

## ВІДГУК

### офіційного опонента

на дисертацію Васильківського Євгена Володимировича

“ Великомасштабний розподіл іонізованого вуглецю в Галактиці ”,

подану до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.03.02 – астрофізика, радіоастрономія

10 — Природничі науки, 104 — Фізика та астрономія

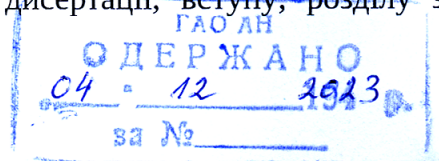
Спектральні дослідження газопилової компоненти Галактики є важливими для розуміння фізичних, хімічних та кінематичних властивостей міжзоряних хмар, а також поля випромінювання, в якому вони перебувають. Особливий інтерес викликає спектроскопія у декаметровому діапазоні довжин хвиль, як найменш досліджена інструментальними засобами, але не менш важлива для відтворення фізичних умов та взаємозв'язків між різними складовими Галактики. Використання у таких дослідженнях вітчизняних радіотелескопів декаметрового діапазону довжин хвиль, які є одними з найбільших і найчутливіших у світі, робить українських вчених лідерами у цій галузі. Дисертаційна робота Євгена Васильківського присвячена вивченню розподілу іонізованого вуглецю в Галактиці шляхом спостережень його низькочастотних (20--30 МГц) рекомбінаційних ліній за допомогою телескопа УТР-2 та широкосмугових багатоканальних спектроаналізаторів DSP-Z у якості реєстраторів. Вважаю, що тема дисертаційного дослідження є актуальною, методи і засоби досліджень є сучасними.

Дисертаційна робота виконана у відділі декаметрової астрономії Радіоастрономічного інституту НАН України та тісно пов'язана з дев'ятьма науководослідними проектами 2016–2023 рр. У восьми проектах здобувач був відповідальним виконавцем, в одній — науковим керівником.

Метою дисертаційної роботи Є. Васильківського було вивчення розподілу іонізованого вуглецю за даними спостережень рекомбінаційних ліній декаметрового діапазону довжин хвиль у різних ділянках нашої Галактики за допомогою радіотелескопа УТР-2 НАН України. Для її досягнення пошукувач разом з колегами розробив методологію високочутливих спостережень за допомогою радіотелескопа УТР-2 з цифровим спектроаналізатором DSP-Z, здійснив огляд значної частини Галактики в низькочастотних рекомбінаційних лініях вуглецю, розробив методики визначення координат спостережуваних ділянок неба, усунення завад та багатоступеневої обробки даних, визначив фізичні характеристики зареєстрованих рекомбінаційних радіоліній та провів астрофізичний аналіз умов, за яких ці лінії виникають. Таким чином, робота є цілісним завершеним дослідженням, яке дає нові знання про міжзоряне середовище Галактики, разом з тим відкриває нові перспективи досліджень на вітчизняних радіотелескопах декаметрового діапазону довжин хвиль.

Основні результати роботи викладені у 9 статтях та 17 тезах доповідей на міжнародних конференціях та не містять академічного плагіату.

Дисертаційна робота Євгена Васильківського складається з анотації українською та англійською мовами, списку публікацій за темою дисертації, вступу, розділу з



оглядом літератури за темою дисертації, чотирьох оригінальних розділів з викладом результатів, списку із 160 використаних джерел та додатку. Загальний об'єм дисертації складає 222 сторінок, містить 66 рисунків та 8 таблиць. Висновки зроблені до кожного розділу та загальні висновки дисертаційної роботи, у яких наведено основні результати, що складають наукову новизну та винесені на захист.

**Перший розділ** присвячений літературному огляду досліджень дифузного міжзоряного середовища за допомогою низькочастотних рекомбінаційних ліній вуглецю, описано фізичні механізми їх формування в міжзоряному середовищі Галактики, наведено історію відкриття і спостережень цих ліній, основні результати оглядів неба у них, обґрунтовується важливість таких спостережень для подальшого вивчення фізичних, хімічних та кінематичних характеристик міжзоряного газу.

У **другому розділі** наведено опис радіотелескопа УТР-2, його приймальної апаратури, зокрема, цифрових автокореляторів та спектроаналізаторів DSP-Z, програмного забезпечення та методології проведення високочутливих спектроскопічних спостережень у декаметровому діапазоні довжин хвиль. У розділі відзначено, що ключовими складовими методів низькочастотної радіоспектроскопії високої чутливості є усунення завад природного і штучного походження.

У **третьому розділі** представлено результати досліджень низькочастотних рекомбінаційних ліній С II декаметрового діапазону довжин хвиль у напрямках дискретних радіоджерел — Cas A, S140 та GSH 139-03-69. Для напрямків двох останніх джерел дисертант порівняв характеристики рекомбінаційних ліній С II, отриманих за допомогою радіотелескопа УТР-2, з характеристиками лінії надтонкої структури Н I 21 см, отриманих в огляді LAB. З факту подібності профілів цих ліній автор робить висновок про формування низькочастотних рекомбінаційних ліній С II в областях, асоційованих із хмарами нейтрального водню Н I, що можна вважати ще одним спостережним підтвердженням загальноприйнятої моделі областей С II.

**Четвертий розділ** присвячено опису методів діагностики міжзоряного середовища шляхом спостережень в рекомбінаційних лініях С II декаметрового діапазону довжин хвиль та висвітленню астрофізичних задач, що можуть бути вирішені на основі повного огляду неба в них. Обґрунтовано стратегію такого огляду, розраховано необхідні параметри експериментів та запропоновано алгоритм його реалізації.

У **п'ятому розділі** представлено опис основних результатів спостережень в рекомбінаційних лініях С II декаметрового діапазону довжин хвиль, виконаних за допомогою радіотелескопа УТР-2 у рамках виконання повного огляду неба. Вони були зареєстровані як в межах площини Галактики, так і далеко за її межами на галактичних висотах  $\sim 30^\circ$ . Описано дослідження просторового зв'язку зареєстрованих областей з низькочастотними лініями С II з областями в лініях надтонкої структури Н I з огляду LAB. Наведено результати аналізу фізичних умов в областях С II на основі спостережуваних інтегральних інтенсивностей ліній та метод визначення параметрів середовища в областях формування радіоліній С II та лінії Н I 21 см.

У дисертаційній роботі автор використовував найбільший і найчутливіший у світі радіотелескоп декаметрових довжин хвиль УТР-2 НАН України, створений двома поколіннями вчених, внесений до реєстру об'єктів науки, що становлять національне надбання України, зруйнований російськими військами у перші місяці неспровокованої агресії росії проти України. Дисертант з увагою до важливих деталей описав його будову, режими роботи, приймальну апаратуру, що, безумовно, буде корисним при відновленні його роботи і вселяє віру в те, що покоління дисертанта швидко з цим справиться. У проведенні спостережень та інтерпретації даних Євген Васильківський використав багаторічні напрацювання наукової школи Радіоастрономічного інституту НАН України, збагативши їх своїми дослідженнями. Достовірність отриманих результатів підтверджується публікаціями статей у 7 фахових реферованих виданнях, у 2 в інших виданнях та доповідями на 17 наукових конференціях, і не викликає сумнівів. Особистий внесок дисертанта у спільних публікаціях є значним.

Всі результати, представлені в дисертації, отримані вперше, мають наукову новизну та практичну цінність, розвивають методи спектроскопічних досліджень міжзоряного середовища у декаметровому діапазоні довжин хвиль.

Автореферат повністю відображає зміст дисертації.

Зауваження до змісту роботи та її оформлення:

1. Прочитавши дисертацію можна зробити висновок, що найінтенсивнішими лініями поглинання у декаметровому діапазоні довжин хвиль є лінії С II. Варто було б обговорити існування чи відсутність ліній інших елементів у діапазоні частот 20-30 МГц, які можуть давати вклад в зареєстровані сигнали.
2. На рисунках 3.2, 3.3, 3.5 наведені спостережувані спектри серії радіоліній вуглецю. На цих рисунках є й емісійні лінії, вони є і на усереднених спектрах (рис. 3.6 – 3.8, 3.11–3.15). Тому складається враження, що це реальні лінії, а не шуми у спектрі. Хотілося б, щоб це було обговорено у дисертації.
3. Зареєстровані лінії поглинання, які сформовані переходами між високими енергетичними рівнями атомів С I (наприклад, С627 $\alpha$  – С637 $\alpha$ ), автори називають рекомбінаційними лініями С II, очевидно, вважаючи домінуючим механізмом заселення цих рівнів шляхом рекомбінації вільних електронів на іони С II. Якщо це так, то неминуче повинні спостерігатися і емісійні лінії в каскадних переходах під час рекомбінації (попередній пункт зауважень). Чи не варто і їх враховувати в інтерпретації отриманих спостережень?
4. На усереднених спектрах розділів 3 і 5 відсутні смужки помилок (error bars), визначення яких є важливою складовою досліджень, оснований на астрономічних спостереженнях.
5. У тексті трапляються невдалі переклади: зорь, замість зір; рясність, замість вмісту; близзенітної, замість навколо зенітної, сувора, замість строга, зрушення, замість зміщення, і т.п.

Зроблені зауваження, однак, не впливають на загальне позитивне враження і не зменшують наукової цінності роботи.

Оцінюючи роботу в цілому, вважаю, що дисертація Є.В. Васильківського «Великомасштабний розподіл іонізованого вуглецю в Галактиці» є завершеним науковим дослідженням, виконаним на високому науковому рівні, повністю відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. No 567, а її автор, Євген Володимирович Васильківський, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.03.02 – астрофізика, радіоастрономія, 10 — Природничі науки, 104 — Фізика та астрономія.

Офіційний опонент

головний науковий співробітник

Львівського національного університету імені Івана Франка,

доктор фізико-математичних наук, професор,

член-кореспондент НАН України

Богдан НОВОСЯДЛИЙ

Підпис Новосядлого Б.С. ЗАСВІДЧУЮ:

Проректор з наукової роботи Львівського

національного університету імені Івана Франка,

доктор хімічних наук, професор,

академік НАН України



Роман ГЛАДИШЕВСЬКИЙ