

А. І. Атамась,  
І. С. Чернецький,  
В. В. Василенко

## РАДІОАСТРОНОМІЧНИЙ АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС МОНІТОРИНГУ МЕТЕОРІВ ДЛЯ STEM-ЦЕНТРУ МАЛОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

**Анотація.** Обґрунтовано перспективність розвитку напрямку радіоастрономії для віртуального STEM-центру Малої академії наук України. Цей напрям відповідає сучасній концепції STEM, оскільки має яскраво виражені трансдисциплінарні зв'язки з природничими науками, інжинірингом, технологіями та математикою. Для повноцінного існування та розвитку напрямку радіоастрономії у STEM-освіті необхідна потужна практична частина, реалізація якої передбачає наявність певного обладнання. Одним із напрямів радіоастрономії, що не потребує складного та дорогого обладнання, є спостереження метеорних явищ із використанням прямого розсіювання на іонізованих слідах метеорів сигналів загоризонтних FM-станцій радіомовлення в діапазоні 87,5 ...108 МГц. Розроблено, створено та випробувано радіоастрономічний апаратний комплекс моніторингу метеорів, що складається з приймальної спрямованої антени, радіочастотного підсилювача з регульованим інжектором живлення, SDR-приймача RTL2832U + R820T2 та комп'ютера з необхідним програмним забезпеченням. Під час випробувань комплексу було зареєстровано декілька метеорних явищ синхронно з їх візуальними спостереженнями, що свідчить про його коректне функціонування. Створений радіоастрономічний комплекс сприяє розширенню можливостей навчальних астрономічних спостережень, роблячи їх доступними в будь-який час доби. Використання SDR-технології дає змогу працювати з комплексом віддалено. Практичні заняття з апаратним комплексом допомагають розвитку низки компетенцій, пов'язаних із природничими науками, технікою радіоприйому, роботою з програмним забезпеченням, підбором та налаштуванням обладнання, математичним моделюванням та обробкою результатів експериментів. Радіокомплекси, засновані на SDR-технологіях, можливо створювати і використовувати також для інших спостережень, наприклад дослідження радіовипромінювання Юпітера, дослідження проходження радіохвиль залежно від стану іоносфери та сонячної активності, спостереження штучних супутників Землі, що може бути покладено в основу подальшого розвитку напрямку радіоастрономії у STEM-освіті.

**Ключові слова:** радіоастрономія, STEM, метеори, метод прямого розсіювання, антена, SDR-технології.

**Постановка проблеми.** Астрономія є однією з найдавніших наук. Відтоді, як на Землі з'явилися перші люди, і до сьогодні їх цікавить те, що відбувається за межами нашої планети. У середніх навчальних закладах курс астрономії завершує фізичну освіту, формуючи в учнів наукові уявлення про будову та розвиток Всесвіту та повну фізичну картину світу. Завданням

учителя під час викладання астрономії, як і під час викладання інших наук, є зацікавлення учнів предметом. На думку авторів робіт [1; 2], збільшити рівень зацікавленості у вивченні астрономії можливо шляхом застосування елементів STEM-освіти, або STEM-проектів. Автори пропонують виконувати учням такі практичні завдання, як побудова просторової карти сузір'я, та використовувати під час занять наочні моделі різних об'єктів.

© Атамась А. І., Чернецький І. С., Василенко В. В.

Цікаві STEM-проекти з астрономії представлені на ресурсах [3; 4]. На ресурсі [3] STEM-проекти з астрономії розподілені за напрямками: небесна механіка, астрофізика, космологія, космохімія та космобіологія. Досить велика кількість проектів на ресурсах [3; 4] не потребує для їх реалізації складного наукового обладнання та може виконуватися самостійно.

Цікавим напрямом астрономії є радіоастрономія, що займається вивченням космічних об'єктів шляхом дослідження їхнього електромагнітного випромінювання в діапазоні радіохвиль. Цей напрям не лише охоплює питання астрономії, а й має зв'язок з теорією електромагнітних хвиль, принципами радіозв'язку, теорією антен тощо. Отож розвиток напрямку радіоастрономії у STEM-освіті є актуальним. Розглянемо напрям радіоастрономії в площині концепції STEM-освіти (рис. 1).

Радіоастрономія безпосередньо стосується астрономії та фізики. Практичні заняття з радіоастрономії сприяють розвитку компетенцій, пов'язаних з технікою радіоприйому, роботою зі спеціалізованим програмним забезпеченням, математичною обробкою результатів спостережень. Також напрям радіоастрономії може передбачати роботи з проектування та навіть

створення різноманітних засобів спостережень або їх окремих елементів. Такі роботи розвивають компетенції, пов'язані з теорією антенно-фідерних пристроїв, розрахунком та моделюванням антен, підбором обладнання та математичним моделюванням фізичних процесів.

Отже, напрям радіоастрономії відповідає сучасній концепції STEM, оскільки має яскраво виражені трансдисциплінарні зв'язки з природничими науками, інжинірингом, технологіями та математикою.

Для повноцінного існування й розвитку напрямку радіоастрономії у STEM-освіті необхідна потужна практична частина, реалізація якої, у свою чергу, передбачає наявність певного обладнання.

Одним із напрямів радіоастрономії, який не потребує складного та дорогого обладнання, є спостереження метеорних явищ з використанням прямого розсіяння на іонізованих слідах метеорів сигналів загоризонтних FM-станцій радіомовлення в діапазоні 87,5 ... 108 МГц [5].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Метод спостереження метеорних явищ з використанням сигналів загоризонтних радіостанцій полягає в наступному. Метеори під час згоряння,

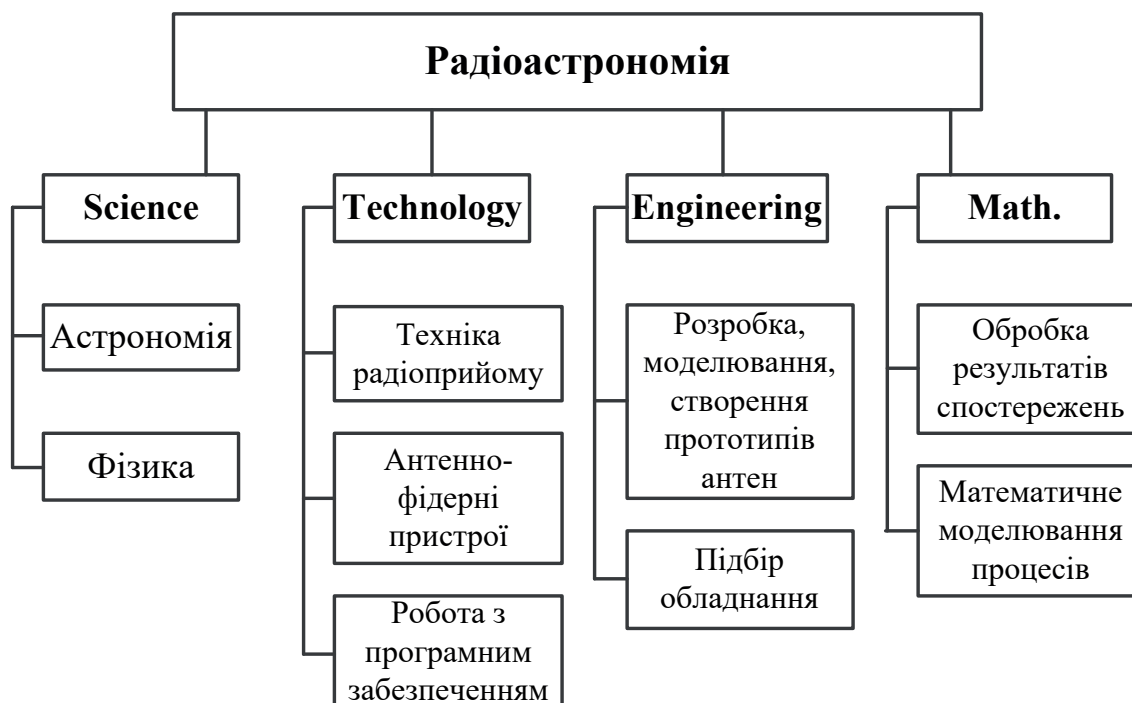


Рис. 1. Напрямок радіоастрономії у площині концепції STEM

що відбувається на висоті 80...110 км, утворюють слід з іонізованого повітря, який може відбивати електромагнітні хвилі. Якщо радіостанція, що працює в діапазоні коротких (КХ) або ультракоротких хвиль (УКХ), знаходиться нижче горизонту, то сигнал від неї за нормальних умов прийняти практично неможливо, оскільки антена приймача знаходиться у зоні радіомовчання. Коли між антенами радіостанції та приймача пролітає метеор, радіосигнал відбивається від його сліду і може бути прийнятий радіоприймачем, налаштованим на частоту радіостанції (рис. 2). При цьому в динаміку радіоприймача можна почути фрагмент музично-мовленнєвого повідомлення.

Описаний метод дає можливість реєструвати метеори як уночі, так і вдень. Крім того, такий метод має досить високу чутливість і дає змогу реєструвати навіть мікрометеори, які неможливо зареєструвати візуально вночі [5].

Для реалізації спостережень необхідно, щоб відстань між передавачем та приймачем була в межах 500...2000 км, а потужність передавача — не менше ніж 30 кВт [6]. Частота передавача і, відповідно, приймача має знаходитися в межах 30...150 МГц [7]. Залежно від завдань, умов та можливостей під час радіомоніторингу

метеорів можуть застосовуватися різні антени — від одиничного диполя [5] до восьми-елементної антени типу «хвильовий канал» [8]. Антени можуть мати різну поляризацію. В роботі [9] запропонована трьохелементна спрямована антена вертикальної поляризації. Антена складається з трьох елементів довжиною близько  $\frac{3}{4}$  довжини хвилі, а її конструкція є компактною та такою, що дає змогу її швидко розгортати на місці спостережень. Крім того, антена добре узгоджується зі стандартними фідерами хвильовим опором як 50, так і 75 Ом та не потребує симетризації. У роботі [10] запропоновано використання перехресної дипольної антени, яка складається з двох елементів, розташованих перпендикулярно. Це дає змогу отримувати одночасно два сигнали і компенсувати фоновий радіошум. Недоліком такої антени є низький рівень власного підсилення. Аналіз інформаційних джерел показує, що найбільш поширеним типом антен для радіомоніторингу метеорів є антени типу «хвильовий канал» горизонтальної поляризації з кількістю елементів від 3 до 8 [5; 6; 7; 8; 11; 12]. Для реєстрації та запису сигналів можуть використовуватися як звичайні УКХ-радіоприймачі [5; 7; 13], так і SDR-приймачі [5; 8; 10; 11]. Система Software-defined radio (SDR)

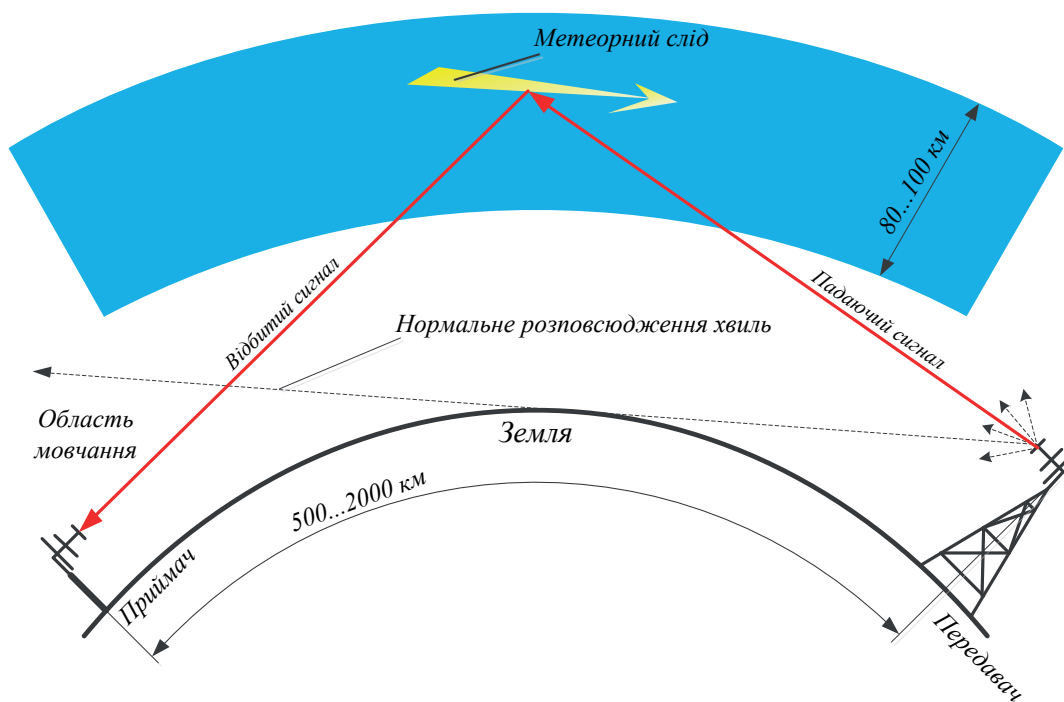


Рис. 2. Принцип радіомоніторингу метеорних явищ

використовує технологію, що дає можливість за допомогою програмного забезпечення встановлювати та змінювати радіочастотні параметри, зокрема діапазон частот і тип модуляції. Вона дає змогу безперервно реєструвати та записувати радіочастотний спектр в окресленому діапазоні, а також реєструвати та розшифровувати сигнали Radio Data System (RDS) радіостанцій, що уможливорює ідентифікацію джерела радіосигналу. Звичайні УКХ-приймачі є значно менш точними та інформативними у порівнянні з SDR-приймачами. Крім того, SDR-приймачі останнім часом стають все більш доступними як за наявністю, так і за вартістю, а програмне забезпечення для роботи з ними — безкоштовне та вільно розповсюджене.

**Метою роботи** є розробка та випробування радіоастрономічного апаратного комплексу для спостереження метеорних явищ з використанням прямого розсіяння на іонізованих слідах метеорів сигналів загоризонтних FM-станцій радіомовлення.

**Виклад основного матеріалу.** На підставі аналізу літературних джерел для створюваного

апаратного комплексу було обрано п'ятиелементну антену типу «хвильовий канал». Попередній розрахунок розмірів та розміщення елементів здійснювалися вручну, а подальша оптимізація — у моделюючому комп'ютерному середовищі MMANA-GAL. Основним критерієм під час оптимізації був мінімальний коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ) у всьому FM-діапазоні (87,5...108 МГц).

На рис. 3 зображено креслення антени з розмірами, а на рис. 4 — модель антени у програмі MMANA-GAL з епюрами радіочастотних струмів.

Горизонтальне розміщення активного вібратора покращує спрямованість антени, а також, разом з близьким розміщенням першого директора до нього, — розширює частотний діапазон.

На рис. 5 представлений графік залежності КСХ від частоти.

З графіка на рис. 5 видно, що в більшій частині FM-діапазону КСХ антени знаходиться в межах 1,5 та не перевищує 1,75 у всьому діапазоні.

Коефіцієнт підсилення антени при висоті 11 м над землею знаходиться в межах

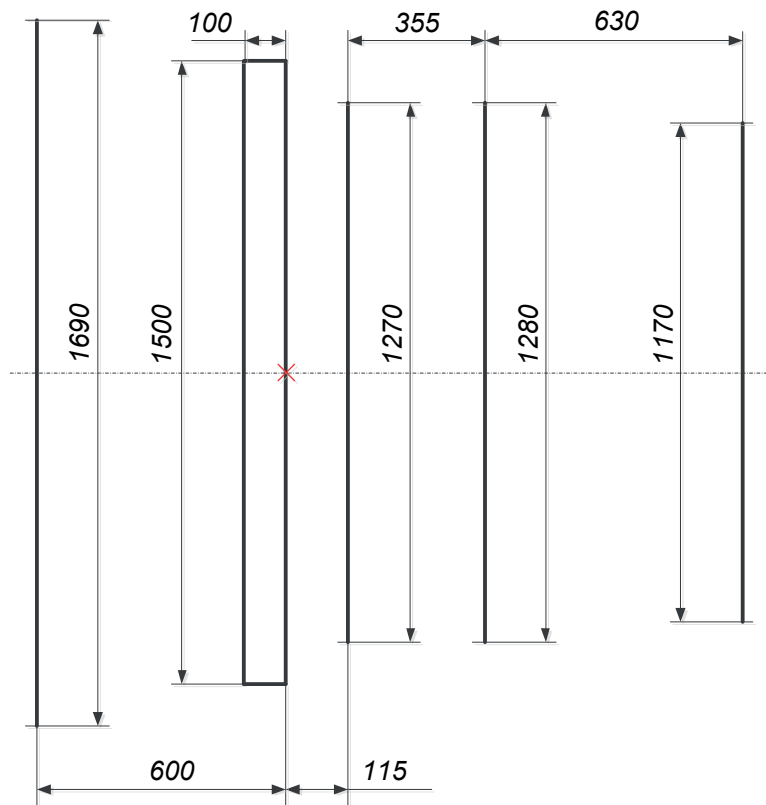


Рис. 3. Креслення антени

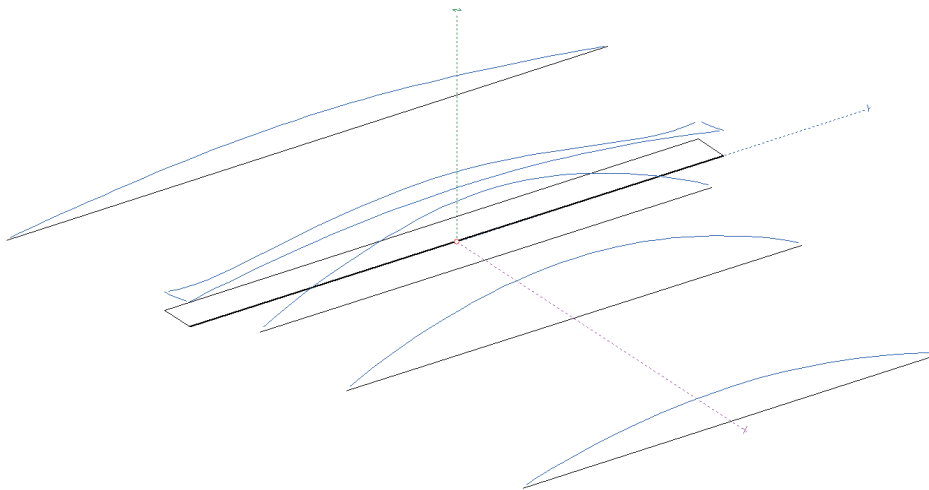


Рис. 4. Модель антени у середовищі MMANA-GAL

13...15 dBi, а співвідношення фронтального випромінювання до тилового (F/B) — в межах 13,8...15,7 dB.

На рис. 6 представлена загальна схема комплексу.

1 — антена; 2 — корпус узгоджувального пристрою або підсилювача;

3 — інжектор живлення; 4 — блок живлення; 5 — SDR-приймач; 6 — ПК.

Для узгодження антени зі стандартним коаксіальним кабелем з хвильовим опором 75 Ом може використовуватися стандартна узгоджувальна плата з широкосмуговим трансформатором типу SWA-69. У разі необхідності підсилення сигналу замість узгоджувальної плати до корпусу встановлюється підсилювач SWA-6000, живлення на який подається від SDR-приймача або від окремого інжектора з регульованим блоком живлення.

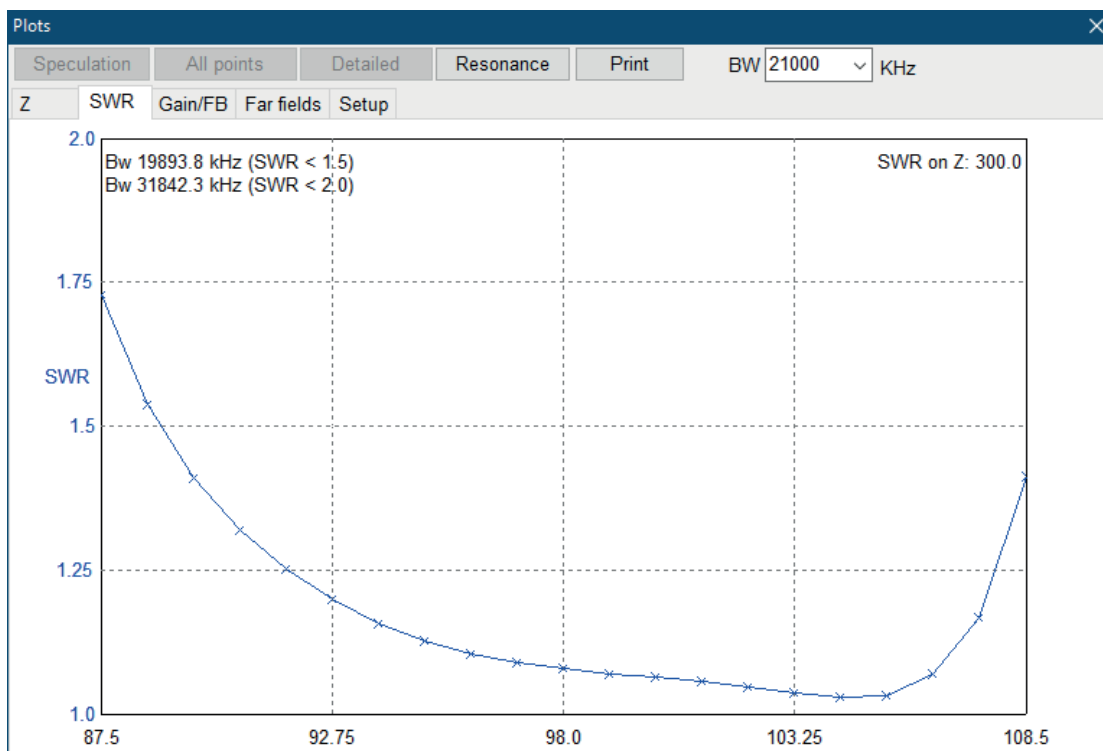


Рис. 5. Графік залежності КСХ антени від частоти

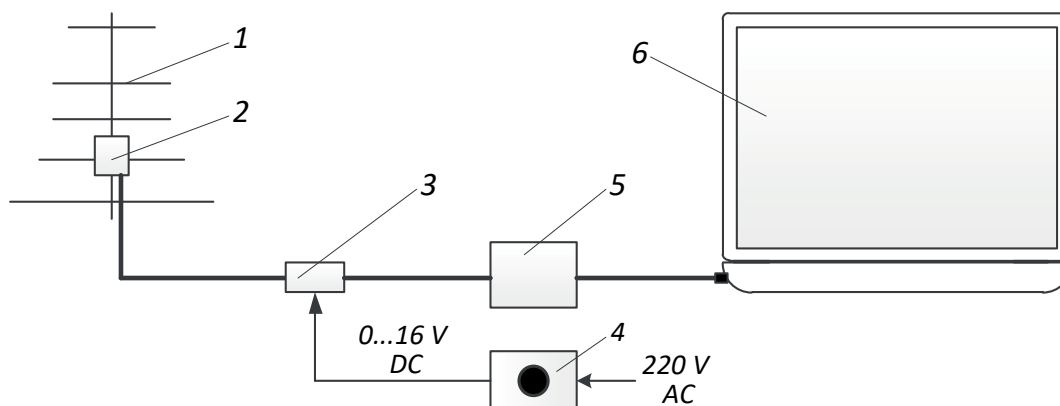


Рис. 6. Загальна схема радіоастрономічного комплексу

Для реєстрації сигналу з антени було обрано SDR-приймач RTL2832U + R820T2. На етапі випробувань комплексу для роботи з SDR-приймачем використовувалася програма SDRSharp.

Випробування комплексу проводилися в м. Світловодську Кіровоградської області 26 та 27 серпня 2023 р. Перед випробуваннями за допомогою ресурсу [14] були обрані три загоризонтні FM-радіостанції, дві в Польщі та одна в Туреччині (табл. 1).

У перший день випробувань антена спрямовувалася в напрямку Світловодськ — Кельце — Вроцлав, у другий день — в напрямку Світловодськ — Карс. На рис. 7 представлені приклади реєстрації метеорних явищ у вигляді фрагментів вікна програми SDRSharp.

Під час роботи в напрямку Світловодськ — Кельце — Вроцлав неодноразово реєструвалися метеорні явища на частотах 88,2 та 88,9 МГц одночасно. Робота в напрямку Світловодськ — Карс відбувалася здебільшого в темний час доби, і на частоті 89,5 МГц було зареєстровано декілька метеорних явищ синхронно з їх візуальними спостереженнями, що свідчить про коректне функціонування створеного радіометеорологічного комплексу.

Подібні апаратні комплекси, основним елементом яких є SDR-приймач, можуть створюватися і використовуватися також для інших напрямів радіоастрономії, наприклад дослідження радіовипромінювання Юпітера, дослідження проходження радіохвиль залежно від стану іоносфери та сонячної активності, спостереження штучних супутників Землі тощо. Оскільки SDR-приймач керується від ПК, з'являється можливість створення віддалених точок спостережень, доступ до яких учні можуть отримувати дистанційно. Дистанційний доступ може здійснюватися як за допомогою програм загального користування, таких як AnyDesk або TeamViewer, так і за допомогою програми SDRSharp, яка дає змогу створювати віддалені SDR-сервери.

Радіоастрономічний апаратний комплекс та подібні до нього комплекси, які можуть розроблятися та створюватися для інших напрямів радіоастрономії, мають значний дидактичний потенціал та можуть забезпечити потужну практичну частину для існування й розвитку напряму радіоастрономії у віртуальному STEM-центрі Малої академії наук України.

Таблиця 1

## Дані віддалених радіостанцій

№	Країна	Місто	Частота, МГц	Потужність передавача, кВт	Відстань до точки спостережень, км
1	Польща	Кельце	88,2	120	925
2	Польща	Вроцлав	88,9	120	1180
3	Туреччина	Карс	89,5	72	1215

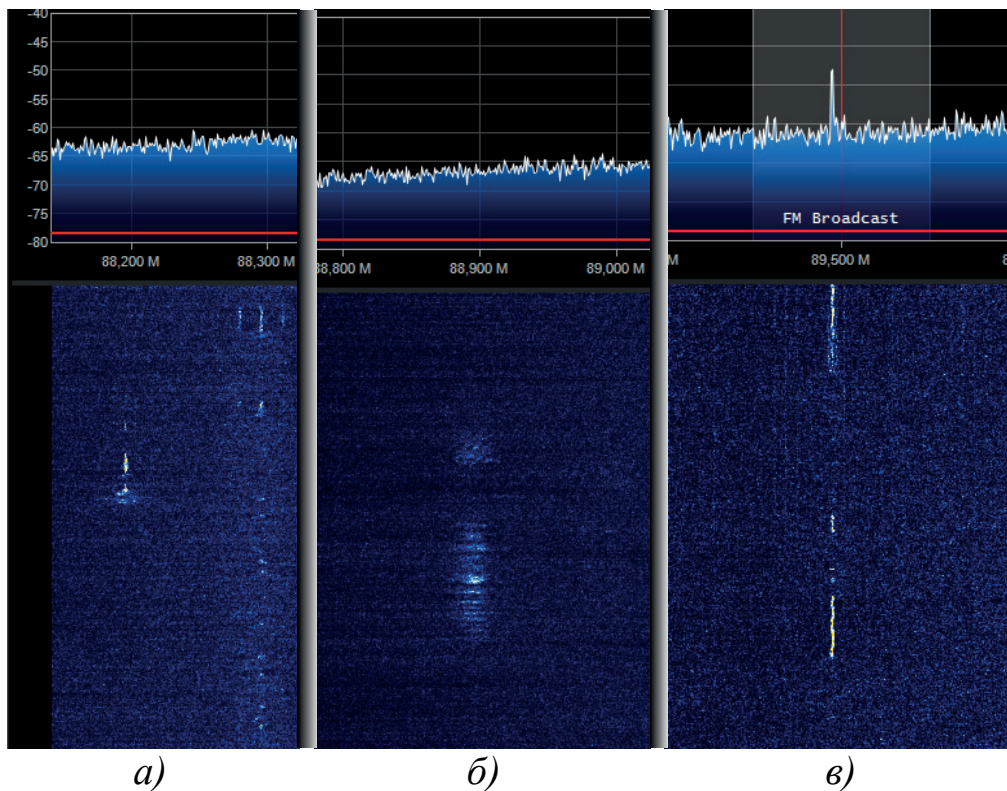


Рис. 7. Приклади зареєстрованих метеорних явищ на частотах:  
а) 88,2 МГц; б) 88,9 МГц; в) 89,5 МГц

**Висновки.** Напря́м радіоастрономії відповідає сучасній концепції STEM та є перспективним для віртуального STEM-центру Малої академії наук України, оскільки виявляє яскраво виражені зв'язки з природничими науками, інжинірингом, технологіями та математикою. Розроблений та успішно випробуваний радіоастрономічний апаратний комплекс моніторингу метеорів має значний дидактичний потенціал, адже дає змогу розширити можливості астрономічних спостережень, роблячи їх доступними в будь-який час доби з віддаленого робочого місця. Практичні заняття з апаратним комплексом сприяють розвитку низки компетенцій, пов'язаних із природничими науками, технікою радіоприйому, роботою з програмним забезпеченням, підбором та налаштуванням обладнання, математичним моделюванням та обробкою результатів експериментів. Радіокомплекси, засновані на SDR-технологіях, можливо створювати і використовувати також для інших спостережень, що може бути покладено в основу подальшого розвитку напряму радіоастрономії.

#### Список використаних джерел

1. Мальченко С. Л., Іванова А. І. Вивчення зоряних сузір'їв з використанням елементів STEM-освіти. *Наукові записки Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка. Серія: Педагогічні науки.* 2019. Вип. 177 (1). С. 231–237.
2. Мальченко С. Л. Використання STEM-проектів для візуалізації навчального матеріалу з астрономії. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія Педагогічна.* 2021. № 27. С. 77–81. DOI: <https://doi.org/10.32626/2307-4507.2021-27.77-81>.
3. Віртуальний STEM-центр Малої академії наук України. URL: <https://stemua.science/> (дата звернення: 22.03.2024).
4. Science Buddies. URL: <https://www.sciencebuddies.org/> (дата звернення: 22.03.2024).
5. Meteor Echo Detection With Radios. URL: <https://www.meteorecho.com/p/blog-page.html> (дата звернення: 22.03.2024).
6. Abidin Z. Z. Radio meteor detection in Malaysia. *International Journal of Fundamental Physical Sciences.* 2011. Vol. 1. № 3. Pp. 53–56. DOI: <https://doi.org/10.14331/ijfps.2011.330013>.

7. International Meteor Organization. Practical Information. URL: <https://www.imo.net/observations/methods/radio-observation/practical/> (дата звернення: 23.03.2024).
8. Становлення та розвиток української мережі радіоспостережень метеорів / Ф. І. Бушуєв та ін. *Космічна наука і технологія*. 2021. Вип. 27. № 3. С. 85–92. DOI: <https://doi.org/10.15407/knit2021.03.085>.
9. Lesanu C., Done A., Cailean A., Graur A. Vertical polarized antennas for low-VHF radio meteor detection. *14th International Conference on Development and Application Systems (DAS)*. IEEE, May, 18. Suceava, Romania, 2018. Pp. 93–98. DOI: <https://doi.org/10.1109/DAAS.2018.8396078>.
10. SDR-based radar system for meteor detection / S. Chiwate et al. *2009 16th International Conference on Digital Signal Processing*. IEEE, July 09. Santorini, Greece, 2009. Pp. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICDSP.2009.5201236>.
11. Грудинін Б., Відьмаченко А. Організація роботи української метеорної спостережної мережі (УМСМ) на основі використання сигналів транслювальних FM-станцій. *Фізико-математична освіта*. 2023. Вип. 38. № 1. С. 14–19. DOI: <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-1-002>.
12. Radio observations and evaluation of the meteor showers between May 4 and August 25, 2012 / K. O. Çubuk et al. *Proceedings of the International Meteor Conference*. IMO, September 20–23, 2012. La Palma, Canary Islands, Spain, 2012. Pp. 1–3.
13. Radar Meteor Detection: Concept, Data Acquisition and Online Triggering / E. Leite et al. *Wave Propagation. InTech*. 2011. С. 537–552. DOI: <https://doi.org/10.5772/14149>.
14. FMSCAN — frequencies and transmitter maps for any place. URL: <https://fmscan.org/helpen.htm> (дата звернення: 15.11.2023).
1. Malchenko, S. L., & Ivanova, A. I. (2019). Vyvchennia zoriannykh suziriv z vykorystanniam elementiv STEM-osvity [Introduction of bright students using elements of STEM education]. *Naukovi zapysky Tsentralnoukrainskoho derzhavnogo pedahohichnogo universytetu imeni Volodymyra Vynnychenka. Serii: Pedahohichni nauky — Scientific notes of the Central Ukrainian State Pedagogical University named after Vladimir Vynnychenko. Series: Pedagogical sciences*, 177 (1), 231–237 [in Ukrainian].
2. Malchenko, S. L. (2021). Vykorystannia STEM-proiektiv dlia vizualizatsii navchalnogo materialu z astronomii [Using STEM projects to visualize educational material on astronomy]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho natsionalnogo universytetu imeni Ivana Ohienka. Serii: Pedahohichna — Collection of scientific works of Kamianets-Podilskyi National University named after Ivan Ohienko. Series Pedagogical*, 27, 77–81. DOI: <https://doi.org/10.32626/2307-4507.2021-27.77-81> [in Ukrainian].
3. Virtualnyi STEM-tsentri Maloi akademii nauk Ukrainy [Virtual STEM-center of the Junior Academy of Sciences of Ukraine]. *stemua.science*. Retrieved from <https://stemua.science/> [in Ukrainian].
4. Science Buddies. Retrieved from <https://www.sciencebuddies.org/>.
5. Meteor Echo Detection With Radios. Retrieved from <https://www.meteorecho.com/p/blog-page.html>.
6. Abidin, Z. Z. (2011). Radio meteor detection in Malaysia. *International Journal of Fundamental Physical Sciences*, 1, 3, 53–56. DOI: <https://doi.org/10.14331/ijfps.2011.330013>.
7. International Meteor Organization. Practical Information. Retrieved from <https://www.imo.net/observations/methods/radio-observation/practical/>.
8. Bushuev, F. I., Kaliuzhnyi, M. P., Kulichenko, M. O., Shulga, O. B., Malynovskyi, Ye. V., Savchuk, S. G. et al. (2021). Stanovlennia ta rozvytok ukraïnskoi merezhi radiosposterezhen meteoriv [Formation and development of the Ukrainian network of radio observations of meteors]. *Kosmichna nauka i tekhnolohiia — Space science and technology*, 27, 3, 85–92. DOI: <https://doi.org/10.15407/knit2021.03.085> [in Ukrainian].
9. Lesanu, C., Done, A., Cailean, A., & Graur, A. (2018). Vertical polarized antennas for low-VHF radio meteor detection. *14-th International Conference on Development and Application Systems (DAS)*. IEEE, May, 18. (Pp. 93–98). Suceava, Romania. DOI: <https://doi.org/10.1109/DAAS.2018.8396078>.
10. Chiwate, S., Zhang, Z., Mernick, K., Shen, B., Vavilov, D., Bugallo, M. et al. (2009). SDR-based radar system for meteor detection. *2009 16th International Conference on Digital Signal Processing*. IEEE, July, 09. (Pp. 1–6). Santorini, Greece. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICDSP.2009.5201236>.
11. Hrudynin, B., & Vidmachenko, A. (2023). Orhanizatsiia roboty ukraïnskoi meteornoï spostereznoi merezhi (UMSM) na osnovi vykorystannia syhnaliv transliuvalnykh FM-stantsii [Organization of the work of the Ukrainian meteor observation network (UMON) based on the use of signals from broadcast FM stations]. *Fizyko-matematychna osvita — Physical and Mathematical Education*, 38, 1, 14–19. DOI: <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-1-002> [in Ukrainian].
12. Çubuk, K. O., Terzioğlu, C., Kayıhan, H. A., Selmaoğlu, M., Bulut, S., & Özeren, F. (2012). Radio observations and



evaluation of the meteor showers between May 4 and August 25, 2012. *Proceedings of the International Meteor Conference*. IMO, September 20–23. (Pp. 1–3). La Palma, Canary Islands, Spain.

13. Leite, E., Alves, G., Seixas, J., Marroquim, F., & Takai, H. (2011). Radar Meteor Detection: Concept,

Data Acquisition and Online Triggering. *Wave Propagation. InTech*, 537–552.

DOI: <https://doi.org/10.5772/14149>.

14. FMSCAN — frequencies and transmitter maps for anyplace. Retrieved from <https://fmscan.org/helpen.htm>.

A. I. Atamas,  
I. S. Chernetskiy,  
V. V. Vasylenko

#### RADIOASTRONOMIC HARDWARE COMPLEX OF METEOR MONITORING FOR THE STEM-CENTER OF THE JUNIOR ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE

**Abstract.** *The perspective of the development of radio astronomy for the virtual STEM center of the Junior Academy of Sciences of Ukraine is substantiated. This direction corresponds to the modern concept of STEM, as it has pronounced transdisciplinary connections with natural sciences, engineering, technology and mathematics. For the full-fledged existence and development of the field of radio astronomy in STEM education, a powerful practical part is necessary, which in turn requires certain equipment for its implementation. One of the areas of radio astronomy that does not require complex and expensive equipment is the observation of meteor phenomena using direct scattering on ionized meteor trails of signals from over-the-horizon FM radio broadcasting stations in the range of 87.5 ...108 MHz. A radio astronomical hardware complex for meteor monitoring, consisting of a receiving directional antenna, a radio frequency amplifier with an adjustable power injector, an SDR receiver RTL2832U + R820T2 and a computer with the necessary software, was designed, built and tested. During the tests of the complex, several meteor phenomena were registered synchronously with their visual observations, which testifies to its correct functioning. The created radio astronomy complex allows expanding the possibilities of educational astronomical observations, making them available at any time of the day. The use of SDR technology allows you to work with the complex remotely. Working with the hardware complex contributes to the development of a number of competencies related to natural sciences, radio reception technology, work with software, selection and adjustment of equipment, mathematical modeling and processing of experimental results. Radio complexes based on SDR technologies can be created and used also for other observations, for example, the study of radio radiation from Jupiter, the study of the passage of radio waves depending on the state of the ionosphere and solar activity, the observation of artificial satellites of the Earth, which can form the basis of the further development of the direction of radio astronomy in STEM education.*

**Keywords:** radio astronomy, STEM, meteors, direct scattering method, antenna, SDR technologies.

#### ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

**Атамась Артем Іванович** — канд. техн. наук, старший науковий співробітник відділу створення і використання навчально-тематичних систем знань, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, [art.atamas@gmail.com](mailto:art.atamas@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8709-3208>

**Чернецький Ігор Станіславович** — канд. пед. наук, завідувач відділу створення і використання навчально-тематичних систем знань, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, [manlabkiev@gmail.com](mailto:manlabkiev@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9771-7830>

**Василенко Володимир Володимирович** — молодший науковий співробітник відділу створення і використання навчально-тематичних систем знань, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, [Vol\\_odya@ukr.net](mailto:Vol_odya@ukr.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8864-2363>

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Atamas A. I.** — PhD in Engineering, Senior Research Fellow of the Department of creation of educational-thematic systems of knowledge, NC “Junior Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, [art.atamas@gmail.com](mailto:art.atamas@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8709-3208>

**Chernetskiy I. S.** — PhD in Pedagogy, Head of the Department of creation of educational-thematic systems of knowledge, NC “Junior Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, [manlabkiev@gmail.com](mailto:manlabkiev@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9771-7830>

**Vasylenko V. V.** — Junior Research Scientist of the Department of creation of educational-thematic systems of knowledge, NC “Junior Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, [Vol\\_odya@ukr.net](mailto:Vol_odya@ukr.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8864-2363>

Стаття надійшла до редакції / Received 22.04.2024