың ерте өлімін тоқтатуда көлбеулігі жоғары жұлдыз түзу тиімділік профилінің әсері. //“Фараби Әлемі” атты халықаралық ғылыми конференция тезистер жинағы – Алматы, 2021.-214 бб.

6. Әбдінәсілім А.Т., Нұржұма М.М., Тыныштық А.Б., Өтебай А.Б. Сандық есептеуден шыққан жұлдызды шоғырлар аспан сферасындағы көрінісі // «Фараби Әлемі» атты халықаралық ғылыми конференция тезистер жинағы – Алматы, 2022.-182 бб.

#### **Диссертация тақырыбының ғылыми жұмыстар жоспарларымен байланысы**

Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер мен әдістер ғылыми-зерттеу жұмыстарының жоспарына сәйкес АР08856149 «Құс Жолы тәріздес галактикалардағы жұлдыздық шоғырлардың ыдырау механизмдері» тақырыбы бойынша ҚР БҒМ «Іске асыру мерзімі 27 ай 2020-2022 жылдарға арналған ғылыми және (немесе) ғылыми-техникалық жобалар бойынша гранттық қаржыландыру» тапсырысын іске асыруда қолданылуда.

#### **Диссертациялық жұмыстың құрылымы мен көлемі**

Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 4 тараудан және қорытындыдан құралған. 100 беттен тұратын жұмыста 29 сурет, 93 формула, 1 кесте және 222 атаудан тұратын әдебиеттер тізімі қамтылған.