

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Директор ГАО НАН України  
Ярослав ЯЦКІВ



**АНОТОВАНИЙ ЗВІТ**  
**про виконану роботу у 2021 році в рамках реалізації проєкту**  
**із виконання наукових досліджень і розробок**  
**«Астрофізичні Релятивістські Галактичні Об'єкти (АРГО):**  
**життєвий шлях активних ядер»**

**Назва конкурсу:** «Підтримка досліджень провідних та молодих учених»  
**Реєстраційний номер Проєкту:** 2020.02/0346

**Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок** (реєстраційний номер та назва Проєкту) 2020.02/0346 *«Астрофізичні Релятивістські Галактичні Об'єкти (АРГО): життєвий шлях активних ядер».*

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу «Підтримка досліджень провідних та молодих учених» протокол від «16-17» вересня 2020 року № 21.

## **1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ**

Загальна тривалість виконання проєкту 2020 рік – 2022 рік  
Тривалість виконання Проєкту у 2021 році  
Початок – 5 травня 2021 р.  
Закінчення – 15 грудня 2021 рік.

Загальна вартість Проєкту, грн. 12 344 700 грн. (дванадцять мільйонів триста сорок чотири тисячі сімсот гривень 00 копійок)

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік 2 600 000 грн. (два мільйони шістьсот тисяч гривень 00 копійок)  
2-й рік 4 744 700 грн. (чотири мільйони сімсот сорок чотири тисячі сімсот гривень 00 копійок)  
3-й рік 5 000 000 грн. (п'ять мільйонів гривень 00 копійок)

## **2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ**

до виконання Проєкту залучено 10 виконавців, з них:  
доктори наук 2;  
кандидати наук 5;  
інші працівники 3.

## **3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(Ї) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ**

*1. Головна астрономічна обсерваторія*

Код ЄДРПОУ: 05417360 ;

Код(и) КВЕД: 72.19;

Відомча підпорядкованість: Національна академія наук України;

Технічне оснащення: інститут оснащений обчислювальним кластером – «GOLOWOOD». Дана система складається з 8 обчислювальних вузлів кожен з яких містить по два графічних процесора (GF GTX 660);

## *2. Радіоастрономічний Інститут*

Код ЄДРПОУ: 02772020;

Код(и) КВЕД: 72.19;

Відомча підпорядкованість: Національна академія наук України;

Технічне оснащення: інститут оснащений обчислювальним кластером з продуктивністю 680ГФлопс, який включено в логічну інфраструктуру інституту, грид-мережі НАНУ і мережі Інтернет. Для проведення моделювання задачі N тіл відділ інституту оснащений графічним прискорювачем Nvidia GeForce 660;

## *2. Харківський Національний Університет імені В.Н. Каразіна*

Код ЄДРПОУ: 02071205;

Код(и) КВЕД: 85.42;

Відомча підпорядкованість: Міністерство Освіти і Науки України;

Технічне оснащення: університет має у своєму розпорядженні Дослідницький науково-технічний симулятор (КНР) Intel Core i7-7700, Дослідницький науково-технічний симулятор (КНР) Intel Core i5-8400 та Core i7-9600 з графічним прискорювачем GTX1060.

## **4. ОПИС ПРОЄКТУ**

### **4.1. Мета Проєкту.**

Побудова самоузгодженої моделі центральних областей активних ядер галактик, яка задовольняє низці спостережних даних. Вивчення таких об'єктів в момент злиття дасть змогу дослідити енергетичні характеристики гравітаційних хвиль і дозволить прямим методом перевірити загальну теорію відносності Ейнштейна.

### **4.2. Основні завдання Проєкту.**

Моделювання життєвого циклу та побудова реалістичної моделі та співзіставлення зі спостереженнями систем чорних дір в ядрах галактик. Створення нейронних мереж для класифікації позагалактичних об'єктів. Пошук подвійних активних ядер галактик та аналіз їх випромінювання. Поширення наукових знань серед громадськості та науково-навчальних закладів через Веб-портал «АРГО».

### **4.3. Детальний зміст Проєкту:**

#### *Сучасний стан проблеми.*

Фізику Всесвіту можна описати двома фундаментальними теоріями – загальною теорією відносності та квантовою теорією поля. Чорні діри є об'єктами де ці теорії поєднуються, тому їх вивчення зможе дати відповіді на ключові питання: з чого починався Всесвіт и чим він закінчиться.

Розуміння виникнення і еволюції чорних дір в ядрах галактик є однією з основних завдань сучасної теоретичної астрофізики. Вплив центрального джерела (чорної діри) на глобальну зоряну еволюцію галактик так само як і на зореутворення навколо центрального району галактик є фундаментальним. В цьому сенсі можна говорити про так звану «со»-еволюцію галактик та їх чорних дір.

#### *Новизна Проєкту.*

Полягає у повному аналізі активних ядер галактик, створенні каталогу позагалактичних джерел та проведенні їх класифікації на квазари, галактики та АЯГ різних типів. Дослідження еволюції (в першу чергу динамічну), як галактичного центру, так і чорної діри та її оточення (подвійна система чорних дір, акреційний диск навколо чорної діри, припливне руйнування зірок в поле тяжіння чорної діри, ядерне зоряне скупчення). У нову еру гравітаційно-хвильової астрономії (з урахуванням майбутньої місії «LISA» Європейського Космічного Агентства) такі параметричні розрахунки є ключовими для передбачення частотно-часових гравітаційних спостережень.

#### *Методологія дослідження.*



Моделювання еволюції центральної подвійної чорної діри у тісному зоряному середовищі буде проведено на основі наявних спостережних даних за допомогою чисельного моделювання з використанням добре відомого в світі власного динамічного N-тільного коду  $\phi$ -GPU з пост-ньютонівськими поправками до членів порядку  $\sim 1/c^7$ . Даний код успішно тестований і адаптований для запуску на GPU-кластері ГАО НАН України та на інших GPU системах по всьому світу (Німеччина, Швейцарія, Китай та США).

Для класифікації позагалактичних об'єктів будуть створені нейронні мережі різної архітектури з використанням добре відомими алгоритмами «LDA», «KNN», «RF», «SVM» та виконане їх навчання з «вчителем».

Для отримання значень характеристик високоенергетичного випромінювання АЯГ буде проведений спектральний аналіз рентгенівського випромінювання галактик вибірки з використанням стандартних феноменологічних моделей, простих та складних аналітичних моделей та табличних моделей, які створені на основі чисельного фізичного моделювання акреційних дисків або газопилових торів.

## **5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в поточному році в рамках реалізації Проєкту, зокрема:**

### **5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проєкту.**

Проведено роботу з доопрацювання програмного динамічного N-тільного коду « $\phi$ -GPU» з включенням алгоритмічної регуляризації для більш точного та швидкого інтегрування рівнянь руху чорних дір, що зливаються. Виконано розрахунок послідовного злиття трьох надмасивних чорних дір в галактиці NGC6240 з використанням максимально можливої кількості динамічних частинок (до декількох мільйонів частинок). Під час моделювання еволюції чорних дір та оточуючого їх середовища в NGC 6240 було виявлено ефект фон Цейпеля-Лідова-Козая.

Виконано пошук спостережень в радіо діапазоні галактик каталогу GABRIELLE згідно бази даних масиву радіотелескопів «VLA». Проведено аналіз радіо даних галактик каталогу GABRIELLE з метою виділення радіо-структур, які свідчать про можливу наявність подвійної системи надмасивних чорних дір в активному ядрі галактики. Створено вибірку з кандидатами АЯГ у такі системи, а саме: 19 галактик було визначено як радіо гучні та радіо проміжні за принаймні трьома із шести критеріїв, отже вони є кандидатами для подальшого радіо аналізу з метою пошуку подвійних ядер.

Виконано пошук відповідних спостережень у рентгенівському діапазоні хвиль космічних обсерваторій XMM-Newton, NuSTAR та Swift, а саме: з 19 галактик є наявні спостереження XMM-Newton - для 8 об'єктів, NuSTAR - 9 об'єктів, Swift - для усіх 19 об'єктів. Виконано застосування феноменологічних моделей до рентгенівських спектрів для загальних характеристик спостережних спектрів. Як демонстрація результатів, представлено аналіз наступних об'єктів: 2MASX J12150077+0500512.2MASX J08420557+0759253 та SWIFT J2351.9-0109. Для усіх цих 3-ох АЯГ відсутні статті з індивідуальних рентгенівським аналізом, що є перспективним з точки зору написання відповідної статті. Континуум одного з об'єктів описується звичайним степеневим законом, для інших двох необхідно застосовувати складніші спектральні моделі.

З метою дослідження кінематики іонізованого газу в галактиках із активними ядрами з просторово розділених спостережень огляду MaNGA-SDSS було обрано близько 140 галактик, в спектрах яких спостерігались асиметричні профілі емісійної лінії [OIII] 5007A, оскільки дана форма профілю свідчить про рух газу окремо від обертання галактики. Було знайдено витoki двох типів — невеликого розміру і з невеликими швидкостями, розсіяні по площині галактики, та великі області із високими швидкостями, розташовані в центрах галактик. Потік в лінії Na, який в першому наближенні можна вважати індикатором темпів зореутворення, був вищий в місцях витоків речовини, ніж в решті галактики. Металічність областей із витокami речовини також в середньому більша, ніж решті галактики.



У галактиках вибірки GABRIELLE, подвійні піки в емісійних лініях в інтегральних спектрах яких можуть свідчити про наявність масивних швидких витоків речовини, було досліджено кінематику іонізованого газу по профілям заборонених емісійних ліній випромінювання кисню [OIII] 4959, 5007Å. Було визначено, що середня швидкість руху газу в галактиках складає 200-300 км/с. В деяких галактиках також присутні швидкі витoki речовини із швидкостями до 900 км/с по відношенню до стану спокою.

Побудовано карти розподілу температури в торі за рахунок нагріву хмар анізотропним випромінюванням акреційного диска. Показано, що гаряча компонента ІЧ випромінювання пов'язана із задньою стінкою горла тора, що пояснює спостережувану стратифікацію в температурі центральної області в NGC 1068. Аналіз результатів чисельного моделювання тора з різним значенням маси показав, що тор залишається стабільним навіть для випадку, коли маса тора дорівнює масі надмасивної чорної діри. Проведено моделювання динаміки хмар в торі з урахування вітру, який має складну структуру та побудовані відповідні карти розподілу швидкості для експериментів з різним відносним масштабом хмар. В межах N-тільного моделювання знайдено інтерпретацію спостережного радіовипромінювання в центральній області NGC 1068, яке має X-форму. Знайдено інтерпретацію спостережного портів-обертання в торі NGC 1068, яке пов'язано з дією несиметричного вітру та ефектами просторової орієнтації тора. Проведено попередні аналітичні оцінки впливу дисипації на траєкторії хмар в околиці внутрішньої границі тора. Отримано новий наближений аналітичний вираз гравітаційного потенціалу тору з еліптичним перетином, який представлений двома масивними окружностями. *Роботу виконано субвиконавцем Радіоастрономічний інститут НАН України.*

Створено штучну нейронну мережу, що дозволяє за фотометричними та астрометричними даними виконати класифікацію об'єктів на галактичні та позагалактичні. На основі спектрально підтверджених позагалактичних об'єктах в сучасних оглядів неба SDSS та LAMOST отримано надійну вибірку позагалактичних об'єктів, яку доповнено фотометричними та астрометричними даними з найбільших сучасних оглядів неба PanSTARRS1, GaiaEDR3, ALLWISE, 2MASS PSC. На основі машинного навчання розроблено алгоритм визначення червоного зміщення за фотометричними даними в оптичному та середньому інфрачервоному діапазоні довжин хвиль. Виконано оцінку червоних зміщень для всіх об'єктів нашого каталогу та виконано порівняння з аналогічними даними інших каталогів. *Роботу виконано субвиконавцем Харківський національний університет ім. В.Н.Каразіна.*

*В рамках двох Етапів за 2021 р. створено наукову продукцію у вигляді статей, надрукованих у провідних міжнародних реферованих виданнях (рівня Q1), де висвітлені основні наукові результати:*

*Монографії:*

1. V. Khramtsov, **V. Akhmetov**, P. Fedorov, S. Khlamov, A. Dmytrenko, A. Velichko. Intelligent Photometric Identification of Extragalactic Objects from AllWISE×Pan-STARRS DR1 Data. Intelligent Astrophysics pp 137-152. (Розділ у монографії).

*Опубліковані:*

1. **Bannikova E.Yu.**, Sergeyev A.V., Akerman N.A., **Berczik P.P.**, **Ishchenko M.V.**, Capaccioli M., **Akhmetov V.S.** Dynamical model of an obscuring clumpy torus in AGNs: I. Velocity and velocity dispersion maps for interpretation of ALMA observations// Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2021. – 503. – p.1459–1472. <https://doi.org/10.1093/mnras/stab468>
2. **V. S. Akhmetov**, P. N. Fedorov, V. S. Tsvetkova, **E. Yu. Bannikova**. Analysis of modern astrometric catalogues in the Gaia era. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 505, Issue 3, 2021. – P. 3219–3227. <https://doi.org/10.1093/mnras/stab1391>
3. Khoperskov, S., Zinchenko, I., Avramov, B., Khrapov, S., **Berczik, P.**, Saburova, A., **Ishchenko, M.**, Khoperskov, A., Pulsoni, C., Venichenko, Y., Bizyaev, D., Moiseev, A., Extreme kinematic misalignment in IllustrisTNG galaxies: the origin, structure, and internal dynamics of galaxies with a large-scale counterrotation, (2021), Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 500, 3870-3888. <https://doi.org/10.1093/mnras/staa3330>



4. Khoperskov, S., Haywood, M., Snaith, O., Di Matteo, P., Lehnert, M., Vasiliev, E., Naroenkov, S., **Berczik, P.**, Bimodality of  $[\alpha \text{ Fe}]$ - $[\text{Fe}/\text{H}]$  distributions is a natural outcome of dissipative collapse and disc growth in Milky Way-type galaxies, (2021), Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 501, 5176-5196. <https://doi.org/10.1093/mnras/staa3996>
5. Rizzuto, F. P., Naab, T., Spurzem, R., Giersz, M., Ostriker, J. P., Stone, N. C., Wang, L., **Berczik, P.**, Rampp, M., Intermediate mass black hole formation in compact young massive star clusters, (2021), Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 501, 5257-5273. <https://doi.org/10.1093/mnras/staa3634>
6. Avramov, B., **Berczik, P.**, Meiron, Y., Acharya, A., Just, A., Properties of loss cone stars in a cosmological galaxy merger remnant, (2021), Astronomy and Astrophysics, 649, A41. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202039698>
7. Meiron, Y., Webb, J. J., Hong, J., **Berczik, P.**, Spurzem, R., Carlberg, R. G., Mass-loss from massive globular clusters in tidal fields, (2021), Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 503, 3000-3009. <https://doi.org/10.1093/mnras/stab649>
8. **Sobolenko M., Berczik P.**, Spurzem R. Merging timescale for supermassive black hole binary in interacting galaxy NGC 6240, (2021), Astronomy and Astrophysics. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202039859>
9. Kompaniiets O., **Sobolenko M., Berczik P.**, Marchenko V., **Vasylenko A.**, Fedorova E.. (2021) NGC 6240 Supermassive Black Hole Binary dynamical evolution based on Chandra data. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. Стаття прийнята до друку.
10. Gualandris A., Khan Fazeel M., Bortolas E., Fisica G., Bonetti M., Sesana A., **Berczik P.**, Holley-Bockelmann K. (2021) Eccentricity evolution of massive black hole binaries from formation to coalescence. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. Стаття прийнята до друку.
11. **Akhmetov V., Soroka K., Bannikova E., Vasylenko A., Sobolenko M., Vovk K.** (2021) A search of AGN in modern photometric and astrometric catalogues. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Main Journal. Стаття прийнята до друку.
12. Avramov B., **Sobolenko M., Ishchenko M., Berczik P.**, Just A. (2021) The impact of Post-Newtonian effects on massive black hole binary evolution at  $\sim 1000$  Rsch separations. Astronomy & Astrophysics. Стаття на етапі рецензування.
13. **Berczik P.**, Arca Sedda M., **Sobolenko M., Ishchenko M., Sobodar O.**, Spurzem R. (2021) Merging of Unequal Mass Binary Black Holes in Non-Axisymmetric Galactic Nuclei. Astrophysical Journal. Стаття на етапі рецензування.

*В рамках двох Етапів за 2021 р. представлено доповіді на наступних Міжнародних конференціях:*

1. **S. Skolota, E. Bannikova.** Outer gravitational potential of a torus with an elliptical cross-section, International conference for young professionals on physics and technology (ICYPPT), Kharkiv-2021. Усна доповідь.
2. A.Rebrysh, K.Sysoliatina, **E.Bannikova.** Gravitational lensing effects on an inhomogeneous ring with a central mass, International conference for young professionals on physics and technology (ICYPPT), Kharkiv-2021. Усна доповідь.
3. **P. Berczik, M. Sobolenko and M. Ishchenko.** NGC6240: Triple supermassive black holes in simulation and observation. Kozai-Lidov effect and the timescale of PN merging. International seminar of stellar dynamics group, ARI, Heidelberg, Germany-2021. Усна доповідь.
4. **M. Sobolenko, P. Berczik, M. Ishchenko.** Triple Supermassive Black Hole in NGC 6240: observation, simulation and Lidov-Kozai effect. International conference TRiple EvolutionN and DYnamics 3, Northwestern University, Evanston, USA-2021. Усна доповідь.
5. **M. Ishchenko, P. Berczik.** Dynamical model of a clumpy torus in AGNs. Velocity and velocity dispersion maps interpretations. International Conference Astronomy and Space Physics in the Kyiv University. Ukraine-2021 р. Усна доповідь.



6. **M. Sobolenko, P. Berczik, M. Ishchenko.** Triple Supermassive Black Hole in NGC 6240: observation, simulation and von Zeipel-Lidov-Kozai effect. International conference Astronomy and Space Physics in the Kyiv University, Kyiv, Ukraine-2021. Усна доповідь.
7. **M. Sobolenko, P. Berczik, R. Spurzem.** Dynamical timescale for central supermassive black holes system in merging galaxy NGC 6240. International Annual Meeting of European Astronomical Society, Leiden, Netherlands-2021. Стендова доповідь.
8. **P. Berczik, M. Ishchenko, M. Sobolenko, M. Arca Sedda, A. Just, R. Spurzem.** NGC6240: Triple supermassive black holes in simulation and observation. Kozai-Lidov Effect and the timescale of PN merging. International Annual Meeting of European Astronomical Society, Leiden, Netherland-2021. Стендова доповідь.
9. **P. Berczik, A. Veles, M. Ishchenko, M. Sobolenko, D. Ivanov.** (2021) Double & Triple SMBH evolution in galaxy centers. New hybrid code approaches and performance tests. Volkswagen Trilateral Project: Dynamical Mechanisms of Accretion in Galactic Nuclei, Joint Meeting with China-Kazakhstan collaboration. September 6-8, 2021, online. Усна доповідь.
10. **M. Ishchenko, M. Sobolenko, P. Berczik.** (2021) Life circle of Triple Supermassive Black Hole in NGC 6240. Volkswagen Trilateral Project: Dynamical Mechanisms of Accretion in Galactic Nuclei, Joint Meeting with China-Kazakhstan collaboration. September 6-8, 2021, online. Усна доповідь.
11. **M. Sobolenko, P. Berczik, M. Arca Sedda, M. Giersz, K. Maliszewski, O. Veles.** (2021) Spinning binary black hole mergers in galactic GC's and gravitational wave signals. Volkswagen Trilateral Project: Dynamical Mechanisms of Accretion in Galactic Nuclei, Joint Meeting with China-Kazakhstan collaboration. September 6-8, 2021, online. Усна доповідь.
12. **П. Берцик, О. Велесь, М. Іщенко, М. Соболенко, Д. Іванов, К. Вовк, А. Василенко, О. Баннікова, В. Ахметов.** (2021) Спільна еволюція галактик та чорних дір у Всесвіті на космологічних масштабах часу. Наукова конференція: Астроосінь 2021. 25-26 жовтня, 2021, Київ, Україна. Усна доповідь.
13. **P. Berczik, M. Ishchenko, M. Sobolenko, M. Arca Sedda, A. Just, R. Spurzem.** (2021) NGC6240: Triple supermassive black holes in simulation and observation. Kozai-Lidov Effect and the timescale of PN merging. International Astronomical Union Symposia #362: Predictive Power of Computational Astrophysics as a Discovery Tool. November 8-12, 2021, online. Усна доповідь.
14. **M. Sobolenko, P. Berczik, R. Spurzem, M. Arca Sedda, F. Paolo Rizzuto, M. Giersz, K. Maliszewski** (2021) Merging of spinning binary black holes in globular clusters. International Astronomical Union Symposia #362: Predictive Power of Computational Astrophysics as a Discovery Tool. November 8-12, 2021, online. Усна доповідь.
15. **K. Vovk** (2021) The new AGN search in SDSS «MaNGA» survey. XII conference of young scientists "Problems of Theoretical Physics", 21-23 December 2021, online. Усна доповідь.
16. **Akhmetov V.** Analysis of Modern Astrometric Catalogues in the Gaia Era, International Conference “Actual Questions of Ground-based Observational Astronomy” Devoted to 200th anniversary of Mykolaiv Astronomical Observatory, September 27-30, 2021, Mykolaiv, Ukraine. Усна доповідь.
17. **Bannikova E.** Recent advances in investigation of active galactic nuclei”. Міжнародна конференція “РТ-32 Золочів: перші результати, співробітництво з ЄС та радіоастрономічні горизонти”, 3-8 жовтня 2021, Центр космічних досліджень та зв'язку НЦУВКЗ, м. Золочів, Львівська обл. Усна доповідь.
18. **Bannikova E.** Unusual dynamics in a clumpy torus of active galactic nuclei. The 7-th Assembly of the Arab Conference on Astronomy and Geophysics (ACAG-7), 11 - 14 October 2021, Cairo, Egypt, The National Research Institute of Astronomy and Geophysics (NRIAG), Abstract book, p.227.

## 5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами.

В рамках проекту представлено публічну презентацію (стаття) N-гільного коду з постньютонівською апроксимацією. Унікальною особливістю даного коду є ефективне

використання високошвидкісних графічних прискорювачів для розрахунків динамічної взаємодії між об'єктами. Відповідні програми створені на новітній мові програмування «CUDA». Використання цієї мови та сучасних графічних прискорювачів дозволяє у порівнянні з звичайними процесорами пришвидшити розрахунки у 1000 разів. Результати розрахунків та графічне представлення отриманих результатів буде виконано веб-сторінки ГАО НАН України після завершення всіх етапів. Також буде представлено відео презентація злиття системи потрійних надмасивних чорних дір.

Моделювання тора в рамках N-тільного завдання з подальшим застосуванням результатів до моделювання карт швидкостей є оригінальними і подібних моделей на даний момент в світі не існує. Крім того, дані результати є одними з перших, здатних пояснити спостережувані карти загіняючих торів в АЯГ, отримані інтерферометром «ALMA».

Утворена вибірка буде найбільшою на даний момент вибіркою АЯГ із емісійними лініями з подвійними піками в оптичному діапазоні. Вибірка буде достатньо великою і однорідною для статичної достовірності закономірностей, отриманих на її основі.

### **5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства.**

Результати проєкту є суспільно значущими для загального розуміння еволюції Всесвіту. З точки зору світогляду загальні астрофізичні результати будуть основоположними в розумінні еволюції людства та нашого місця Всесвіті. При вивченні високоенергетичних процесів злиття чорних дір та процесів акреції, енергія що вивільняється під час випромінення, може мати також значний вплив на процеси людської життєдіяльності на Землі.

### **5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.**

В рамках етапу проєкту створено наукову продукцію у вигляді оригінальної вибірки АЯГ. Результуючі матеріали будуть доступні широкому загалу за допомогою створеного веб-ресурсу «АРГО» та представлені в міжнародній астрономічній базі даних CDS. Створена вибірка слугуватиме базою для подальшого пошуку та вивчення АЯГ, які містять у собі системи з подвійних надмасивних чорних дір, а також особливості механізмів генерації випромінювання активного ядра галактики. Результати будуть використовуватись для викладання в університетах на відповідних спецкурсах.

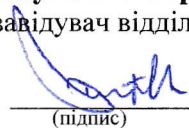
Результати розрахунків можуть слугувати основою для подальшого динамічного моделювання галактики NGC6240 та подібних потрійних систем. Чисельний код може бути використаний для моделювання інших динамічних систем галактик на стадії злиття.

Результати даного етапу будуть використовуватись не тільки як відправний пункт в подальшому дослідженні стабільності таких об'єктів, але також і в навчальному процесі. А саме, в лекціях «Теорія потенціалу» курсу «Небесна механіка», який викладається в Харківському національному університеті ім. В.Н. Каразіна.

Примітка: Анотований звіт не містить відомостей, заборонених до відкритого опублікування

### **Науковий керівник Проєкту**

завідувач відділу фізики зір та галактик



(підпис)

Петер БЕРЦИК  
(Власне ім'я та ПРІЗВИЩЕ)