

АНОТАЦІЯ

Денищенко С.І. Структурні особливості галактики Чумацький Шлях за результатами кінематичного аналізу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія (Галузь знань 10 – Природничі науки). – Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна Міністерства освіти та науки України, Харків, 2023.

Дисертація присвячена визначенню параметрів спіральних рукавів Галактики, отриманих за допомогою кінематичних трасерів, що базуються на даних космічної місії GaiaDR3. Оскільки галактика Чумацький Шлях є нашою рідною галактикою, то положення та кінематику великої кількості об'єктів можна виміряти з високою точністю, що робить Чумацький Шлях єдиною спіральною галактикою, яку ми можемо детально дослідити. На базі цих знань формуються загальні уявлення про структуру, еволюцію та інші особливості спіральних галактик у всьому Всесвіті. Одним із структурних елементів Чумацького Шляху є спіральна структура, а її вивчення є важливим завданням в астрономії, яке і досі залишається актуальним.

Наразі з повною достовірністю не відомо про кількість, структуру та параметри спіральних рукавів у нашій Галактиці. Вибір трасерів та методів, які використовуються для вирішення цієї проблеми, може впливати на отримані числові оцінки параметрів спіральних рукавів Галактики та точність їх визначення. Високоточна астрометрія галактичних джерел поступово полегшує цю складну ситуацію, спричинену головним чином великою невизначеністю відстаней, оскільки зараз ми вже можемо отримати точні паралакси (кілька μas) та більш точні власні рухи зорь. Завдяки існуючим високоточним астрометричним та астрофізичним даним, що надає каталог *Gaia* DR3, з'явилася можливість детально аналізувати структурні особливості великої частини Галактики.

В роботі було запропоновано новий підхід до визначення трасерів спіральної структури, що базується на дослідженні кінематики зоряних полів, а також метод їх отримання. В якості трасерів, використовувались центроїди сферичних областей зорь радіусом 0.5 кпс, швидкості деформацій в яких, вздовж координатної осі R циліндричної галактоцентричної системи координат, є незначущими. Для дослідження кінематики в сферичних зоряних областях, в дисертаційній роботі було проведено в межах моделі Огороднікова-Мілна кінематичний аналіз 19 млн. зорь за даними *Gaia* DR3, абсолютна зоряна величина яких $M_G < 4$, що дозволяє використовувати їх на великих відстанях від Сонця. Ці трасери покривають галактичну площину в діапазонах галактоцентричних координат $140^\circ < \theta < 220^\circ$ і $4 \text{ кпк} < R < 14 \text{ кпк}$.

Для отримання параметрів спіралей галактики Чумацький Шлях, в роботі було застосовано метод, що ґрунтується на побудові діаграми «позиційний кут – логарифм відстані», і який зазвичай, використовується для визначення параметрів спіральної структури Галактики за даними різних трасерів.

В роботі було виконано порівняння числових значень отриманих кутів закручення спіралей та галактоцентричних відстаней до точки перетину спіралі з напрямом центр Галактики - Сонце, з відповідними параметрами, отриманими в різних сучасних дослідженнях за цією темою.

Також в роботі було виконано тестування працездатності та ефективності запропонованого методу, яке засвідчило надійність його роботи не тільки на спостережних даних *Gaia* DR3, але і на даних макетних зоряних каталогів із проекту *AURIGA*.

Хід дисертаційної роботи висвітлюється в трьох розділах.

У *першому розділі* представлено огляд літературних джерел. Описано розвиток уявлень про структуру та особливості Галактики. Описано підсистеми Галактики та їх взаємозв'язок з поняттям «населення». Наводяться приклади робіт з результатами визначення параметрів спіральної структури та її схематичних зображень за допомогою різних трасерів. Кратко представлено огляд теорій механізму виникнення спіральної структури Галактики та описано головні проблеми її вивчення. Приведено опис сучасних даних про спіральні рукави галактики Чумацький Шлях.

У *другому розділі* дисертації розглядаються математичні методи, що були використані в рамках дослідження. Розглядаються системи координат, що використовуються в роботі, а також кінематичні моделі, які часто застосовуються в кінематичних дослідженнях Галактики. Описується метод визначення параметрів спіральних рукавів Галактики за допомогою діаграми “позиційний кут - логарифм відстані”.

У *третьому розділі* приведено результати визначення в попередніх роботах кінематичних параметрів за даними *Gaia* DR3 та приведено обґрунтування використання кінематичного методу. Показано, що положення центроїдів з незначущими M^+_{11} , можна розглядати як кінематичні трасери спіральних рукавів у діапазоні галактоцентричних циліндричних координат $140^\circ < \theta < 220^\circ$, $4 \text{ кпк} < R < 13$ з відстанню від Сонця $R_0 = 8.15 \text{ кпс}$. Виходячи з необхідності мати максимально точні астрометричні параметри, створено нову вибірку зорь із каталогу *Gaia* DR3 з урахуванням поправок паралаксів та поправок до власних рухів яскравих зорь.

В межах моделі О-М проведено кінематичний аналіз в кожній сферичній області та створено підвибірку центроїдів тих сферичних областей, у яких величина параметра M^+_{11} виявилася незначущою.

Представлено запропонований автором, оригінальний спосіб відбору кінематичних трасерів, що належать конкретним спіральним рукавам Галактики, на основі аналізу радіальних швидкостей. Приведена таблиця

отриманих параметрів спіральних рукавів Галактики та проведено порівняння отриманих результатів з результатами інших авторів. Проведено оцінку ефективності запропонованого методу кінематичних трасерів та отримання параметрів спіральних рукавів Галактики, як на модельних так і на спостережних даних та зроблено висновки.

Головні наукові результати, що були отримані у роботі.

1. Обґрунтовано використання компонент тензора швидкості деформації для вивчення спіральної структури Галактики.
2. Для вирішення рівнянь моделі O-M положення та швидкості зірок, що мають повне 5-параметричне астрометричне рішення та радіальна швидкість в каталозі *Gaia* DR3, були обчислені в локальній галактичній системі координат.
3. Створено програмне забезпечення для обробки даних, розрахунків та побудови галактичних спіральних рукавів згідно із запропонованим у роботі методом.
4. У межах галактоцентричних координат $4 \text{ кпк} < R < 14 \text{ кпс}$, $140^\circ < \theta < 220^\circ$, та $Z = 0 \text{ кпк}$ отримано оцінки кінематичних параметрів моделі O-M з використанням 19 млн. зорь створеної вибірки.
5. Вперше, використовуючи підвибірку центроїдів тих сферичних областей, в яких величина кінематичного параметра M^+_{II} виявилася незначущою, тобто обчислене значення параметра M^+_{II} не перевищувало подвоєного значення похибки його визначення, було побудовано розподіл таких центроїдів в Галактичній площині.
6. Вперше реалізовано, запропонований автором спосіб відбору центроїдів сферичних областей, які мають $M^+_{II} \approx 0$ і належать до конкретного спірального рукава. Це знімає, завжди існуючу у класичних методах при використанні діаграми “позиційний кут — логарифм відстані”, проблему приналежності трасерів до лінійної залежності $\ln R = k\varphi + b$.

7. Отримано оцінки параметрів спіральних рукавів Галактики з використанням запропонованого методу. Отримані оцінки параметрів показують добру узгодженість з результатами, отриманими іншими авторами та значно більш високу точність їх визначення. На їх основі, шляхом екстраполяції за межі наявних даних, побудовано спіральну схему, на яку накладено сегменти галактичних рукавів Scutum-Centaurus, Sagittarius-Carina, Perseus, Norma-Outer, а також локального рукава Orion.
8. Виконано тестування запропонованого методу шляхом порівняння результатів із результатами, отриманими динамічним методом та шляхом співставлення морфологічних особливостей макетної Галактики із координатами центроїдів таких її сферичних областей, для яких виконується умова $\partial V_R / \partial R = M^+_{11} \approx 0$.

Ключові слова: кінематика зірок, галактика, спіральні рукави галактики, фотометрія, Gaia, , астрономічні симуляції.