

## Відгук

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Васильківського Євгена Володимировича

### «Великомасштабний розподіл іонізованого вуглецю в Галактиці»,

поданої на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук

за спеціальністю 01.03.02 – Астрофізика, радіоастрономія,

10 – Природничі науки; 104 – Фізика та астрономія

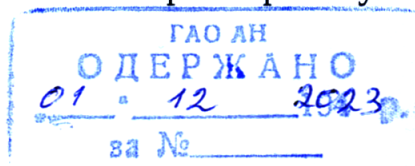
Дисертаційна робота Васильківського Є.В. присвячена дослідженню великомасштабного розподілу вуглецю в Галактиці по радіоспостереженням на низьких частотах. Автор провів обробку значного обсягу спостережних даних, велика частина яких була отримана за його безпосередньої участі на радіотелескопі УТР-2. Низькочастотні рекомбінаційні радіолінії іонізованого вуглецю є ефективним способом діагностики міжзоряного середовища Галактики. Дослідження в низькочастотному радіодіапазоні, як окремих об'єктів, так і оглядові проекти надають нові знання в фізиці міжзоряного середовища, так і еволюції Галактики в цілому.

Вибрана тема роботи є *актуальною і сучасною*. Україна є оператором найбільшого радіотелескопа в декаметровому діапазоні. Вирішені українськими вченими задачі назавжди увійшли до скарбниці світової науки. Розвиток технологій сприяв покращенню спектральної роздільної здатності, можливостям накопичення спостережних даних так і загалом зростанню співвідношенню сигнал/шум на апаратурі УТР-2. *Актуальність роботи* якраз і визначається необхідністю продовження експлуатації унікального спостережного комплексу. Дисертант показав значні успіхи в освоєнні як методик ведення спостережень так і обробки отриманих даних.

Дисертація складається із Вступу та п'яти розділів, Висновків, Списку літератури, що містить 160 джерел (займає 18 сторінок) і додатку – списку публікацій здобувача за темою дисертації. Обсяг основної частини дисертації – 222 сторінки, текст містить 66 рисунків та 8 таблиць. Робота виконана у відділі декаметрової радіоастрономії Радіоастрономічного інституту НАН України. Результати дисертаційної роботи опубліковано в 7 статтях у реферованих фахових журналах, 2 публікації у інших виданнях та 17 тез та матеріалів міжнародних конференцій, що не містять академічного плагіату.

У **Вступі** наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми дисертації. Сформульовано мету дослідження і конкретні задачі. Вказано на новизну, достовірність та практичне значення одержаних результатів. Наведено публікації, конференції, де оприлюднювались результати представлені в дисертації. Вказано на зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виділено особистий внесок здобувача.

**Перший** розділ дисертації є фактично оглядовим. Де автор розглянув фізичні механізми формування низькочастотних рекомбінаційних радіоліній вуглецю в розрідженому середовищі Галактики. Автор звертає увагу на



генетичну спорідненість областей СІІ з хмарами НІ, це дозволяє припустити, що низькочастотні радіолінії вуглецю також розповсюджені в Галактиці.

**Другий** розділ присвячений опису інструментів, засобів та методів радіоспектроскопічних спостережень на радіотелескопі УТР-2. Вказується, що радіотелескоп УТР-2, що має значну ефективну площу та чутливість найкращим чином підходить для досліджень низькочастотних рекомбінаційних радіоліній. Проведені технічні удосконалення, введення в дію багатоканальних, багаторозрядних цифрових радіоспектроаналізаторів, дозволило розширити як спектральний діапазон, динамічний діапазон, так і покращити загалом чутливість. Зміни в приймальній апаратурі потребують удосконалення методів обробки даних, чим і займався дисертант, проводивши також і розробку необхідного програмного забезпечення, все це дозволило покращити характеристики всього спостережного комплексу.

**Третій** розділ присвячено результатам спостережень низькочастотних рекомбінаційних радіоліній вуглецю на радіотелескопі УТР-2 за допомогою широкосмугових спектроаналізаторів та багатоканального цифрового корелометра у напрямку дискретних джерел. Усереднення великої серії ліній у межах смуги аналізу дозволяє отримувати вкрай високу чутливість вимірювань. При порівнянні спостережень з моделями було визначено значення електронної температури та густини, а також розміри областей СІІ. Порівняння отриманих результатів досліджень низькочастотних радіоліній із даними в лінії НІ дозволило підтвердити висновок про те, що області СІІ, відповідальні за формування спостережуваних рекомбінаційних радіоліній ймовірно асоційовані з хмарами НІ.

У **четвертому** розділі розглянуто методи діагностики міжзоряного середовища за допомогою спостережень рекомбінаційних радіоліній вуглецю. Показана актуальність оглядових великомасштабних досліджень іонізованого вуглецю в Галактиці. Оглядові дослідження дозволять оцінити великомасштабний розподіл газу в різних ділянках галактичного міжзоряного середовища, визначити характерні розміри та параметри областей СІІ. Були проведені чисельні оцінки необхідних режимів та тривалості спостережень на радіотелескопі УТР-2 для виявлення необхідних параметрів міжзоряного середовища. Також розглянуті питання усунення завад та врахування впливу континууму.

**П'ятий** розділ присвячений результатам великомасштабних оглядових спостережень низькочастотних радіоліній вуглецю в Галактиці. Була запропонована методологія оглядових радіоспектроскопічних спостережень на радіотелескопі УТР-2 шляхом сканування небесної сфери нерухомою діаграмою направленості, що разом з використанням високочутливих цифрових спектроаналізаторів дозволило отримати нові наукові результати, наприклад виявити низькочастотні рекомбінаційні радіолінії за межами галактичної площини. Показано, що розподіл іонізованого вуглецю СІІ співпадає з розподілом атомарного газу в лінії нейтрального гідрогену НІ.

У **Висновках** наведено основні результати роботи, які становлять новизну роботи:

1. Розроблено високочутливу методологію радіоспектроскопії міжзоряного середовища на основі спостережень УТР-2.
2. Вперше зареєстровано рекомбінаційні радіолінії вуглецю на декаметрових хвилях у значній частині галактичного простору, як поблизу галактичної площини, так і за її межами.
3. Знайдено кореляцію між параметрами ліній (інтенсивність, ширина, радіальна швидкість) вуглецю та нейтрального гідрогену HI.
4. Виявлена кореляція між параметрами ліній вуглецю та HI дала можливість однозначно встановити фізичні параметрів дифузних гідрогенних хмар в спіральних рукавах Галактики.
5. Проведено впровадження апаратури та нових методів пошуку і досліджень радіоліній, що підвищило чутливість та роздільну здатність. Були проведені довготривалі оглядові спостереження на радіотелескопі УТР-2.
6. Отримані результати довели актуальність проведення повних оглядів Галактики у низькочастотних радіолініях вуглецю, що може бути також корисно при залученні інших великих низькочастотних радіотелескопів.

Всі наведені в дисертації результати мають наукову новизну і практичну цінність, є важливим внеском у низькочастотну радіоастрономію.

Автореферат дисертації має обсяг 24 сторінки. Зміст автореферату повністю відображає зміст дисертації та її основним положенням. Дисертація та автореферат відповідають вимогам щодо оформлення відповідно до наказу МОН України від 12 січня 2017 року №40.

### **Зауваження до тексту та змісту дисертації.**

Дисертацію написана науковою мовою, містить незначну кількість граматичних помилок і неточностей, на деякі з них варто вказати:

- деяка термінологія є не зовсім загальноживаною в фізиці, наприклад, термін "Рясність" (зустрічається з с.2), може краще використовувати "поширеність", на с.31 "щільність атомів", краще "концентрація атомів";
- деякі наведені факти повторюються по тексту дисертації, як то "вкрай низька відносна інтенсивність (порядку  $10^{-3}$  –  $10^{-4}$ )", числа величина діаграми направленості радіотелескопа тощо;
- деякі підписи по осям графіків наведені англійською мовою, тоді як більшість українською;
- с.17, деякі скорочення наведені англійською, розшифровані українською, а деякі англійською, натомість є скорочення діаграми направленості (ДН), яке в списку скорочень не вказано, термін ELDWIM кілька разів по тексту розшифровується, є скорочення, що не пояснюються (наприклад PP);
- с.22, області з галактичними широтами від 5 градусів до 30, не завжди можна назвати "далекими за межами галактичної площини", радше вказати, що області за межами галактичної площини;
- с.47, підпис до рис. 1.5 переїхав на іншу сторінку;
- с.75, "безкінечності" краще "нескінченності";
- с.104, термін "викаженнями" мабуть краще "спотворення";
- с.108, деякі десяткові числа пишуться через кому, деякі через крапку.

- При ознайомленні з роботою виникли деякі питання, наприклад:
- не зовсім зрозуміло, як будувалась модель завад для подальшого врахування (рис. 2.10);
  - при інтерполяції сплайнами континууму (с.79) брався поліном високого степеня, не зрозуміло критерій обрання значення показника степеня;
  - на с.84 не зрозуміло "16 байтів типу DWORD (по 4 біти типу int)", що значить тут "по 4 біти типу int";
  - в розділі 2 проводиться порівняння рівня завад в різні роки, але наведено спектри отримані лише впродовж двох днів в різний місцевий час. Автор вірно вказує, що потрібні більш довготривалі спостереження для точного висновку щодо зміни рівня завад.

**Ці зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи, не применшують її наукової і практичної цінності.**

Таким чином, дисертаційна робота «Великомасштабний розподіл іонізованого вуглецю в Галактиці» задовольняє вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. No 567, а її автор – *Васильківський Євген Володимирович* – заслуговує на присвоєння йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.03.02 – Астрофізика, радіоастрономія.

Доцент кафедри астрономії та фізики космосу  
фізичного факультету Київського  
національного університету імені Тараса Шевченка  
кандидат фізико-математичних наук, доцент

Решетник В.М.

Підпис доц. Решетника В.М.

Декан фізичного факультету  
професор



Макарець М.В.