

## **ВИСНОВОК**

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

**Дмитренка Артема Миколайовича**

**«Координати галактичного Вертекса з кінематичного аналізу**

**просторового поля швидкостей гігантів та субгігантів за даними Gaia DR3»**

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.**

Аспірант Дмитренко Артем Миколайович виконав у повному обсязі Індивідуальний план Освітньо-наукової програми підготовки доктора філософії. Освітня програма в обсязі 40 кредитів ECTS виконана у повному об'ємі. Він успішно склав сім заліків та один екзамен з наступних дисциплін:

#### Заліки:

- 1) «Філософські засади та методологія наукових досліджень» – 100 балів;
- 2) «Підготовка наукових публікацій та презентація результатів досліджень» – 100 балів;
- 3) «Планування, організація і проведення наукових досліджень та навчальних занять» – 94 бали;
- 4) «Історія та методологія фізики та астрономії» – 96 балів;
- 5) «Методологія застосування сучасних інформаційних технологій для автоматизації наукових та навчальних експериментів» – 95 балів;
- 6) «Вибрані розділи сучасної астрономії та астрофізики» – 97 балів;
- 7) «Вибрані розділи сучасної теоретичної фізики» – 91 бал.

#### Екзамен:

- 8) Іноземна мова для аспірантів (англійська мова) – 94 бали.

Всі заплановані види робіт було виконано своєчасно. Здобувач плідно співпрацював з науковим керівником протягом усього терміну навчання в аспірантурі.

### **2. Обґрунтування вибору теми дослідження.**

Нині добре відомо, що галактика Чумацький Шлях (далі – Галактика) є дисковою. Структура диска неоднорідна, відомо кілька спіральних рукавів, в яких щільність зірок та газу значно вище середньої, тому наша Галактика є також спіральною. Галактики такого класу, за класифікацією Габбла, окрім диска (що може бути також поділений на підструктури), мають такі структури як гало та балдж. Більшість зірок та газопилових хмар сконцентровані в галактичному диску, особливо в центральній його частині. Гало ж, складається переважно зі старих зірок та кулястих зоряних скupчень. Дискові галактики – це складні структури, які утворені різними класами зірок. Кожен клас має свої кінематичні характеристики. Разом з цим, для того, щоб галактика залишилася стабільною, всі зірки мають перебувати в динамічній рівновазі. Однією з основних фізичних характеристик спіральної галактики є значний сумарний орбітальний момент.

Виходячи з цього, кожна галактична область зірок, що рухається, повинна мати точку обертання – вертекс – поблизу галактичного Центра. Інформація про координати такої точки, відіграє ключову роль у вивченні кінематичних та динамічних властивостей Галактики в цілому.

Особливо важливо для дослідження будови та еволюції Галактики є визначення фундаментальної величини  $R_\odot$ , що є відстанню від Сонця до прийнятого центра Галактики, а також кутові координати цієї точки у сферичній системі координат з початком в Сонці. Випадкова і систематична похибки визначення цих величин поступово зменшуються завдяки новітнім високоточним даним різних обсерваторій світу. Але окрім покращення результатів внаслідок більш точних вимірювань, з'являється можливість використовувати нові незалежні методи визначення фундаментальних параметрів. В сучасних наукових роботах приводяться значення від  $R_\odot = 7,6 \pm 0,7$  кпк до  $R_\odot = 8,8 \pm 0,5$  кпк, при цьому випадкові похибки наводяться в десятих долях кілопарсека. Такий розкид величин може бути пояснений наявністю систематичних похибок, які своєю чергою, можуть бути пояснені недосконалістю методів що використовувались чи селекцією вхідних даних.

Відомості про просторові координати вертексів різних областей зірок Галактики є не менш важливими у динамічних задачах, ніж координати галактичного Центра. Тому визначення як кутових координат вертексів, так і геліоцентричних відстаней до них є *актуальною* задачею сьогодення.

*Метою дисертації* є визначення координат вертексів зоряних систем Галактики із кінематичного аналізу поля швидкостей червоних гігантів і субгігантів, з використанням новітніх даних космічної місії Gaia.

Для досягнення поставленої мети сформульовано наступні ключові завдання:

- 1) розробка програмного забезпечення мовою програмування C/C++ для обчислення кінематичних параметрів областей зірок із використанням тривимірної лінійної моделі Огороднікова–Мілна;
- 2) моделювання поля швидкостей зірок у разі стаціонарного плоскопаралельного (оортівського) обертання. Встановлення зв'язку між модельними кінематичними параметрами, координатами вертексів областей зірок, а також заданим центром обертання всієї зоряної системи.
- 3) відбір зірок з каталогу Gaia DR3 за астрометричними показниками, точність визначення яких, не гірше заданої;
- 4) перетин каталогу Gaia DR3 з зовнішнім каталогом, в якому приведені фотогеометричні відстані до зірок, що отримані шляхом використання фотометричних даних та паралаксів Gaia DR3;
- 5) створення вибірки зірок, до якої належать червоні гіганти та субгіганти, з використанням діаграми колір–світність;
- 6) обчислення положень та швидкостей в прямокутній галактичній системі координат для всіх зірок, що мають повне астрометричне рішення та радіальну швидкість в каталогі Gaia DR3;
- 7) отримання оцінок кінематичних параметрів поля швидкостей зірок для кожної досліджуваної зоряної системи Галактики;
- 8) оцінка кутових координат вертексів з використанням тензора швидкостей деформації для кожної зоряної системи у випадку фотогеометричних відстаней до зірок та відстаней, що визначені з використанням паралаксів Gaia;

- 9) аналіз отриманих результатів в контексті загально прийнятої структури Галактики.

**Об'єктом дослідження** є зірки, що належать Галактиці, галактика Чумацький Шлях.

**Предметом дослідження** є поле швидкостей зірок, кінематика зірок в площині Галактики, вертекси зоряних систем.

**Методи дослідження.** Для знаходження координат вертексів зоряних систем було використано високоточні астрометричні дані з сучасного каталогу Gaia DR3, а саме: положення зірок у сферичній системі координат, паралакси зірок, власні рухи зірок та їх променеві швидкості. Використовувалась лінійна кінематична модель Огороднікова–Мілна. Фізичний зміст параметрів моделі тлумачиться відповідно до теореми Гельмгольца для зоряних систем. Для вирішення сукупності рівнянь і отримання оцінок параметрів поля швидкостей зірок в Галактиці, застосовувався метод найменших квадратів. Оцінка кутових координат вертексів областей зірок, була виконана з використанням знайдених в цих областях кінематичних параметрів. Геліоцентричні відстані до спільних вертексів були оцінені методом, запропонованим здобувачем.

### **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:

- 1) «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).
- 2) «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).
- 3) «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 дисертанта в отриманні наукових результатів та їх новизна.**

Особистий внесок дисертанта в отриманні наукових результатів та їх новизна полягає в наступному:

#### Вперше:

- 1) Отримано 12 кінематичних параметрів в кожній із заданих областей зірок, центрояди яких розташовані у галактичній площині на геліоцентричних відстанях до 8 – 10 кпк.
- 2) Побудовані карти залежності кінематичних параметрів від галактичних координат в досліджуваній частині галактичної площини.
- 3) Визначено кутові координати вертексів дляожної області зірок з використанням компонентів тензорів швидкості деформації  $M^{+_{\text{об}}}$ .
- 4) Продемонстровано наявність нетривіального зв'язку між напрямками на вертекс кожної області зірок та центром обертання всієї Галактики.

- 5) Запропоновано та використано оригінальний метод визначення геліоцентричних координат спільних вертексів груп областей зірок зі схожою кінематикою.
- 6) Проведено порівняльний аналіз параметрів, що отримані у випадку, коли в розрахунках використовувались відстані до зірок, що отримані із паралаксів Gaia DR3 та у випадку, коли використовувались фотогеометричні відстані до зірок.

Дістало подальший розвиток:

- 7) Дослідження кінематики зірок з використанням моделі Огороднікова–Мілна не тільки для навколосонячної околиці, а й для інших областей зірок, центроїди яких знаходяться в інших точках галактичної площини.

## **5. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.**

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, результатів і висновків дисертації Дмитренка А.М. 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 результатів дисертації.**

Результати проведеного здобувачем просторового кінематичного аналізу зірок Галактики, а саме оцінки 12 кінематичних параметрів, значення яких представлені у вигляді залежностей від галактичних координат, а також кутові й просторові координат вертексів різних областей зірок Галактики, особливо важливі для рішення *кінематичних та динамічних задач*. Виділені в роботі локальні особливості поля швидкостей зірок свідчить про те, що галактика Чумацький Шлях не є осесиметричною та не має єдиного центру обертання, як в осесиметричних зоряних системах. Цей результат може бути використаний для уточнення сучасних *динамічних моделей Галактики*.

Результати досліджень Дмитренка А.М. можуть бути впроваджені в освітні навчальні програми дисциплін «Основи сучасної астрофізики», «Зоряна астрономія», «Комп’ютерні технології в астрономії» та навчальної обчислювальної практики на кафедрі астрономії та космічної інформатики фізичного факультету Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна.

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

Результати дисертації опубліковані у 6 наукових працях, серед яких 3 статті у закордонному періодичному науковому виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази Scopus та 3 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

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

Список публікацій здобувача за темою дисертації у закордонному періодичному науковому виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази Scopus:

- 1) Fedorov P., Akhmetov, V., Velichko A., **Dmytrenko, A.**, Denischenko S. Kinematics of the Milky Way from the Gaia EDR3 red giants and subgiants // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. Volume 508, Issue 2, Pages 3055–3067. DOI: 10.1093/mnras/stab2821  
*(Особистий внесок здобувача: брав участь в постановці, обговоренні та розв'язання поставленої задачі, реалізував алгоритм мовою програмування C++, створив програмне забезпечення для візуалізації отриманих результатів)*
- 2) Fedorov P., Akhmetov, V., Velichko A., **Dmytrenko, A.**, Denischenko S. Mapping the kinematic parameters of the Galaxy from the Gaia EDR3 red giants and sub-giants // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2023. Volume 518, Issue 2, Pages 2761–2774. DOI: 10.1093/mnras/stac3218  
*(Особистий внесок здобувача: брав участь в постановці, обговоренні та розв'язання поставленої задачі. Запропонував використовувати прямокутну модель поля швидкостей зірок для оцінки кінематичних параметрів в площині Галактики. Створив програмне забезпечення для візуалізації отриманих результатів)*
- 3) **Dmytrenko, A.**, Fedorov P., Akhmetov, V., Velichko A., Denischenko S. The vertex coordinates of the Galaxy's stellar systems according to the Gaia DR3 catalogue // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2023. Volume 521, Issue 3, Pages 4247–4256. DOI: 10.1093/mnras/stad823  
*(Особистий внесок здобувача: поставив та розв'язав задачу. Використав рівняння тривимірної моделі Огороднікова–Мілна в прямокутних координатах для оцінки кінематичних параметрів в площині Галактики. Розробив та використав метод оцінки відстані до вертексів Галактики за допомогою кінематичного аналізу. Створив власне програмне забезпечення для обробки даних та їх візуалізації. Автор брав участь в обговоренні та фізичній інтерпретації отриманих результатів. Підготував текст статті)*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

- 4) **Dmytrenko, A.**, Fedorov P., Akhmetov V., Velichko A. The Coordinates Estimation of the Galactic Vertex by Mean of Kinematic Analysis of the Red Gigants and Subgigants Velocity Field Containing in the Gaia EDR3 Catalogue. Astronomy and beyond: astrophysics, cosmology, cosmomicrophysics, astroparticle phisics, radioastronomy and astrobiology: International 21-th Gamow Conference-school, 15-21 August 2021.: abstr. Odesa, Ukraine, 2021. p. 10  
*(Особистий внесок здобувача: розробка програмного забезпечення, отримання та аналіз параметрів поля швидкостей зірок. Оцінка координат галактичного Вертекса. інтерпретація отриманих результатів.)*
- 5) **Dmytrenko, A.**, Fedorov P., Akhmetov V., Velichko A. The Coordinates Estimation of the Galactic Vertex by Mean of Kinematic Analysis of the Red Gigants and Subgigants Velocity Field Containing in the Gaia EDR3 Catalogue. Actual Questions of Ground-Based Observational Astronomy: International Conference. MAO-200, 15-21 September 2021.: abstr. Mykolaiv, Ukraine, 2021. p. 46  
*(Особистий внесок здобувача: розробка програмного забезпечення, отримання та аналіз параметрів поля швидкостей зірок. Оцінка координат галактичного Вертекса, інтерпретація отриманих результатів)*

- 6) Fedorov P., Akhmetov V., Velichko A. **Dmytrenko, A.**, Denyshchenko S. Mapping The Kinematic Parameters Of The Galaxy From The Gaia Edr3 Data. Astronomy and beyond: astrophysics, cosmology, cosmomicrophysics, astroparticle phisics, radioastronomy and astrobiology: International 21-th Gamow Conference-school, 22-26 August 2022.: abstr. Odesa, Ukraine, 2022. p. 9

(Особистий внесок здобувача: розробка програмного забезпечення, обчислення кінематичних параметрів, графічне представлення результатів)

Результати дисертаційної роботи повністю відображені в публікаціях.

## 8. Апробація матеріалів дисертації.

Основні результати досліджень були представлені, обговорені і опубліковані в тезах доповідей вітчизняних та міжнародних наукових конференцій: Astronomy and beyond: astrophysics, cosmology, cosmomicrophysics, astroparticle phisics, radioastronomy and astrobiology. International

21-th Gamow Conference-school (Одеса, Україна, 2021); Actual Questions of Ground-Based Observational Astronomy: International Conference (Миколаїв, Україна, 2021); Astronomy and beyond: astrophysics, cosmology, cosmomicrophysics, astroparticle phisics, radioastronomy and astrobiology. International 22-th Gamow Conference-school (Одеса, Україна, 2022).

## 9. Дотримання академічної добросовісності

На підставі вивчення тексту дисертації здобувача, наукових праць здобувача та Протоколу контролю оригінальності (перевірку наявності текстових запозичень виконано в антиплагіатній інтернет системі StrikePlagiarism.com) встановлено, що дисертаційна робота виконана самостійно, текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної добросовісності. 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 доступний для сприйняття. Дисертація написана науковим стилем мовлення, структура дисертації відповідає алгоритму здійсненого 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 21.03.2022 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 Дмитренка Артема Миколайовича «Координати галактичного Вертекса з кінематичного аналізу просторового поля швидкостей гігантів та субгігантів за даними Gaia DR3» 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 та їх наукове і практичне значення, на розширеному засіданні кафедри було одностайно ухвалене рішення про рекомендацію дисертації Дмитренка А. М. «Координати галактичного Вертекса з кінематичного аналізу просторового поля швидкостей гігантів та субгігантів за даними Gaia DR3» до захисту в спеціалізованій вченій раді для здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія з галузі знань 10 – Природничі науки.

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

Юрій ШКУРАТОВ