



строфізичні  
релятивістські  
галактичні  
об'єкти:

життєвий шлях активних ядер



## ГОЛОВНІ «АРГОНАВТИ»:

Петер БЕРЦИК

Марина ІЩЕНКО

Маргарита СОБОЛЕНКО

Катерина ВОВК

Анатолій ВАСИЛЕНКО



Головна астрономічна  
обсерваторія НАН  
України

Олена БАННІКОВА

Радіоастрономічний інститут  
НАН України

Володимир АХМЕТОВ

Харківський національний  
університет ім. В. Н.  
Каразіна

# ПРО ЩО НАШ ПРОЄКТ?

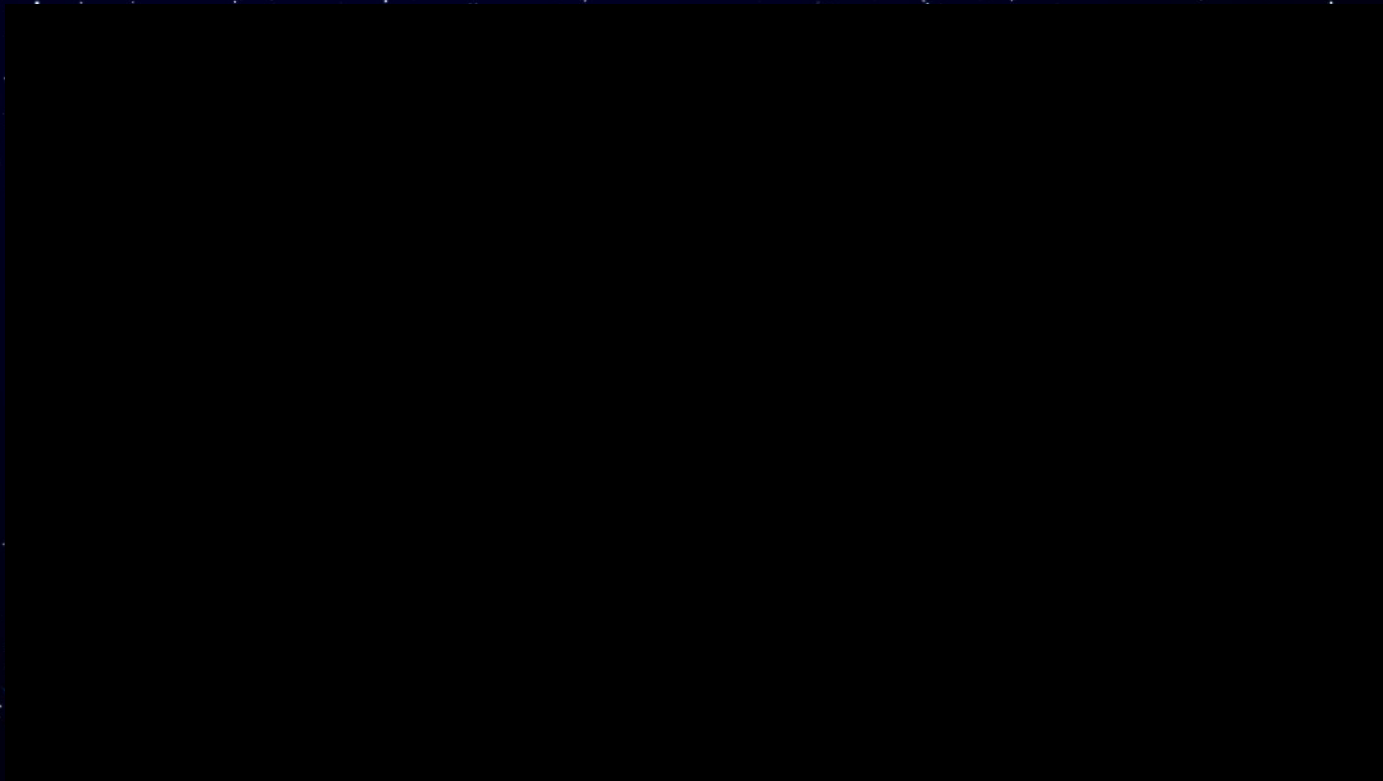
Фізику Всесвіту можна описати двома фундаментальними теоріями – загальною теорією відносності та квантовою теорією поля. Чорні діри є об'єктами де ці теорії поєднуються, тому їх вивчення зможе дати відповіді на ключові питання: з чого починався Всесвіт и чим він закінчиться.

- Відомо що:
- ✓ відповідно до сучасної космологічної моделі, масивні галактики збільшуються шляхом поглинання та злиття з меншими галактиками;
  - ✓ майже усі галактики містять у своїх центрах надмасивні чорні діри;
  - ✓ коли галактик зливаються, їх надмасивні чорні діри прямують до центру новоствореної галактики, де відбувається фінальна стадія їхнього злиття;
  - ✓ відбувається надходження газу з периферій до центру, що призводить до поновлення або посилення процесу акреції на надмасивні чорні діри, тощо...

Область, де відбуваються вищеназвані процеси, має назву  
**Активне Ядро Галактики (АЯГ).**

# ПРО ЩО НАШ ПРОЄКТ?

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.



Область, де відбуваються вищеназвані процеси, має назву  
Активне Ядро Галактики (АЯГ).



# НАША МЕТА:

★ Зрозуміти проблеми виникнення та еволюцію активних ядер у контексті взаємозв'язку з галактиками в яких вони знаходяться.

★ Побудувати реалістичну модель та співзставити зі спостереженнями злиття чорних дір в галактичних ядрах.

★ Дослідити можливість існування масивних гравітуючих торів з масою, порівняною з масою НМЧД, з урахуванням ефектів дисипації та зовнішньої акреції і побудувати більш реалістичну модель клампованого тора в АЯГ, аналогів якої ще не існує в світі.

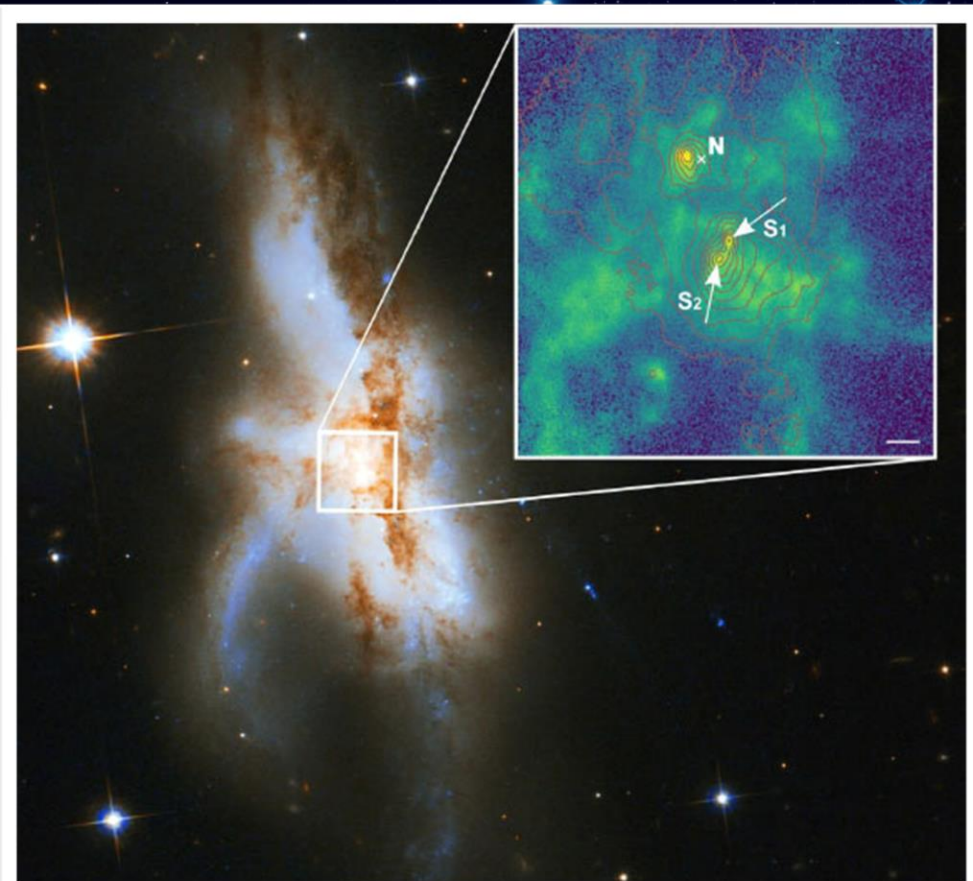
★ Створити каталог позагалактичних джерел за даним найбільших сучасних фотометричних та астрометричних оглядах неба з використанням різноманітних алгоритмів машинного навчання з «вчителем», опрацювавши мільярд об'єктів.

★ Перевірка загальної концепції обробки спостережень в різних спектральних діапазонах (радіо, оптика та рентген), співзставлення результатів, отриманих з різних діапазонах.

★ Поширення наукових знань серед громадськості та науково-навчальних закладів через Веб-портал «АРГО».

# NGC 6240 – галактики на стадії злиття

До 2019 року було відомо про дві надмасивні чорні діри, північна (N) та південна (S), а з 2020 року під час спостережень телескопом VLT було встановлено, що об'єкт S насправді складається з двох надмасивних чорних дір S1 та S2. Таким чином, була визначена перша галактика, в якій на стадії злиття знаходяться одразу три надмасивних чорних діри.



## Загальні характеристики:

**N**

Маса ЧД =  $3.6 \cdot 10^8$  Мсол;  
Маса АЯГ =  $2.5 \cdot 10^9$  Мсол;  
Радіус = 250 рс.

**S1**

Маса ЧД =  $7.1 \cdot 10^8$  Мсол;  
Маса АЯГ =  $1.2 \cdot 10^{10}$  Мсол;  
Радіус = 250 рс.

**S2**

Маса ЧД =  $9 \cdot 10^7$  Мсол;  
Маса АЯГ =  $7 \cdot 10^8$  Мсол;  
Радіус S2 = 100 рс.

Відстань між N та S = 198 рс.

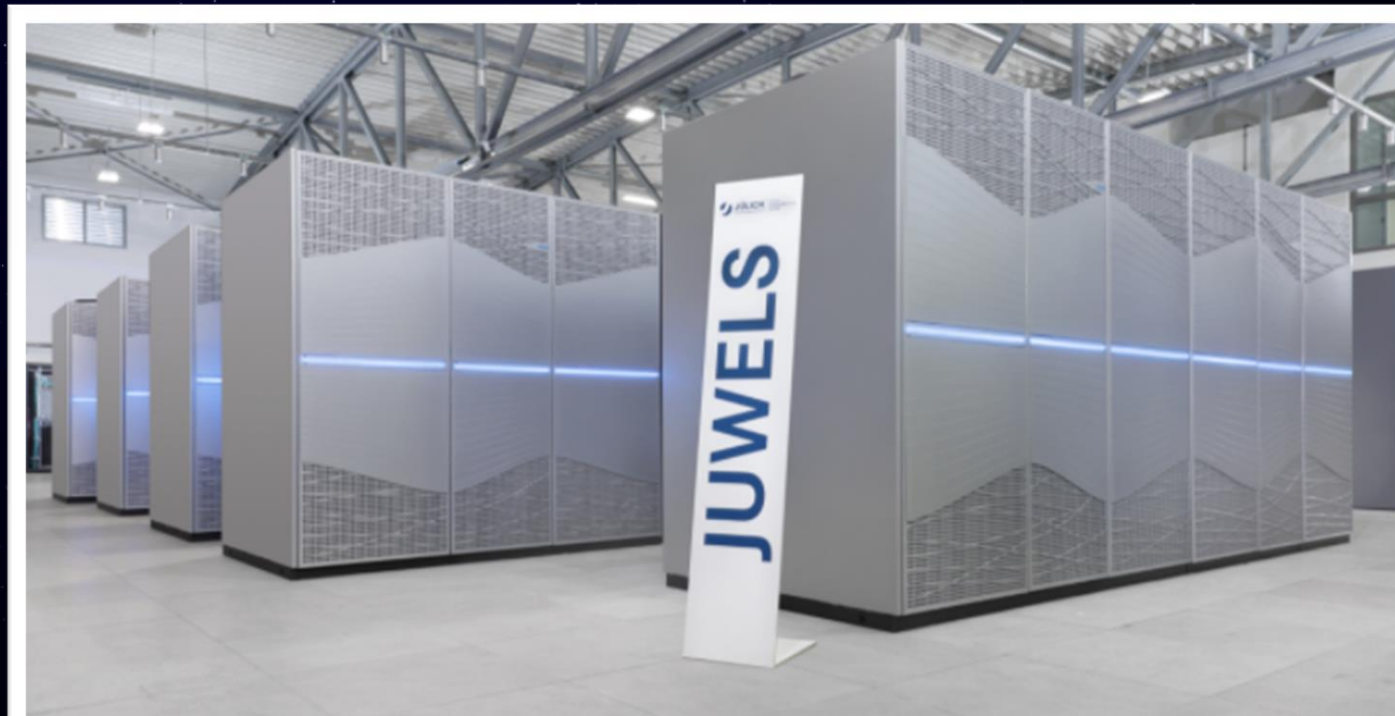
Відстань між S1 та S2 = 856 рс.



# Як виконували моделювання?

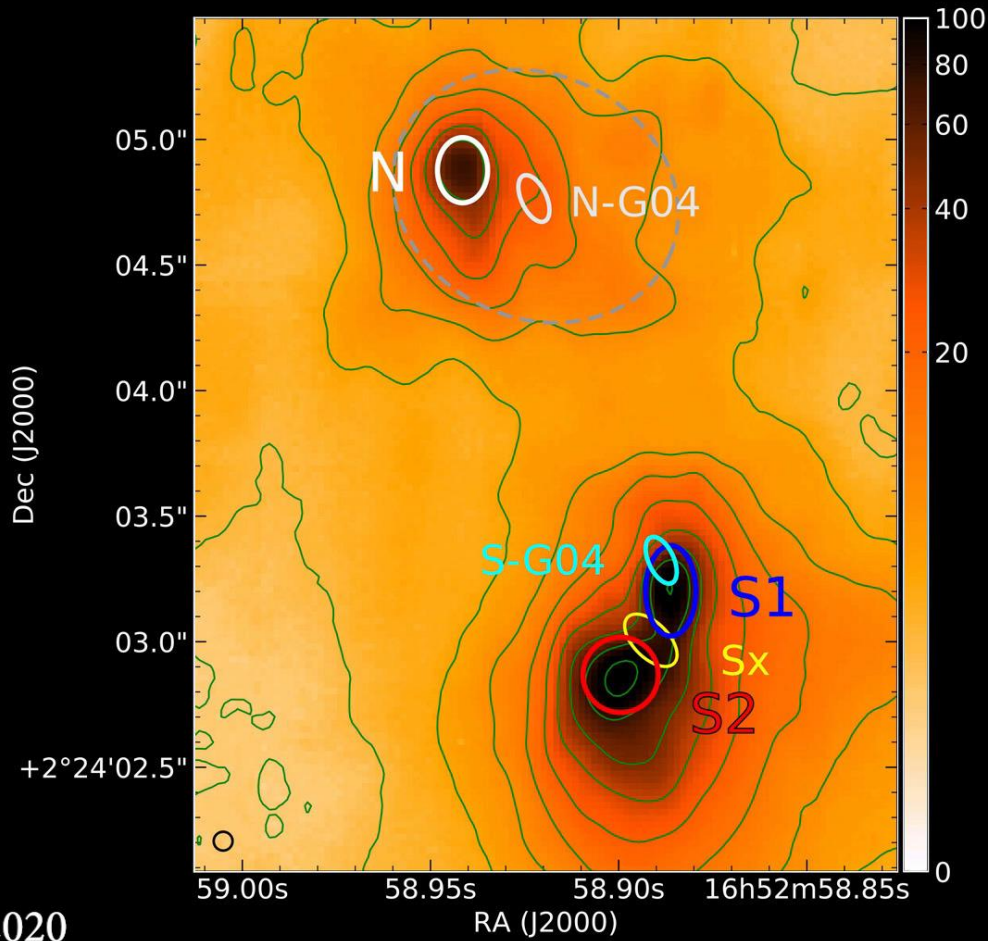
Моделювання еволюції системи потрійних чорних дір у тісному зоряному середовищі об'єкту NGC 6240 було проведено з використанням власного добре відомого в світі динамічного прямого N-тильного « $\phi$ -GPU» \* коду з використанням Херміт - інтегратору четвертого порядку.

Моделювання з 500 000 частинок (зірок) виконувалось на нодах з графічними прискорювачами типу GTX Nvidia V100 в Forschungszentrum Jülich «JUWELS» (Німеччина).



\*38 робіт на які є  
1122 цитувань

# Наше N-тільне моделювання потрійної системи надмасивних чорних дір в NGC 6240

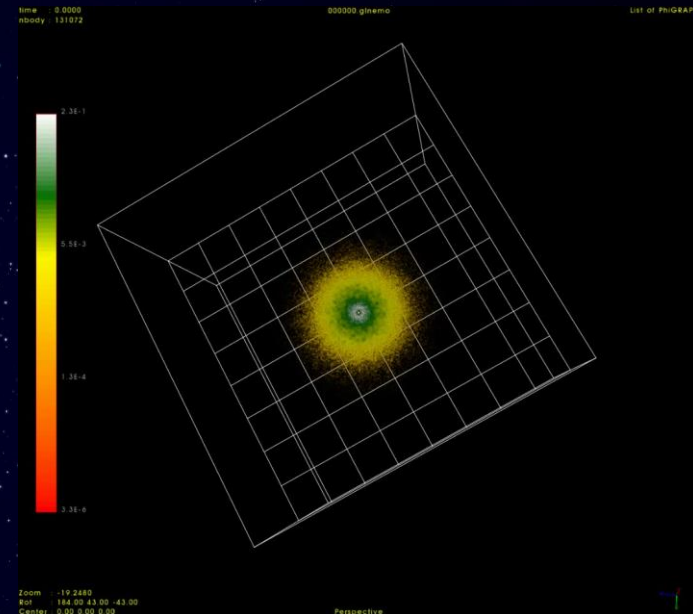


Kollatschny et al. 2020



# Структура АЯГ, що містить тор

який є основним резервуаром речовини в акреційному диску для живлення чорної діри та забезпечення високої світності ядра галактики.



Та хочемо зрозуміти, як:

- формується тороїдальна структура?
- еволюціонує ядро галактики?
- товстий тор (пончик) залишається стабільним?
- рухається речовина?
- можуть існувати подібні структури з масою, рівною масі чорної діри?

# Інтерпретація спостережень NGC 1672 з ALMA

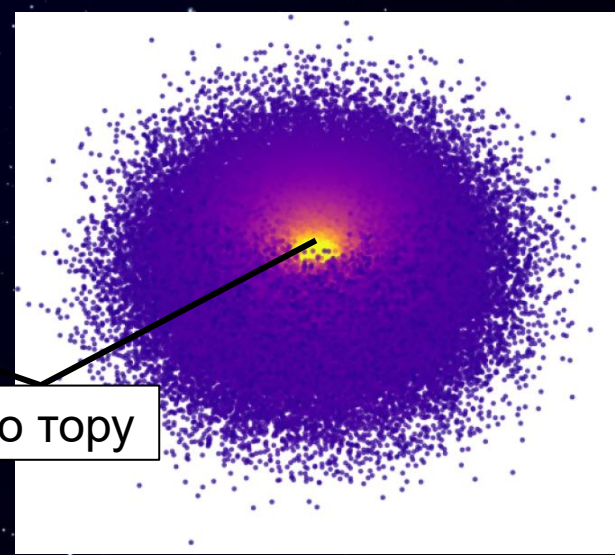
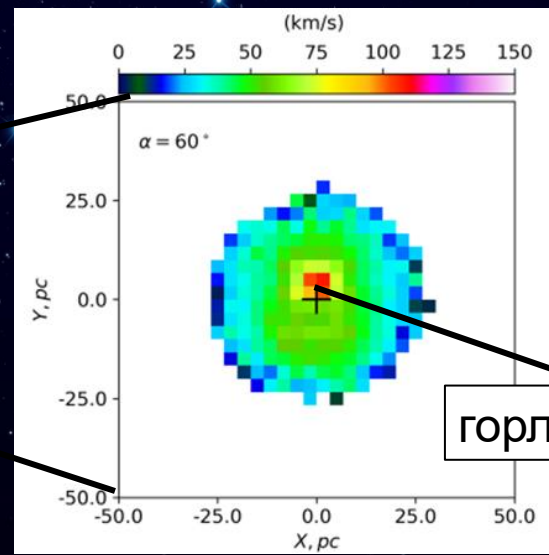
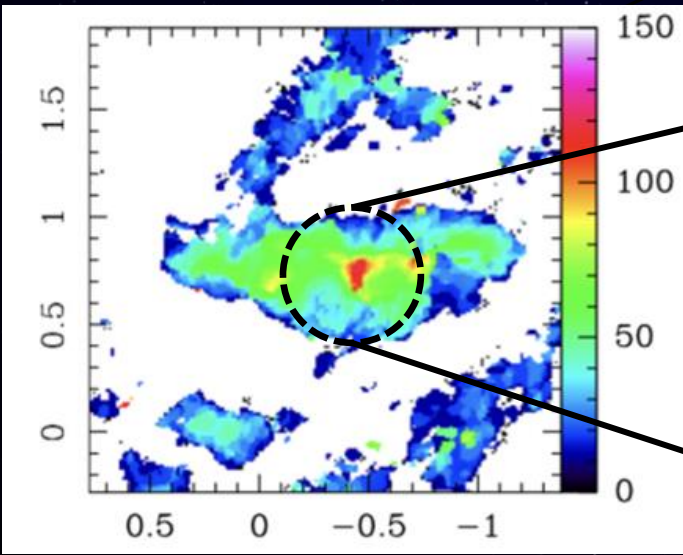


Atacama Large Millimeter Array (ALMA), Чилі, пустеля Атакама, 66 радіотелескопів, мм діапазон

- N-тільні моделювання з урахуванням гравітаційної взаємодії між чорною дірою і 100 000 хмаринками в торі;
- Трасування променів від акреційного диска до хмаринок.

Спостереження з ALMA

Моделювання

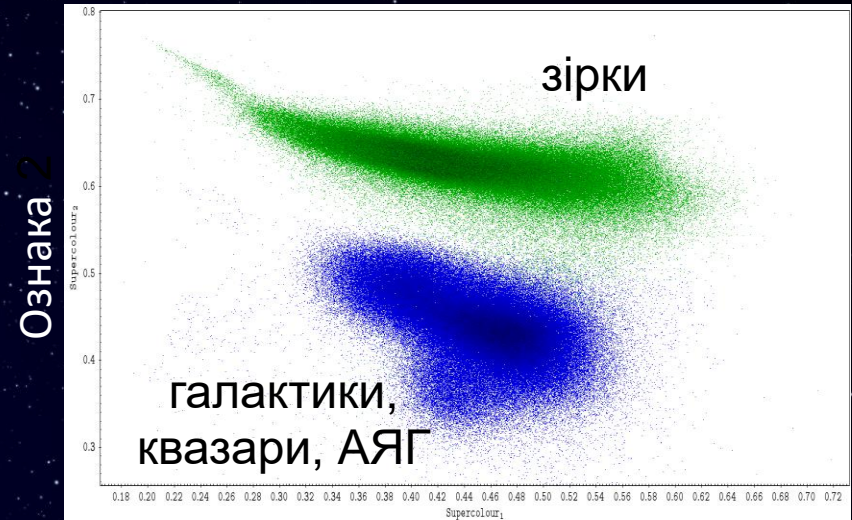
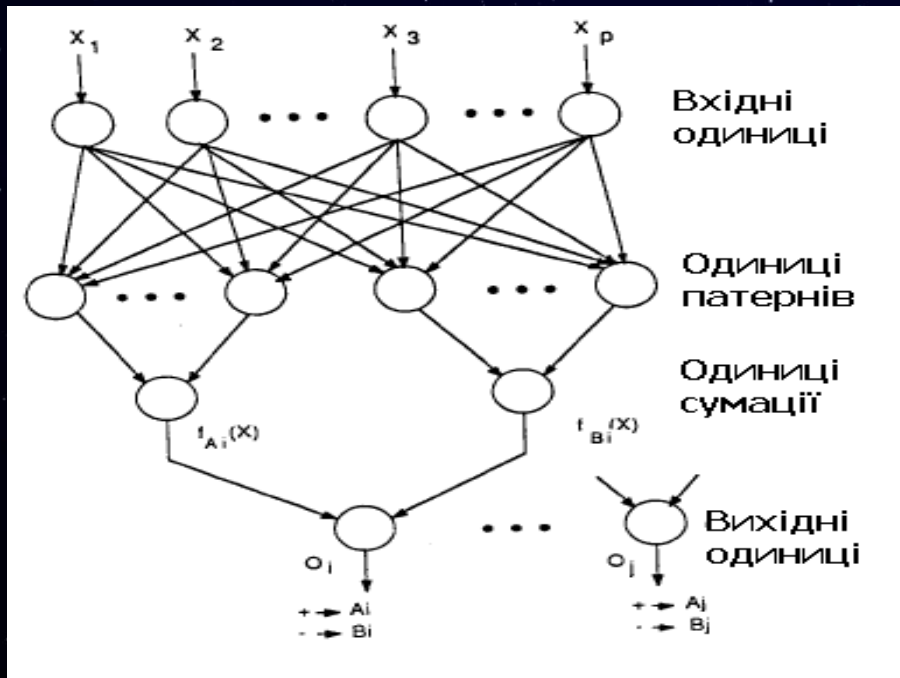


горло тору



# Нами створено найбільший каталог, що містить галактики, квазари та АЯГ.

За даними спільних об'єктів фотометричних оглядів неба **ALLWISE** (інфрачервоний) та **PanSTARRS DR1** (оптичний) отримано 21 показників кольору для 230 млн. об'єктів. Створено нейронну мережу в 4 шари по 21-15-10-5 нейронів відповідно, що дозволило отримати 5-ти вимірний простір «ознак» з 21 показників кольору для виконання розділення позагалактичних та галактичних об'єктів.



## Ознака

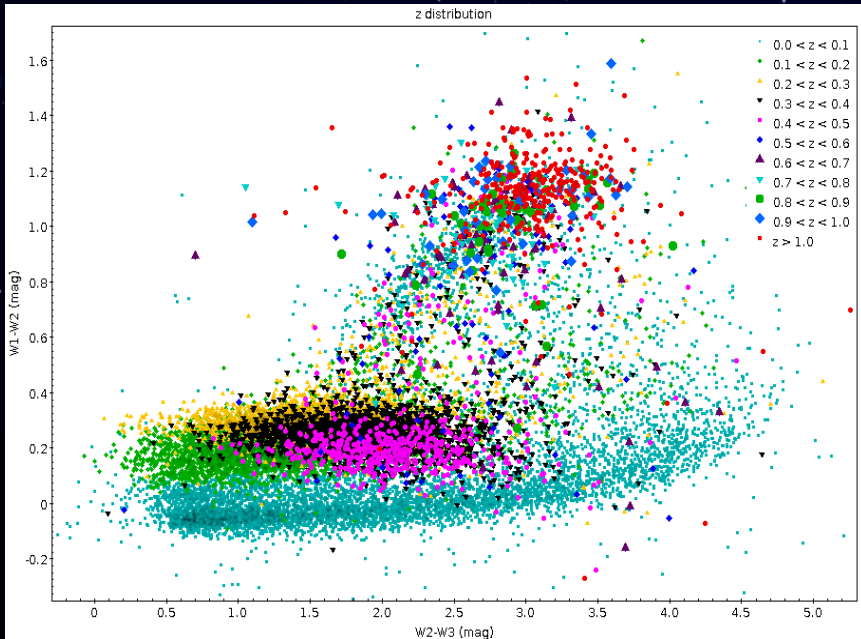
Використовуючи спектроскопічно підтверженні вибірку галактик, квазарів та АЯГ з каталогу **SDSS-DR14** було створено класифікаційну модель на основі SVM (Support Vector Machine).

Виконано класифікацію всіх спільних об'єктів оглядів **ALLWISE + PanSTARRS DR1**.

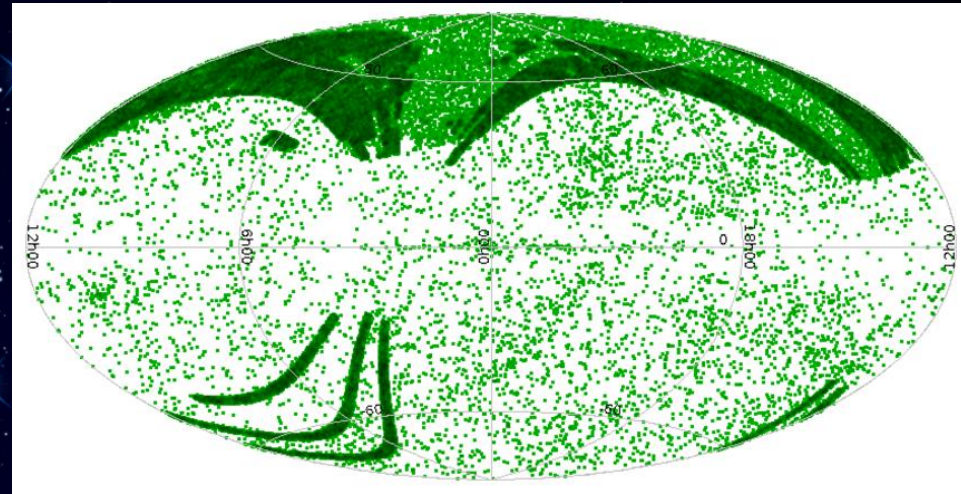
Отримано каталог 40 млн. позагалактичних об'єктів з вірогідністю більш ніж 95% що покриває  $\frac{3}{4}$  неба. Майже 20 млн. об'єктів це АЯГ.

# Як класифікували АЯГ?

Створено найбільш повний каталог спектроскопічно підтверджених АЯГ в радіо, інфрачервоному, оптичному та рентгенівському діапазоні довжин хвиль шляхом комбінації даних сучасних астрофізичних каталогів. Використовуючи Штучна нейронна мережа отримані червоні зміщення для всіх АЯГ даного каталогу. Отриманий каталог АЯГ представляє навчальну вибірку для створення класифікаційної моделі.



Залежність колір/червоне зміщення.



Розподіл АЯГ по небу

Створена вибірка АЯГ містить 89398 об'єктів з каталогів 3LAC, BAT, INTEGRAL, SDSSrg, AGN\_XBS, AGN\_OC, AGN\_SM, що доповнена фотометричною та астрометричною інформацією з даних сучасних оглядів неба PanSTARRS DR1, GaiaEDR3, ALLWISE, 2MASS, DESS та KiDS.

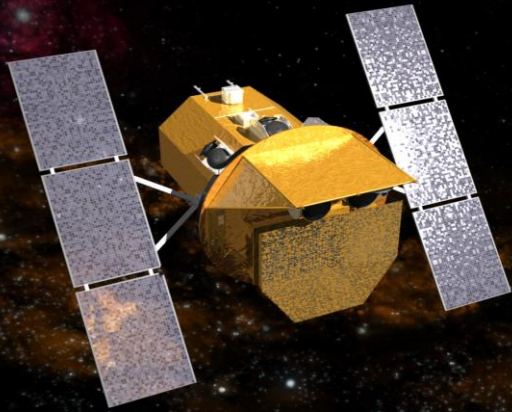
Для виявлення найбільш вагомих фотометричних властивостей АЯГ, для подальшої класифікації, проведено детальний аналіз різних діаграм показників кольору та проведено їх порівняння з аналогічними даними існуючих каталогів АЯГ.



# Робимо зведений каталог: З чого? Чому? Де? Як?

- Кратні системи чорних дір;
- Тісні системи чорних дір важливі для нашого розуміння еволюції чорних дір та їх взаємодії із батьківською галактикою. На сьогодні відомо дуже мало таких систем;
- Великі огляди неба в різних діапазонах енергій за допомогою сучасних інструментів;
- Пошук галактик на різних стадіях процесів злиття, які спостережені в різних діапазонах:
  - в оптичних спектрах наявні ознаки подвійності (подвійні піки емісійних ліній),
  - випромінювання в жорсткому рентгені є свідченням активності ядра галактики,
  - інтенсивне випромінювання в радіо-діапазоні є маркером етапу зближення двох активних чорних дір

# Інструменти



Swift –  
жорсткий рентген

Зображення галактики [HB89] 1354+195 в оптичному та радіодіапазонах (контури відповідають радіозображенню). Видовжена структура галактики в радіодіапазоні свідчить про наявність в ній «джета».



VLA –  
система радіо-телескопів

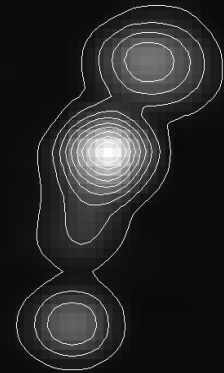


SDSS –  
оптичний огляд неба

Оптика



Радіо





**«АРГОНАВТИ» ДЯКУЮТЬ ЗА УВАГУ!**

