

## ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

**Денищенко Софії Іванівни**

**“Структурні особливості галактики Чумацький Шлях за результатами  
кінематичного аналізу”**

яка подається на здобуття ступеня доктора філософії

з галузі знань 10 - Природничі науки

за спеціальністю 104 - Фізика та астрономія

### **1. Оцінка роботи здобувача у процесі підготовки дисертації і виконання індивідуального плану навчальної та наукової роботи.**

Аспіранка Денищенко Софія Іванівна виконала у повному обсязі Індивідуальний план Освітньо-наукової програми підготовки доктора філософії. Освітня програма в обсязі 40 кредитів ECTS виконана у повному об'ємі. Вона успішно склала сім заліків та один екзамен з наступних дисциплін:

#### Заліки:

- 1) «Філософські засади та методологія досліджень» - 97 балів;
- 2) «Підготовка наукових публікацій та презентація результатів досліджень» - 100 балів;
- 3) «Планування, організація і проведення наукових досліджень» - 95 балів;
- 4) «Історія та методологія фізики та астрономії» - 96 балів;
- 5) «Методологія застосування сучасних інформаційних технологій для автоматизації наукових та навчальних експериментів» - 94 бали;
- 6) «Вибрані розділи сучасної астрономії та астрофізики» - 98 балів;
- 7) «Вибрані розділи сучасної теоретичної фізики» - 85 балів;

#### Екзамен:

- 8) «Іноземна мова для аспірантів» (англійська мова) - 75 балів.

Більшість запланованих видів робіт було виконано своєчасно. Здобувачка плідно співпрацював з науковим керівником протягом усього терміну навчання в аспірантурі.

### **1. Обґрунтування вибору теми дослідження.**

Відомо, що галактика Чумацький Шлях є спіральною галактикою з перемичкою. Це підтверджують багато досліджень зокрема: дослідження молекулярного газу, нейтрального газу, а також дослідження зірок в інфрачервоному діапазоні. Проте точна структура, кількість та положення спіральних рукавів все ще залишається до кінця не відомою.

Існує декілька основних причини, чому ця проблема так довго залишається невирішеною. Зокрема, перешкодою є те, що Сонце розташоване на краю галактичного диска поблизу площини Галактики, тому ми можемо бачити лише суперпозицію різних структурних особливостей (наприклад, спіральних рукавів, шпор, відгалужень і галактичних

смуг) уздовж спостережуваної лінії видимості. Також, через дуже велику густину та яскравість центральної частини Галактики, ми не маємо можливості досліджувати протилежну від Сонця ділянку Галактичного диска.

Більш того, рукава галактик зазвичай мають розгалуження, вони зливаються, скручуються та мають ступінь нерівномірності густини і лише в першому наближенні можуть бути описані логарифмічними спіралями. Значення кута закручення спіралей, за різними оцінками, коливаються приблизно від  $7^\circ$  до  $25^\circ$  (детальніше у розділі 3). Також, досі не вирішеним є питання щодо того, чи є спіральний візерунок Галактики дво-рукавним або все ж таки чотирьох-рукавним.

Важкою задачею є необхідність відібрати та точно визначити розташування спіральних трасерів. Щоб окреслити точну структуру Галактики на диску необхідно виявити велику кількість спіральних індикаторів із найбільш точними визначеннями відстані. Можливість детально дослідити та проаналізувати структурні особливості великої частини Галактики, надав третій реліз космічної місії Gaia, що містить високоточні власні рухи, паралакси, променеві швидкості та інші астрометричні та астрофізичні параметри для зорь різних типів. Вибірку із великою кількістю об'єктів можна використовувати не лише для аналізу структури Галактики за їхніми положеннями, а й провести кінематичний аналіз різних її областей і отримати додаткову інформацію про структурні особливості різних регіонів Галактики. Відповідно, задача вибору трасерів та методів визначення параметрів спіральних рукавів на основі даних Gaia DR3 є **актуальною** задачею сьогодення.

*Метою дисертації* є визначення параметрів спіральних рукавів Галактики з використанням кінематичних трасерів.

Для досягнення поставленої мети сформульовано наступні ключові завдання:

1. створити вибірку зірок з каталогу Gaia DR3, абсолютна зоряна величина яких  $M_G < 4$ ;
2. вирішити рівняння моделі O-M в локальній галактичній системі координат для кожної сферичної області, що сформована із створеної вибірки;
3. створити підвибірку центроїдів тих сферичних областей, в яких величина кінематичного параметра  $M^+_{II}$  є незначущою, тобто обчислене значення параметра  $M^+_{II}$  не перевищує подвоєного значення похибки його визначення та побудувати розподіл таких центроїдів в Галактичній площині;
4. створити програмне забезпечення для обробки даних, розрахунків кінематичних параметрів та побудови галактичних спіральних рукавів згідно із запропонованим методом;
5. визначити та відібрати центроїди, що належать до конкретного спірального рукава;
6. отримати оцінки параметрів спіральних рукавів Галактики з використанням запропонованого методу;
7. шляхом екстраполяції за межі наявних даних, побудувати чотирьох-рукавну спіральну схему;
8. провести порівняння отриманих результатів із результатами, що отримані динамічним методом та шляхом співставлення морфологічних особливостей макетної Галактики.

**Об'єктом дослідження** є спіральна структура галактики Чумацький Шлях.

**Предметом дослідження** є кінематичні параметри поля швидкостей в площині Галактики, параметри спіральних рукавів.

**Методи дослідження:** для знаходження параметрів спіральних рукавів в дисертаційній роботі було запропоновано оригінальний метод в якому, в якості кінематичних трасерів використовувались центроїди сферичних областей, для яких, величина кінематичного параметра  $M^+_{II}$  була незначущою. Для визначення кінематичних параметрів використовувалась лінійна кінематична модель Огороднікова–Мілна (О-М). Фізичний зміст параметрів моделі О-М відповідає теоремі Гельмгольца для зоряних систем. Для вирішення системи рівнянь і отримання оцінок параметрів поля швидкостей зірок в Галактиці, застосовувався метод найменших квадратів. Використовуючи метод “позиційний кут - логарифм відстані” були визначені кути закручення та галактоцентричні відстані до точки перетину спіралей з напрямком центр Галактики — Сонце.

### **3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконана в НДІ астрономії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна та є складовою частиною наступних НДР:

– «Метод векторних сферичних функцій для дослідження кінематики Галактики на основі космічних та наземних даних», № державної реєстрації 0117U004968, 01.10.2017–30.09.2020 (здобувач – виконавець).

– «Вирішення астрометричних, кінематичних та астрофізичних задач за даними сучасних каталогів із використанням штучних нейронних мереж», № державної реєстрації 0119U002537, 01.01.2019–31.12.2021 (здобувач – виконавець).

– «Картування кінематичних параметрів Галактики за даними Gaia та інших сучасних каталогів», № державної реєстрації 0122U001479, 01.01.2022–31.12.2024 (здобувач – виконавець).

### **4. Особистий внесок дисертантки в отриманні наукових результатів та їх новизна полягає в наступному:**

#### **Вперше:**

1. Запропоновано і обґрунтовано використання компонент тензора швидкості деформації для вивчення спіральної структури Галактики.

2. В галактичній площині в діапазоні галактоцентричних координат  $140^\circ < \theta < 220^\circ$  і  $4 \text{ кпк} < R < 14 \text{ кпк}$  побудовано карту розподілу центроїдів сферичних областей для яких кінематичні параметри  $M^+_{II}$  є незначущими та які отримали назву “кінематичні трасери”.

3. На основі аналізу радіальних швидкостей центроїдів запропоновано та реалізовано спосіб відбору тих центроїдів, що належать конкретним спіральним рукавам.

4. Параметри п'яти спіральних рукавів нашої Галактики - Scutum-Centaurus arm, Sagittarius-Carina arm, Local arm, Perseus arm, Norma-Outer arm отримано за допомогою використання кінематичних трасерів, визначених запропонованим методом.

5. За визначеними в роботі параметрами, шляхом екстраполяції за межі наявних даних, схематично представлено спіральний візерунок нашої Галактики з нахилом великої осі бару приблизно  $30^\circ$ .

#### **5. Обґрунтованість та достовірність наукових положень, результатів і висновків дисертації.**

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, результатів і висновків дисертації Денищенко С.І. забезпечена коректним застосуванням сучасних методів просторового кінематичного аналізу зірок Галактики, методів математичної статистики, а також ретельним співставленням одержаних результатів із широким колом першоджерел наукової літератури. Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані в науковому журналі індексованому наукометричною базою Scopus (Q1) та доповідалися на міжнародних наукових конференціях. Висновки дисертаційної роботи є обґрунтованими.

#### **6. Наукове, теоретичне та практичне значення отриманих результатів.**

Результати запропонованого кінематичного метода можуть бути використані для уточнення уявлень про будову та еволюцію Галактики. На базі зібраних в роботі даних є можливість сформулювати авторський курс за напрямом вивчення структурних особливостей Галактики. Отримані результати розширюють наукові знання про динамічні та кінематичні процеси в Галактиці.

#### **7. Повнота викладення матеріалів дисертації в роботах, опублікованих автором.**

Результати дисертації опубліковані у 4 наукових працях, всі у закордонному періодичному науковому виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази Scopus та 4 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

#### **Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації**

1. Fedorov P., Akhmetov, V., Velichko A., Dmytrenko, A., **Denyshchenko S.**, 2021. Kinematics of the Milky Way from the Gaia EDR3 red giants and subgiants. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 508, Iss. 2 P. 3055–3067 (Scopus, Q1).

DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/stab2821>

*(Особистий внесок здобувача: брала участь в постановці, обговоренні та розв'язання поставленої задачі, проводила аналіз даних Gaia EDR3, займалася побудовою та аналізом графіків, проводила відбір зір червоних гігантів із загальної вибірки.)*

2. Fedorov P., Akhmetov, V., Velichko A., Dmytrenko, A., **Denyshchenko S.**, 2023. Mapping the kinematic parameters of the Galaxy from the Gaia EDR3 red giants and sub-giants. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 518, Issue 2, Pages 2761—2774 (Scopus, Q1).

DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/stac3218>

*(Особистий внесок здобувача: брала участь в постановці, обговоренні та розв'язання поставленої задачі, проводила розрахунок та аналіз кінематичних параметрів моделі Огороднікова-Мілна.)*

3. **Denyshchenko S.**, Fedorov P., Akhmetov, V., Velichko A., Dmytrenko, A., 2023. Determining the parameters of the spiral arms of the Galaxy from kinematic tracers based on Gaia DR3 data. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, stad3350 (Scopus, Q1).

DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/stad3350>

*(Особистий внесок здобувача: поставила та розв'язала задачу. Використала рівняння тривимірної моделі Огороднікова-Мілна в для оцінки кінематичних параметрів в площині Галактики в межах галактоцентричних координат  $140^\circ < \theta < 220^\circ$  и  $4 \text{ кпк} < R < 14 \text{ кпк}$ . Розробила та використала метод формування та відбору кінематичних трасерів. Отримала параметри п'яти ділянок спіральних рукавів та, провівши екстраполявання за цими даними, отримала модель спіральної структури всієї Галактики. Автор брала участь в обговоренні, фізичній інтерпретації та обґрунтування отриманих результатів. Підготувала текст статті.)*

4. Dmytrenko, A., Fedorov P., Akhmetov, V., Velichko A., **Denyshchenko S.**, 2023. The vertex coordinates of the Galaxy's stellar systems according to the Gaia DR3 catalogue. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 521, Issue 3, Pages 4247–4256 (Scopus, Q1).

DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/stad823>

*(Особистий внесок здобувача: брала участь в постановці, обговоренні та розв'язання поставленої задачі. Проводила аналіз кінематичних параметрів та тестувала перехід із прямокутної галактоцентричної системи координат до системи головних вісей.)*

#### **Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

5. **Denyshchenko S.**, Akhmetov V., Fedorov P. / Kinematic Analysis of the Milky Way by Gaia EDR3 Data // International Conference “Actual Questions of Ground-based Observational Astronomy” Devoted to 200th anniversary of Mykolaiv Astronomical Observatory MAO-200, September 27-30, 2021, Mykolaiv, Ukraine

*(Особистий внесок здобувача: аналіз та обробка даних, отримання кінематичних параметрів досліджуваної частини Галактики, інтерпретація отриманих результатів.)*

6. Akhmetov V., Fedorov P., Velichko A., Dmytrenko A., **S.Denyshchenko** / Analysis of Modern Astrometric Catalogues in the Gaia Era // International Conference “Actual Questions of Ground-based Observational Astronomy” Devoted to 200th anniversary of Mykolaiv Astronomical Observatory MAO-200, September 27-30, 2021, Mykolaiv, Ukraine.

*(Особистий внесок здобувача: аналіз та обробка даних, отримання кінематичних параметрів досліджуваної частини Галактики, інтерпретація отриманих результатів)*

7. **Denyshchenko S.I.**, Fedorov P.N., Akhmetov V.S., Velichko A.B. / Detection of spiral structures of the milky way galaxy using kinematic analysis // XXII Gamow International Astronomical Conference-School in Odessa: "Astronomy and beyond: Astrophysics, Cosmology and Gravitation, High Energy, Physics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology", 22-26 August, 2022, Odesa, Ukraine. *(Особистий внесок здобувача: обчислення та аналіз кінематичних параметрів, розрахунок параметрів п'яти ділянок спіральних рукавів, графічне представлення результатів та інтерпретація отриманих результатів)*

8. Akhmetov V., Fedorov P., Velichko A., Dmytrenko A., **Denyshchenko S.**/ Mapping the kinematic parameters of the galaxy from the GAIA EDR3 data // XXII Gamow International Astronomical Conference-School in Odessa: "Astronomy and beyond: Astrophysics, Cosmology and Gravitation, High Energy, Physics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology", 22-26 August, 2022, Odesa, Ukraine

*(Особистий внесок здобувача: обчислення та аналіз кінематичних параметрів, графічне представлення результатів.)*

## **8. Апробації матеріалів дисертації.**

Результати дисертаційної роботи були представлені у 3 доповідях на таких вітчизняних наукових конференціях:

1. International Conference «Actual Questions of Ground-based Observational Astronomy. MAO-200», Миколаїв (Україна), 27–30 вересня 2021 р.
2. 22th International Gamow Conference – School: «Astronomy and beyond: Astrophysics, Cosmology, Cosmomicrophysics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology», Оdesa (Україна), 22–26 серпня 2022 р.

## **9. Дотримання академічної доброчесності.**

На підставі вивчення тексту дисертації здобувача, наукових праць здобувача та Протоколу контролю оригінальності (перевірку наявності текстових запозичені виконано в антиплагіатний інтернет системі Strikeplagiarism.com) встановлено, що дисертаційна робота виконана самостійно, текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності. Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

## **10. Оцінка мови та стилю дисертації.**

Матеріал дисертації викладено в логічній послідовності та доступній для сприйняття. Дисертація написана науковим стилем мовлення, структура дисертації відповідає алгоритму

здійснення автором дослідження. Зміст, структура, оформлення дисертації та кількість публікацій відповідають вимогам відповідно постанови Кабінету Міністрів України “Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії” (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44, зі змінами, внесеними згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 21.01.2022 року № 341). Наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 “Про затвердження вимог до оформлення дисертації” (із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки України від 31.05.2019 року № 759).

**11. Відповідність змісту дисертації спеціальності з відповідної галузі знань, з якої вона подається до захисту.**

За своїм фаховим спрямуванням, науковою новизною і практичною значимістю дисертаційна робота Денищенко Софії Іванівни “Структурні особливості галактики Чумацький шлях за результатами кінематичного аналізу” відповідає спеціальності 104 - Фізика та астрономія. Здобувачем повністю виконана освітня та наукова складові освітньо-наукового рівня вищої освіти.

**12. Результати обговорення та проведення презентації. Рекомендація дисертації до захисту.**

Здобувач представив основні результати досліджень своєї дисертаційної роботи на розширеному засіданні кафедри астрономії та космічної інформатики Фізичного факультету Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (протокол № 7 від 11 травня 2023 року) у формі презентації та наукової дискусії після її завершення. Враховуючи високий рівень виконаних досліджень, а також актуальність теми роботи, наукову новизну результатів а також їх наукове та практичне значення, на розширеному засіданні кафедри було одностайно ухвалено рішення про рекомендацію дисертації Денищенко С.І. на тему “Структурні особливості галактики Чумацький Шлях за результатами кінематичного аналізу” до захисту в спеціалізованій вченій раді для здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 - Природничі науки за спеціальністю 104 - Фізика та астрономія.

В.о. завідувача кафедри  
астрономії та космічної інформатики  
фізичного факультету  
Харківського національного університету  
імені В.Н. Каразіна  
Доктор фізико-математичних наук, професор

Юрій ШКУРАТОВ