

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Фізичний факультет

Кафедра астрономії та космічної інформатики

Допущено до захисту

В.о. зав. кафедри астрономії та космічної інформатики

проф. Шкуратов Ю.Г. 

13.06.2025

Оцінка: відмінно

Голова ЕК

проф. Іванова Олександра



19.06.2025

Ковальов Богдан Сергійович

Класифікація позагалактичних джерел в огляді J-PAS:

**Виявлення гравітаційно-лінзованих квазарів за
багатосмуговими даними.**

Кваліфікаційна робота

на здобуття освітнього ступеня

«бакалавр» за спеціальністю

104 «Фізика та астрономія»

освітньо-професійна програма «Астрономія та

космічна інформатика»



Науковий керівник – доцент, док. фіз.-мат. н.,

О. В. Сергєєв

Харків 2025

Анотація

Ковальов Б.С. Класифікація позагалактичних джерел в огляді J-PAS: Виявлення гравітаційних-лінзованих квазарів за багатосмуговими даними. -Рукопис.

Дипломна робота на здобуття освітнього ступеня “Бакалавр” за спеціальністю 104 – «фізика та астрономія». - Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2025.- 39с. - Табл. 1. Іл. 15.

Метою роботи є аналіз близько 800 000 об’єктів з раннього випуску даних JPAS-EDR, проведення спектральної класифікації об’єктів та пошук потенційних кандидатів у гравітаційно-лінзовані квазари. Дослідження проводилось з залученням додаткових каталогів, таких як: Gaia, SDSS eBOSS та WISE. У результаті було відібрано 26 кандидатів за допомогою автоматизованих методів дослідження. Після чого детально проаналізовано їх спектральний тип та можливу гравітаційно-лінзовану природу. Відібрано найбільш цікаві кандидати, які в подальшому можуть слугувати для більш детальних спектроскопічних спостережень та досліджень природи цих об’єктів.

Ключові слова: гравітаційно-лінзований квазар, каталог JPAS, спектральна класифікація.

Зміст

1	Вступ	3
1.1	Актуальність дослідження гравітаційно лінзованих квазарів. . .	3
1.2	Огляд сучасних астрономічних оглядів та їх значення для вивчення Всесвіту	4
1.3	Мета та завдання дипломної роботи.	5
2	Основи гравітаційного лінзування	7
2.1	Поняття гравітаційного лінзування та його фізичні основи. . . .	7
2.2	Квазари: характеристики, класифікація та значення у сучасній астрономії.	10
2.3	Попередні дослідження гравітаційно лінзованих квазарів: методи та результати.	12
3	Пошук кандидатів ГЛК у цифрових оглядах неба	15
4	Огляд J-PAS	18
4.1	Опис проекту J-PAS: мета, інструменти та методи спостережень.	18
4.2	Дані раннього випуску J-PAS (JPAS-EDR): обсяг, формат та доступність даних.	19
4.3	Порівняння J-PAS з спектроскопічними спостереженнями обзору SDSS.	20
5	Методологія пошуку гравітаційно лінзованих квазарів у огляді JPAS	23
5.1	Детальний аналіз кандидатів на гравітаційно лінзовані квазари .	24
6	Висновки	28
	Література	30
	Додаток	32

1. Вступ

Гравітаційне лінзування – унікальне астрофізичне явище, що виникає внаслідок викривлення простору-часу під впливом масивних об’єктів, таких як галактики або скупчення галактик. Завдяки цьому ефекту світло від надзвичайно віддалених об’єктів, що зазвичай недоступне навіть найсучаснішим телескопам, відхиляється або заломлюється, коли проходить повз масивні структури. При цьому спостерігаються різні форми лінзування, зокрема мікролінзування, сильне та слабе лінзування. Мікролінзування виникає, коли компактний об’єкт, наприклад, зоря чи планета, короткочасно фокусує світло від далекого джерела, що призводить до тимчасового збільшення його яскравості. Сильне лінзування проявляється через викривлення світла настільки значно, що спостерігач може побачити яскраві дуги або навіть кілька зображень одного джерела, що відбувається за участю масивних галактик чи скупчень. Слабе лінзування, хоча й менш помітне, характеризується тонкими, систематичними деформаціями форм багатьох галактик, що дозволяє дослідникам відстежувати розподіл маси у Всесвіті.

1.1. Актуальність дослідження гравітаційно лінзованих квазарів.

Гравітаційно лінзовані квазари являють собою унікальний клас астрономічних об’єктів, які відіграють важливу роль у дослідженні фундаментальних питань астрофізики та космології. Ці рідкісні системи, де світло далекого квазара викривляється гравітаційним полем масивного об’єкта - галактики, розташованого на передньому плані, пропонують неперевершені можливості для вивчення Всесвіту. Їхня відносна рідкість, однак, підкреслює цінність кожного нововиявленого об’єкта для поповнення статистичних вибірок та подальших досліджень.

Змінність випромінювання квазарів робить їх ідеальними для космографії часових затримок. Вимірюючи різницю в часі приходу світла від різних зображень одного квазара, астрономи можуть визначати відстані у Всесвіті та, зокрема, уточнювати значення сталої Габбла – параметра, що характеризує швидкість розширення Всесвіту. Наразі існує значна розбіжність між значення-

ми сталої Габбла, отриманими з спостережень раннього та пізнього Всесвіту, що робить незалежні вимірювання за допомогою гравітаційно лінзованих квазарів особливо актуальними.

Компактність квазарів як джерел світла дозволяє використовувати явище мікролінзування для дослідження розподілу маси на малих масштабах у лінзуючих галактиках. Аналізуючи зміни яскравості зображень квазара, спричинені проходженням зір лінзуючої галактики перед лінією зору, можна отримати інформацію про зоряний склад цих галактик. Крім того, мікролінзування надає можливість вивчати внутрішню структуру квазарів на великих червоних зміщеннях, що є складним завданням для прямих спостережень.

Гравітаційне лінзування є унікальним явищем, оскільки воно залежить лише від гравітації і тому є прямим методом дослідження розподілу темної матерії у Всесвіті. Вивчення лінзованих квазарів підтверджує теорію прискореного розширення Всесвіту, яка тісно пов'язана з концепцією темної енергії. Більше того, лінзовані квазари можуть допомогти у виявленні найменших згустків темної матерії вздовж лінії зору. Ретельний аналіз розподілу зображень лінзованих квазарів надає важливу інформацію про загальну масу лінзи та її розподіл, включаючи внесок темної матерії.

1.2. Огляд сучасних астрономічних оглядів та їх значення для вивчення Всесвіту

Для успішного пошуку та дослідження гравітаційно лінзованих квазарів вирішальне значення мають масштабні астрономічні огляди неба. У цьому контексті особливий інтерес представляють дані раннього випуску огляду Javalambre Physics of the Accelerating Universe Astrophysical Survey (J-PAS) Early Data Release (EDR)

J-PAS EDR надає наукові дані, отримані за допомогою унікальної системи з 54 вузькосмугових, 2 середньосмугових та 1 широкосмугового (iSDSS) фільтрів, покриваючи ефективну площу близько 17 квадратних градусів неба, з яких 12 квадратних градусів спостерігалися у всіх 57 фільтрах [12]. Основною метою J-PAS є фотометричне картування значної частини неба з безпрецедентною кількістю спектральних смуг. Використання 56 вузькосмугових оптичних фільтрів, дозволяє отримувати однорідну багатокольорову інформацію для всіх

спостережуваних об'єктів, що робить J-PAS потенційно найповнішим фотометричним оглядом Всесвіту. Огляд здійснюється за допомогою 2.5-метрового телескопа JST250, оснащеного камерою JPCam з понад 1.2 мільярдами пікселів, яка є однією з найбільших астрономічних камер у світі. Очікується, що завдяки своїй вузькосмуговій системі фільтрів J-PAS зможе виявити та точно виміряти червоні зміщення понад 3 мільйонів квазарів до $z \sim 6$, а також надати сотні кандидатів у сильно лінзовані системи. Унікальна система вузькосмугових фільтрів J-PAS забезпечує низькороздільну спектроскопію для кожного виявленого об'єкта, що є особливо цінним для ідентифікації квазарів за їхніми характерними емісійними лініями та визначення фотометричних червоних зміщень з високою точністю. Велика кількість вузьких смуг дозволяє значно краще розрізняти спектральні особливості квазарів порівняно з широкосмуговими оглядами, що підвищує ефективність їхнього виявлення та подальшого вивчення.

Комбіноване використання даних астрономічних оглядів має значний потенціал для дослідження гравітаційно лінзованих квазарів. J-PAS EDR пропонує унікальну можливість завдяки великій кількості вузьких спектральних смуг, що фактично забезпечує низькороздільні спектри для значної кількості об'єктів.

У цій роботі ми також використовували дані інших оглядів, зокрема Gaia, яка забезпечує високу кутову роздільну здатність, необхідну для розрізнення близько розташованих зображень лінзованих квазарів. Огляд WISE надає інформацію в інфрачервоному діапазоні, що є корисною для відбору кандидатів у квазари та характеристики властивостей лінзуючих систем. Нарешті, SDSS забезпечує велике покриття неба та цінні спектроскопічні дані, необхідні для підтвердження природи квазарів і вивчення їхніх властивостей. Багатохвильовий підхід, що поєднує оптичні (J-PAS EDR, Gaia, SDSS) та інфрачервоні (WISE) дані, разом із високою роздільною здатністю Gaia та спектроскопією SDSS, є оптимальним для виявлення та характеристики гравітаційно лінзованих квазарів.

1.3. Мета та завдання дипломної роботи.

Метою даної дипломної роботи є пошук нових гравітаційно лінзованих квазарів у даних раннього випуску огляду неба J-PAS (J-PAS EDR) з використанням даних оглядів Gaia, WISE та SDSS для підтримки та верифікації

результатів.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- Розробити або адаптувати методи для ідентифікації кандидатів у гравітаційно лінзовані квазари в наборі даних J-PAS EDR.
- Використати дані високої роздільної здатності Gaia для пошуку множинних зображень та відсіювання потенційних забруднювачів.
- Застосувати інфрачервоні фотометричні дані WISE для характеристики кандидатів та їх відбору на основі кольорових критеріїв квазарів.
- Використати дані SDSS для порівняння з відомими системами лінзованих квазарів та для потенційної спектроскопічної верифікації найбільш перспективних кандидатів (за наявності відповідних спектрів у SDSS для обраних областей неба).
- Оцінити ефективність використання даних J-PAS EDR у поєднанні з іншими оглядами для пошуку гравітаційно лінзованих квазарів.
- Проаналізувати властивості виявлених кандидатів та оцінити їхню потенційну наукову цінність для подальших досліджень у галузі космології та астрофізики.

Використання даних J-PAS EDR як основного джерела для пошуку, доповнене даними Gaia, WISE та SDSS, дозволить скористатися перевагами кожного огляду для досягнення мети дослідження.

2. Основи гравітаційного лінзування

2.1. Поняття гравітаційного лінзування та його фізичні основи.

Гравітаційне лінзування — це явище, при якому масивний об'єкт (такий як галактика чи скупчення галактик) викривлює простір-час навколо себе, внаслідок якого світлові промені від далекого джерела, наприклад, квазара або галактики, які проходять поруч із таким масивним об'єктом, зазнають відхилення, що призводить до спотворення, збільшення або навіть створення декількох зображень джерела.

Це явище використовується для дослідження розподілу маси у Всесвіті, оскільки навіть невидима темна матерія впливає на кут відхилення світла.



Рис. 1: Приклад сильного гравітаційного лінзування, зафіксованого космічним телескопом HUBBLE

Викривлення світла під дією гравітаційного поля небесних об'єктів вперше було передбачене Ейнштейном у 1915 році та експериментально підтверджене під час сонячного затемнення 1919 року [7]. Кут відхилення світлового променя, що проходить на відстані b від масивного об'єкта точкової маси M , можна оцінити за формулою:

$$\hat{\alpha} = \frac{4GM}{c^2 b} \quad (1)$$

де:

- G — гравітаційна стала,
- M — маса об'єкта-лінзи,
- c — швидкість світла,
- p — прицільний параметр (відстань від центру маси до шляху променя).

У загальному випадку гравітаційного лінзування, положення зображення визначається *лінзовим рівнянням*, яке пов'язує кутове положення джерела (β) з положенням зображення (θ) та кутом відхилення світла [9]:

$$\beta = \theta - \frac{D_{LS}}{D_S} \hat{\alpha}(\theta) \quad (2)$$

де:

- D_S — відстань від спостерігача до джерела,
- D_L — відстань до лінзи,
- D_{LS} — відстань між лінзою та джерелом.

У випадку ідеального вирівнювання джерела, лінзи і спостерігача, виникає симетричне *кільце Ейнштейна*, кутовий радіус якого задається:

$$\theta_E = \sqrt{\frac{4GM}{c^2} \cdot \frac{D_{LS}}{D_L D_S}} \quad (3)$$

Це ключова характеристика масштабу гравітаційного лінзування, яка залежить лише від маси об'єкта та геометрії системи.

Гравітаційне лінзування змінює не лише положення та форму зображення, а й його блиск. У випадку **точкової лінзи** та **точкового джерела** сумарне посилення задається наступною формулою:

$$A(u) = \frac{u^2 + 2}{u\sqrt{u^2 + 4}} \quad (4)$$

де:

- u — безрозмірна відстань між джерелом і лінзою в одиницях радіуса Ейнштейна R_E ,
- R_E — радіус Ейнштейна

Ця формула справедлива для ідеалізованого випадку, але вона добре описує поведінку блиску у мікролінзуванні, коли джерело проходить поблизу лінзуючого об'єкта. Максимальне посилення досягається при $u \rightarrow 0$, і в цьому випадку:

$$A(u \rightarrow 0) \rightarrow \infty$$

але на практиці джерело завжди має скінченний розмір, тому посилення обмежене.

Одним із ключових інструментів вивчення гравітаційно лінзованих систем є аналіз затримок у часі між зображеннями (Δt), які виникають через різницю в довжині геодезичних шляхів та гравітаційну потенційну затримку [6]:

$$\Delta t_{ij} = \frac{D_{\Delta t}}{c} \left[\frac{1}{2}(\theta_i^2 - \theta_j^2) - \psi(\theta_i) + \psi(\theta_j) \right] \quad (5)$$

де:

- $D_{\Delta t}$ — "затримкова" відстань, яка залежить від космологічних параметрів,
- θ_i, θ_j — положення компонент на небі,
- ψ — гравітаційний потенціал лінзи.

Через ці затримки можна отримати значення сталої Габбла H_0 незалежно від інших методів. Оскільки "затримкову" відстань можна визначити таким чином:

$$D_{\Delta t} = (1 + z_L) \cdot \frac{D_L D_S}{D_{LS}}$$

де D_L, D_S, D_{LS} — кутові діаметральні відстані, що залежать від космологічних параметрів. Беремо до уваги, що сама відстань світності D_L залежить напряду від постійної Габбла:

$$D_{AB}(z) = (1 + z) \int_{z_A}^{z_B} \frac{c}{H(z')} dz'$$

за фіксованої геометрії та моделі маси лінзи. Це дає змогу визначати H_0 незалежно від інших методів значення постійної Габбла.

Існує 3 види гравітаційного лінзування:

- Сильне лінзування - вид гравітаційного лінзування при якому зміна форми є значною і при цьому ми бачимо декілька зображень джерела. Досить часто при такому виді лінзування можна побачити кільця Ейнштейна.
- Слабке лінзування - вид гравітаційного лінзування при якому видима зміна форми об'єкту, що лінзується є малою і може бути виявлена лише при великій кількості статистичних спостережень.
- Мікролінзування - вид гравітаційного лінзування при якому ми не можемо побачити розчіплення зображень джерела, але є видима зміна яскравості. Одним з типових випадків мікролінзування є зірки Чумацького Шляху лінзовані зірками у віддаленій галактиці або ще віддаленими квазарами.

2.2. Квазари: характеристики, класифікація та значення у сучасній астрономії.

Квазари (від англ. *quasi-stellar radio source*) — це надзвичайно яскраві та енергетичні активні ядра далеких галактик. Джерелом світності у квазарів є центральна надмасивна чорна діра, яка активно акреціює матерію. Світність деяких особливо активних квазарів може перевищувати світність цілої галактики у тисячі разів, квазари є одними з найяскравіших об'єктів, що доступні для спостереження.

Квазари зазвичай категоризуються, як підкласом активних ядер галактик (AGN, *Active Galactic Nuclei*). Як правило, вони мають значне червоне зміщення, яке має космологічне походження, а тому квазари є важливими космологічними маяками для вивчення структури Всесвіту на великих масштабах, розподілу матерії та фізики Всесвіту.

У центрі квазара міститься надмасивна чорна діра масою від 10^6 до $10^{10} M_{\odot}$, яка поглинає навколишню матерію через акреційний диск. Гравітаційна енергія, що вивільняється при падінні речовини, частково перетворюється на теплову та електромагнітну енергію, що випромінюється в дуже широкому діапазоні: від радіохвиль до рентгенівського та гамма-діапазону.

Світність квазара можна оцінити через гравітаційне перетворення енергії у акреційному процесі:

$$L \approx \eta \dot{M} c^2 \quad (6)$$

де:

- L — світність квазара,
- η — коефіцієнт ефективності (зазвичай ~ 0.1),
- $\dot{M}$ — швидкість акреції речовини,
- c — швидкість світла.

При цьому потік акреції обмежений так званою світністю Еддінгтона — максимальною світністю, при якій радіаційний тиск врівноважує гравітаційне притягання [9]:

$$L_{\text{Edd}} = \frac{4\pi G M m_p c}{\sigma_T} \quad (7)$$

де:

- M — маса чорної діри,
- m_p — маса протона,
- σ_T — переріз Томсона для розсіяння фотонів електронами.

Квазари, світність яких наближається до L_{Edd} , є надзвичайно потужними джерелами випромінювання, а їх спектри містять як широкі емісійні лінії (через швидкий рух газу в гравітаційному полі), так і сильний неперервний спектр.

Квазари класифікуються за кількома ознаками:

- **Радіогучні та радіотихі** — залежно від сили радіовипромінювання.
- **Тип I** — домінують широкі емісійні лінії, сильний оптичний та ультрафіолетовий континуум.
- **Тип II** — вузькі лінії, з погашеним центральним джерелом через міжзоряний пил.

- **Квазари з високим червоним зміщенням** ($z > 6$) — об'єкти раннього Всесвіту, які дозволяють вивчати епоху реіонізації.

Як правило, квазари можуть змінювати свій блиск з періодом від декількох днів до багатьох років. Вивчення квазарів є дуже важливим для нашого розуміння появи Всесвіту та дослідження космосу:

- Вони слугують маяками для вивчення міжгалактичного середовища через спектроскопію поглинання.
- Їхнє просторове розташування дозволяє досліджувати великомасштабну структуру Всесвіту.
- Спостереження квазарів з великим червоним зміщенням ($z > 7$) відкриває вікно у ранній Всесвіт, коли ще формувались перші галактики [4].
- Через гравітаційне лінзування квазари можуть використовуватись для вимірювання космологічних параметрів (постійної Габбла, кривини Всесвіту тощо).

Розглянемо більш детально дослідження гравітаційно лінзованих квазарів, як вони проводилися та яких результатів вдалося досягти.

2.3. Попередні дослідження гравітаційно лінзованих квазарів: методи та результати.

Гравітаційно лінзовані квазари — це особливий клас астрономічних об'єктів, які утворюються, коли світло від далекого квазара розщиплюється під дією масивного об'єкта (наприклад, галактики) на лінії зору до спостерігача. Через лінзовий ефект ми можемо спостерігати декілька зображень одного й того ж джерела, що дозволяє проводити точні космологічні вимірювання, вивчати структуру і розподіл темної матерії у галактик-лінзі.

Пошук гравітаційно лінзованих квазарів є складною задачею, наразі підтверджено існування лише 300 таких квазарів рис. 2.

Перший підтверджений гравітаційно лінзований квазар, Q0957+561, був відкритий у 1979 році. Він продемонстрував наявність двох яскравих зображень квазара на відстані $\sim 6''$ одне від одного з ідентичними спектрами.

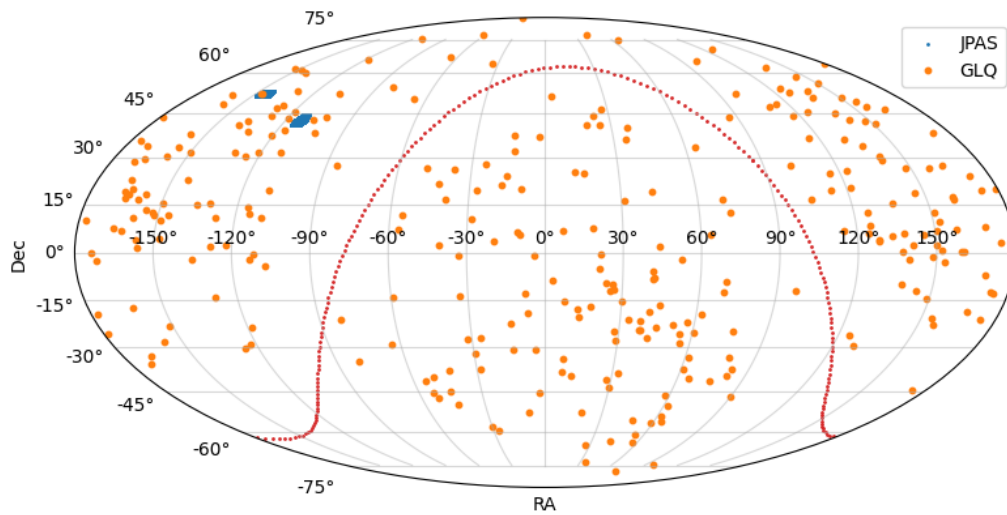
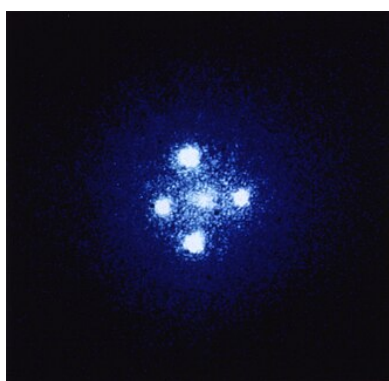


Рис. 2: Розподіл відомих гравітаційно лінзованих квазарів на небесній сфері (помаражеві точки) та площа покриття J-PAS EDR (синя область). Червоні точки позначають галактичний екватор.

Одними з найвідоміших і найдослідженіших гравітаційно лінзованих квазарів є:

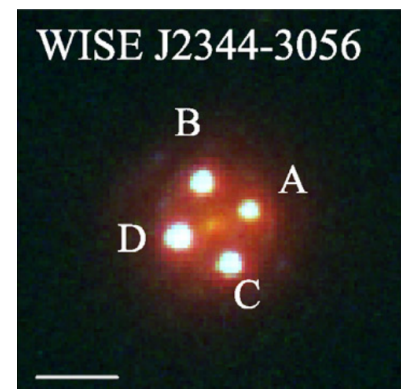
- **Q2237+030** — система з чотирма зображеннями (так званий «хрест Ейнштейна»), створена скупченням галактик (рис. 3а).
- **QSO 0957+561** — перший відкритий гравітаційно лінзований квазар (рис. 3б).
- **WISE J2344-3056** — лінзований квазар із високим червоним зміщенням ($z > 6$), відкритий у ІЧ-огляді WISE (рис. 3в).



(а) Q2237+030



(б) QSO 0957+561



(в) WISE J2344-3056

Рис. 3: Зображення відомих квазарів

Вивчення гравітаційно лінзованих квазарів є важливим для багатьох розділів астрономії [3]:

- **Космологія.** Дає змогу незалежно вимірювати H_0 , кривину простору та структуру темної енергії.
- **Темна матерія.** Флуктуації яскравості, аномальні співвідношення яскравостей зображень — індикатор наявності субструктур у гало лінзової галактики.
- **Структура квазара.** Аналіз мікролінзування окремих компонент дозволяє досліджувати розміри акреційного диска.

Усе більше оглядів (зокрема, **J-PAS**) мають потенціал суттєво збільшити кількість відомих лінзованих квазарів завдяки широкому полю зору, точній фотометрії та спектrophотометрії.

3. Пошук кандидатів ГЛК у цифрових оглядах неба

Гравітаційно лінзовані квазари проявляються як кілька (2 і більше) точкових об'єктів, розташованих близько один до одного на небі, з майже однаковими характеристиками (яскравістю, кольором, формою). У великих цифрових оглядах неба такі конфігурації можна виявляти, аналізуючи каталоги об'єктів на наявність груп зореподібних джерел з малими кутовими відстанями. Історично одними з перших були огляди SDSS (Sloan Digital Sky Survey) та PanSTARRS, а пізніше DES (Dark Energy Survey) та KiDS (Kilo-Degree Survey) та інші, що дозволили знайти десятки гравітаційно лінзованих квазарів. Сучасні підходи використовують величезні обсяги даних новітніх оглядів та автоматизовані методи відбору кандидатів. Зокрема, алгоритми пошуку виділяють компактні групи точкових джерел, після чого ці групи фільтруються за подібністю кольорів та ймовірністю того, що об'єкти є квазарами. На фінальному кроці нерідко застосовується візуальна перевірка зображень експертами або волонтерами для відбору найпереконливіших конфігурацій.

Основними труднощами пошуку є велика кількість джерел (сучасні каталоги містять десятки мільйонів кандидатів у квазари) що унеможливають ручний перегляд, тому потрібна розробка алгоритмів, що автоматизують пошук. При автоматизованому пошуку є значний рівень хибних спрацьовувань алгоритмів селекції завдяки випадковим проєкціям двох незв'язаних квазарів або зір, які можуть імітувати лінзований об'єкт. Для зменшення помилок застосовують жорсткі критерії відбору - наприклад, вимагають дуже схожих кольорів у всіх компонентів кандидата, а також оцінюють ймовірність того, що кожен компонент є саме квазаром (за допомогою фотометричних класифікаторів). Однак цей підхід може пропускати реальні системи, якщо, скажімо, одне із зображень значно спотворено блиском лінзуючої галактики, і тому має інші кольори. Баланс між повнотою і чистотою вибірки досягається налаштуванням порогів алгоритмів та подальшою перевіркою людиною.

Також важливим фактором є той факт, що роздільна здатність оглядів обмежена: якщо зображення квазара розділені менше ніж на кілька кутових секунд, наземні знімки середньої якості можуть зливати їх в одну пляму (див. рис. 4). Для вирішення цього залучають високоякісні зображення (наприклад, з космічного телескопа Hubble або адаптивної оптики великих телескопів) на

етапі підтвердження, а також дані астрометричних місій на кшталт Gaia, що мають надвисоку кутову роздільну здатність. Ще один підхід - пошук кореляцій змінності: квазари змінюють яскравість, і в лінзованій системі ці зміни повторюються в різних зображеннях з певною часовою затримкою. Виявлення синхронної змінності в групі близьких джерел служить сильним підтвердженням лінзування, хоча такий аналіз потребує довготривалих спостережень.

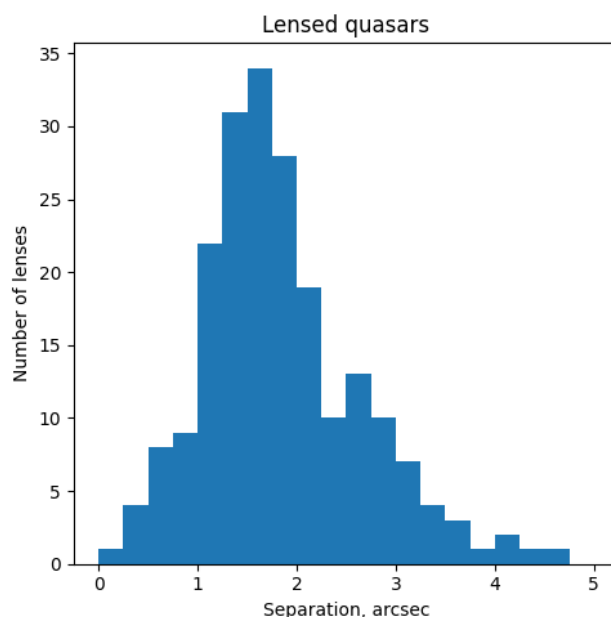


Рис. 4: Гістограма розподілу кутових відстаней між зображеннями гравітаційно лінзованих квазарів.

Після виявлення фотометричних кандидатів наступним критичним етапом є спектроскопічне підтвердження. Метою є довести, що всі компоненти кандидата дійсно є зображеннями одного і того ж далекого квазара, а не випадковими сусідами. Для цього отримують спектри кожного компонента: у випадку гравітаційної лінзи спектри будуть практично ідентичними, показуючи однакові емісійні лінії квазара на однаковому червоному зсуві. Класичний приклад - перше відкриття лінзованого квазара Q0957+561: дослідники помітили, що два квазари на небі мали майже однакові спектри, що й вказало на лінзування одним джерелом. Окрім збігу спектрів квазара, часто в спектрах вдається зареєструвати ознаки галактики-лінзи на передньому плані - наприклад, поглинальні лінії на іншому (меншому) червоному зсуві, що відповідає галактиці. Наявність спектральних ознак об'єкта-лінзи слугує додатковим доказом, що конфігурація є саме гравітаційною лінзою, а не подвійною системою квазарів.

Спектроскопічні труднощі: Отримати якісні спектри всіх компонентів лін-

зованого квазара буває непросто. Зображення часто знаходяться на відстані лише кількох арксекунд або навіть долей арксекунд одне від одного. При використанні спектрографа зі щільною її потрібно точно зорієнтувати, щоб захопити одразу два (чи більше) зображення квазара. Якщо зображення дуже зближені ($< 1''$), навіть при правильній орієнтації вони можуть зливатися, і спектр виходить комбінованим. Рішенням є застосування інтегральних польових спектрографів (IFU), які дозволяють розділити просторово перекриті джерела в процесі обробки, або використання адаптивної оптики на великих телескопах для розділення зображень перед введенням у спектрограф. Друга проблема - слабкість компонентів: лінзовані зображення можуть бути тьманими (особливо якщо лінза дає мале підсилення яскравості), тому потрібні довгі витримки на великих телескопах. Час телескопа дорогий, а кандидатів багато (сотні), тому практикується попередній пріоритетний відбір: спочатку підтверджують найнадійніші кандидати, а менш переконливі лишають на потім. В деяких випадках часткове підтвердження можна отримати зі спектроскопічних оглядів: якщо хоча б для одного компонента вже є спектр у базі даних (наприклад, отриманий у ході огляду SDSS/eBOSS) і відомий його червоний зсув, можна перевірити інший компонент на той самий червоний зсув. Для остаточного підтвердження нових систем зазвичай проводяться цілеспрямовані спектральні спостереження на великих телескопах.

Таким чином, пошук гравітаційно лінзованих квазарів є багаторівневим процесом. Спершу знімки широких оглядів неба аналізуються, щоб знайти характерні групи схожих об'єктів - кандидати на лінзування. Потім ці кандидати проходять ретельну перевірку, насамперед шляхом спектроскопії, яка дає змогу однозначно підтвердити, чи належать множинні зображення одному джерелу. Комбінація сучасних оглядових даних та передових методів аналізу (автоматизація, машинне навчання) дозволяє долати труднощі цього завдання і відкривати все більше нових лінзованих квазарів, що розширює статистичну вибірку для подальших космологічних досліджень.

4. Огляд J-PAS

Огляд J-PAS (Javalambre Physics of the Accelerating Universe Astrophysical Survey) є унікальним фотометричним проєктом, який поєднує морфологічну інформацію про об'єкти неба з їхніми спектральними характеристиками. Це досягається завдяки використанню 54 вузькосмугових фільтрів, що дозволяє отримувати спектральну енергію розподілу (SED) для кожного об'єкта. Такий підхід є особливо цінним для ідентифікації гравітаційно лінзованих квазарів, оскільки дозволяє виявляти об'єкти з подібними спектральними властивостями, що є ключовим для підтвердження їхньої ідентичності.

4.1. Опис проєкту J-PAS: мета, інструменти та методи спостережень.

J-PAS - це астрономічний проєкт, що спрямований на дослідження прискореного розширення Всесвіту та інших фундаментальних космологічних питань. Проєкт передбачає проведення фотометричного огляду приблизно 8500 квадратних, використовуючи багатодіапазонну фотометрію з використанням 56 фільтрів, 54 з яких є вузькосмуговими (~ 12.5 нм) та 2 широкосмугові фільтри.

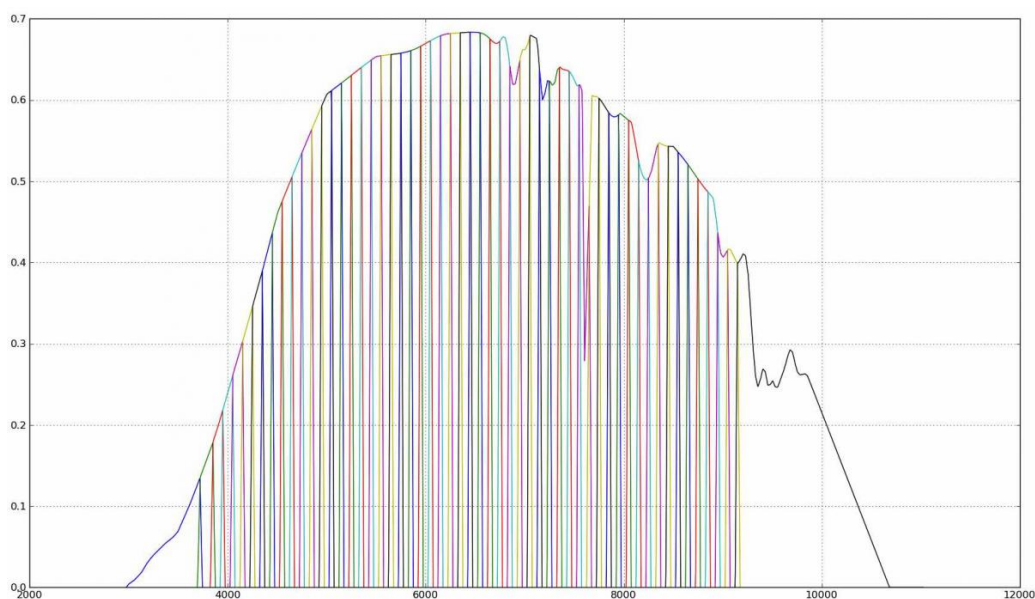


Рис. 5: Пропускна можливість фільтрів (включаючи квантову ефективність ПЗЗ, відбиття алюмінію та телуричні лінії)

Основною метою J-PAS є створення тривимірної карти Всесвіту з без-

прецедентною точністю, що дозволить дослідникам вивчати великомасштабну структуру космосу, еволюцію галактик та природу темної енергії. Проект планує виміряти фотометричні червоні зміщення для близько 9×10^7 галактик та квазарів, досягаючи точності $0,003(1+z)$. Набір фільтрів дозволяє отримати майже всю необхідну спектроскопічну інформацію для кожної зірки або галактики, яку він охоплює. Високоточне збирання даних надає унікальну можливість для аналізу різноманітних характеристик небесних тіл, включно зі структурою та властивостями галактик, зірок та інших об'єктів у космічному просторі. Система фільтрів була спеціальним чином оптимізована для трьох основних наукових цілей [12]:

- Точно виміряти червоні зміщення для галактик до $z \approx 1$;
- Вивчити зоряні популяції в найближчих галактиках;
- Розрізнення широких спектральних особливостей об'єктів таких як супернови та активні галактичні ядра.

Основним інструментом проєкту є JST250 - це 2.55 метровий альт-азимутальний телескоп з конфігурацією Річі-Кретьєна. Завдяки своїй швидкій оптиці та малій відстані між дзеркалами M1 та M2 (2.2 м), JST250 є дуже компактним телескопом, не дивлячись на немаленький діаметр (12 м).

Перша камера, яка була встановлена на цей телескоп, це JPCam. JPCam — це камера, яка складається з 14 ПЗС матриць кожна з яких має розмір 9200x9200 пікселів кожен з яких розміром 10x10 мікронів що має масштаб 0.2267" на піксель.

JPCam створювалась спеціально для фотометрії північного неба. Вона використовує 54 вузьких спектральних фільтра, які розташовані рівномірно від довжини хвилі у діапазоні від 3500 до 10000 Å та 2 широких фотометричних фільтрів.

4.2. Дані раннього випуску J-PAS (JPAS-EDR): обсяг, формат та доступність даних.

У листопаді 2024 року було опубліковано перший випуск даних J-PAS (JPAS-EDR), який надає доступ до даних спостережень та охоплює ефективну

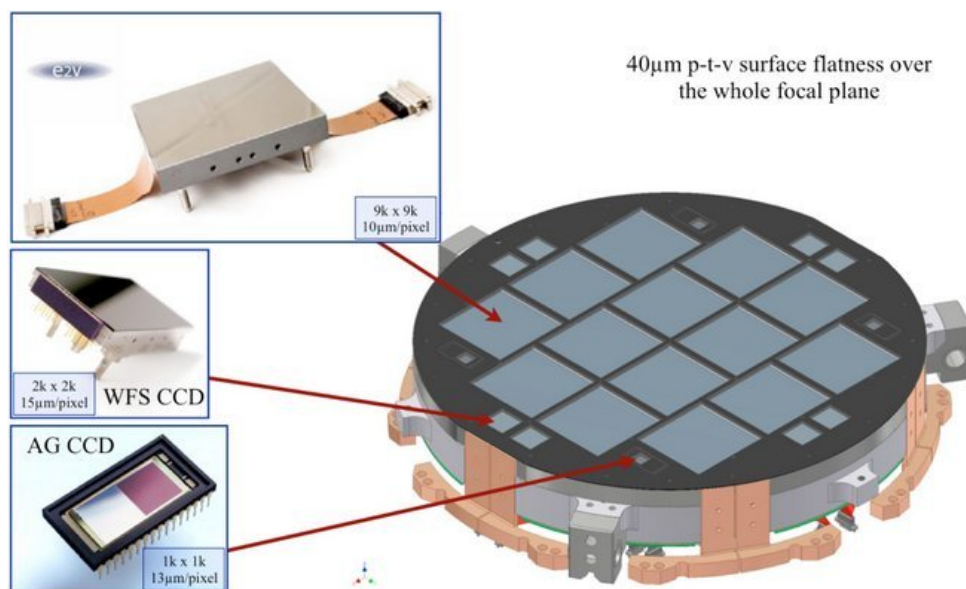


Рис. 6: Фокальна площина JPCam

площу 17 квадратних градусів (12 квадратних градусів з усіма фільтрами J-PAS). Він базується на зображеннях, отриманих з травня 2023 року по травень 2024 року. J-PAS EDR містить порядку 800 000 об'єктів у своєму огляді, які включають як каталожні дані про вимірювані об'єкти (координати, спектри, світності), так і зображення.

Дані містяться на порталі каталогів CEFCA [10], а також на офіційному сайті JPAS [12], що забезпечує відкритий доступ до зображень та каталогів для подальших досліджень. Ми отримали дані за допомогою SQL запиту у форматі .csv. Після чого обробили за допомогою мови програмування Python у зручний формат для подальшого використання у дослідженні.

4.3. Порівняння J-PAS з спектроскопічними спостереженнями обзору SDSS.

Ми провели ретельний аналіз відомих об'єктів, представлених у спектроскопічному огляді SDSS Extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey (SDSS eBOSS) [2].

SDSS eBOSS зосереджений на спостереженні галактик і квазарів у діапазоні відстаней (червоних зміщень), наразі повністю недослідженому іншими тривимірними мапами великомасштабної структури у Всесвіті. Заповнюючи цю прогалину, eBOSS створює найбільший на сьогоднішній день огляд об'єму Всесвіту. Ця область відповідає епосі, коли Всесвіт переходив від уповільнення

через вплив гравітації до поточної епохи прискорення [11].

Цій огляд охоплює декілька тисяч квадратних градусів неба, знаходячись в межах зони SDSS-III BOSS (Baryon Oscillation Spectroscopic Survey). Він включає як Північну Галактичну Шапку (NGC), так і Південну Галактичну Шапку (SGC). Спостереження eBOSS проводилися за допомогою 2.5-метрового телескопа Фонду Слоуна (Sloan Foundation Telescope), розташованого в обсерваторії Апачі-Пойнт (Нью-Мексико, США). Для отримання даних використовувались спектрографи BOSS, які були вдосконалені для SDSS-III. Ці інструменти охопили діапазон довжин хвиль від 360 до 1000 нм. Основними цілями eBOSS були галактики та квазари у діапазоні $0.8 < z < 3$. Дані були отримані за допомогою мови програмування Python з офіційного сайту SDSS у форматі FITS файлів. Після чого були оброблені для прямого порівняння зі спектрами JPAS.

Було проведено детальне порівняння мультиспектральних даних у огляді JPAS з даними SDSS eBOSS. Для цього ми здійснили порівняння одних і тих же астрономічних об'єктів за обома наборами даних, враховуючи їхні фотометричні характеристики у різних фільтрах J-PAS (див. рис. 7).

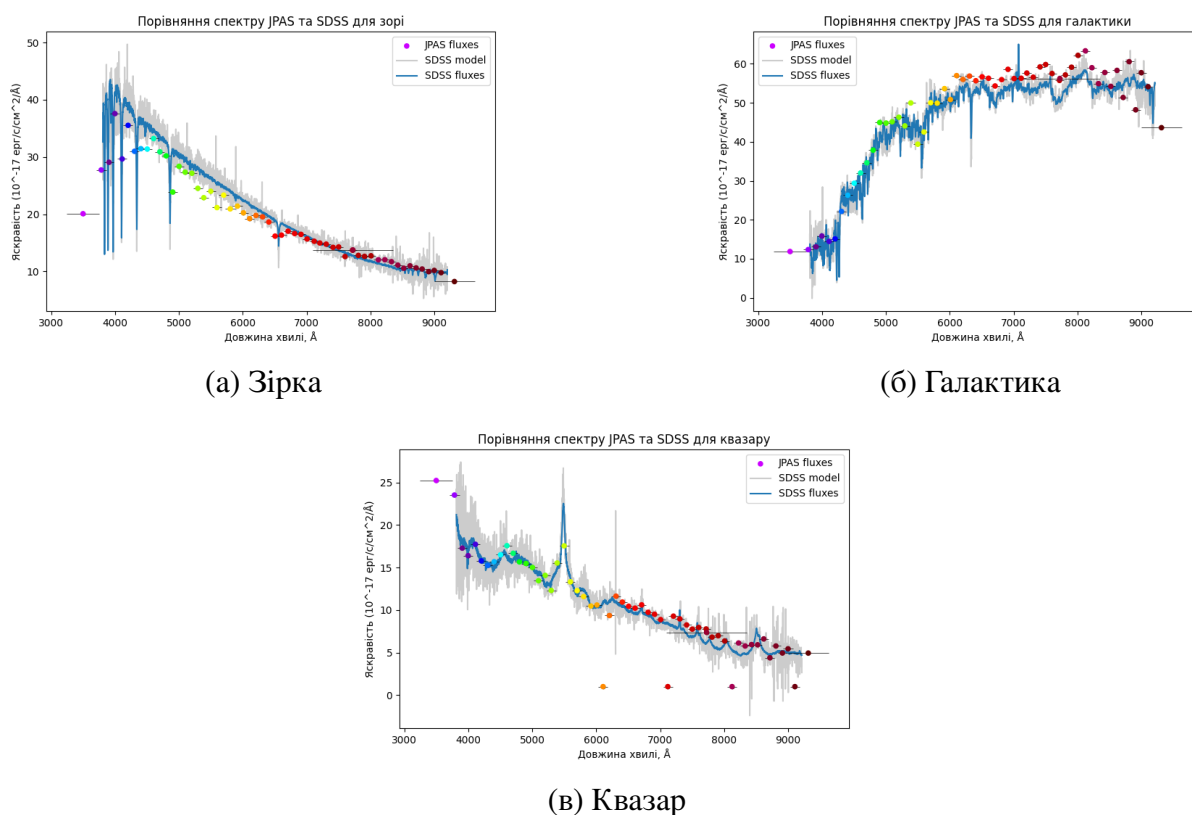


Рис. 7: Порівняння спектрів JPAS та SDSS для різних типів об'єктів

У результаті аналізу було встановлено, що дані J-PAS демонструють висо-

ку узгодженість у відокремленні квазарів, зірок і галактик. Ми змогли побачити чітке розділення цих класів об'єктів у відповідних діаграмах кольорів. Таким чином, дані J-PAS не лише підтверджують спектроскопічні класифікації SDSS eBOSS, але й потенційно можуть слугувати основою для автоматичної класифікації об'єктів на великих вибірках без необхідності спектроскопії.

5. Методологія пошуку гравітаційно лінзованих квазарів у огляді JPAS

Перший випуск даних J-PAS EDR охоплює приблизно 17 квадратних градусів неба, що суттєво обмежує можливості виявлення таких рідкісних об'єктів, як гравітаційно лінзовані квазари. У межах цього дослідження було проаналізовано всі $\approx 800,000$ об'єкти, представлені у каталозі JPAS-EDR, з метою пошуку множинних зображень, використовуючи дані високої роздільної здатності з космічного телескопа Gaia.

Використовуючи дані Gaia Data Release 3 ([5]), ми відібрали кандидатів у гравітаційно лінзовані квазари (GLQs) шляхом пошуку систем з кількома зображеннями, розділеними на менше ніж 6 кутових секунд — у межах характерного діапазону для відомих GLQ (рис. 4) — та без істотного власного руху. Такий підхід дозволив виключити об'єкти, ймовірно, пов'язані із зорями, завдяки наявності в них власного руху.

Застосований підхід дозволив ідентифікувати 355 кандидатів, для яких були отримані зображення з каталогу J-PAS для візуальної оцінки морфології та кольорових характеристик.

Додаткову селекцію проведено на основі інфрачервоної фотометрії з каталогу CatWISE [1]: були залишені лише об'єкти з кольором W1-W2 у межах від 0.3 до 1.2 зоряних величин, що є типовим для квазарів (рис. 8).

Для подальшого відбору ми залишили лише ті об'єкти, які мали зореподібну морфологію та подібні кольори у фільтрах J-PAS. Така селекція дала змогу істотно зменшити кількість хибних спрацьовувань, пов'язаних із випадковим включенням галактик або змішаних систем.

Дані J-PAS дають змогу отримати низькороздільну спектральну інформацію завдяки широкому охопленню фільтрами. Ми вилучили багатофільтрову фотометрію для кожного кандидата, щоб оцінити подібність їхніх спектральних енергетичних розподілів до шаблонів типових астрономічних об'єктів — таких як квазари, галактики та зорі. Отримані зображення та спектро-фотометричні профілі представлені у табл. 1. Також у таблиці вказані огляди, у яких з'являється наш об'єкт (за виключенням Gaia). Для кількох кандидатів також були отримані спектри з бази даних SDSS, що дозволяє зіставити їх із фотометричними даними J-PAS для оцінки узгодженості між двома наборами даних.

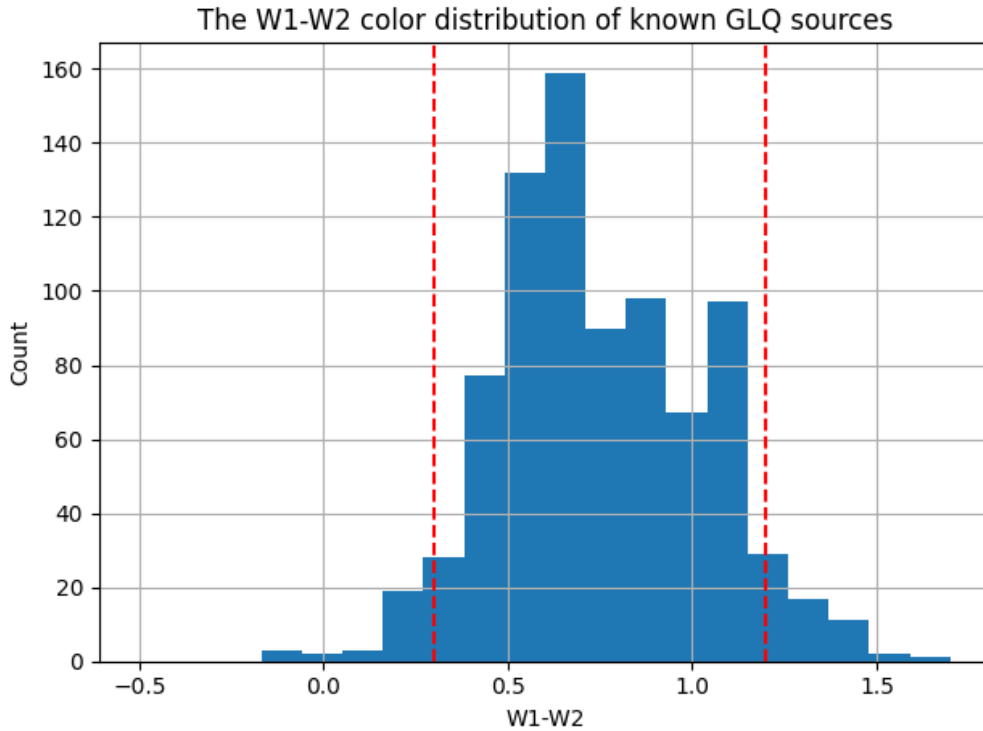


Рис. 8: Розподіл відомих гравітаційно лінзованих квазарів за інфрачервоним кольором W1-W2. Червона лінія показує межу, яку ми використовували для відбору кандидатів.

5.1. Детальний аналіз кандидатів на гравітаційно лінзовані квазари

Ми приводимо аналіз найбільш вірогідних кандидатів у ГЛК. Всі вони мають два близько розташованих точкових зображення.

Кандидат 37520 (рис. 9). має інформацію про спектральний розподіл, отриману лише з каталогу J-PAS. Ми зіставили цей спектр із шаблоном галактики пізнього типу на червоному зміщенні $z = 0.2$, зіставляючи емісійні лінії, пов'язані з зореутворенням. Хоча дані Gaia свідчать про наявність двох тісно розташованих точкових джерел, не можна виключити, що емісійні лінії можуть належати галактиці-лінзі.

Кандидат 132820 (рис. 10). Дані J-PAS указують, що континуум спектра має тенденцію до зростання в напрямку коротших довжин хвиль, що узгоджується з шаблоном квазара. Ми зіставили спектр із квазаром на червоному зміщенні $z = 1.9$, однак через низьке відношення сигналу до шуму ймовірні емісійні лінії можуть бути погано ідентифіковані на фоні шуму.

Кандидат 205698 (рис. 11). Об'єкт зіставлений із шаблоном яскравого

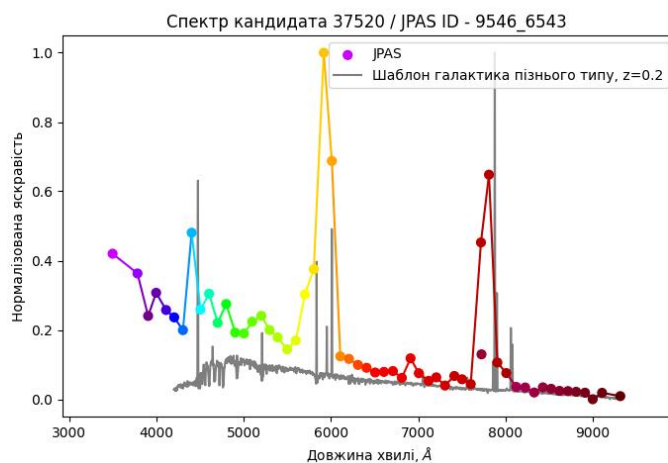
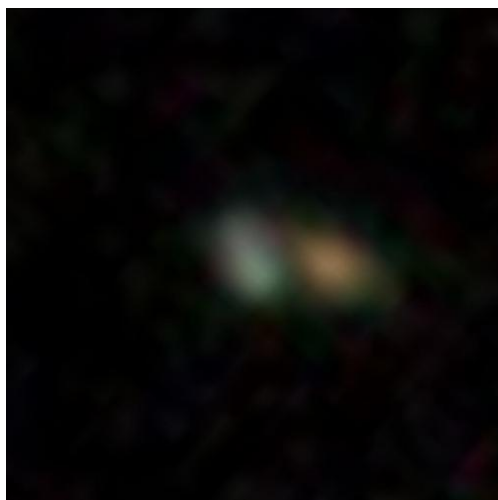


Рис. 9: Зображення та спектр кандидата 37520.

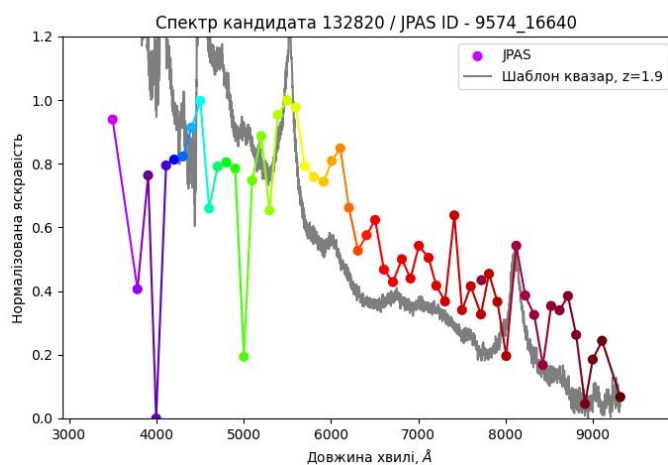
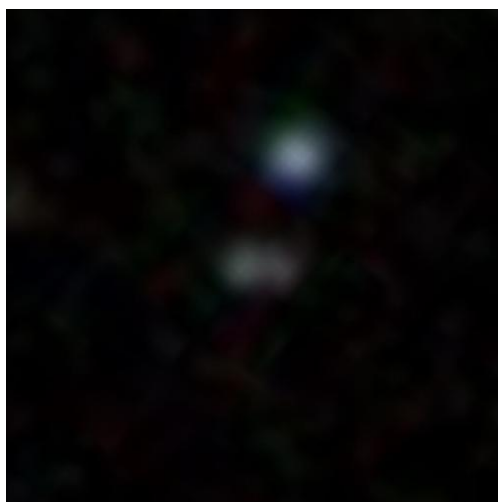


Рис. 10: Зображення та спектр кандидата 132820.

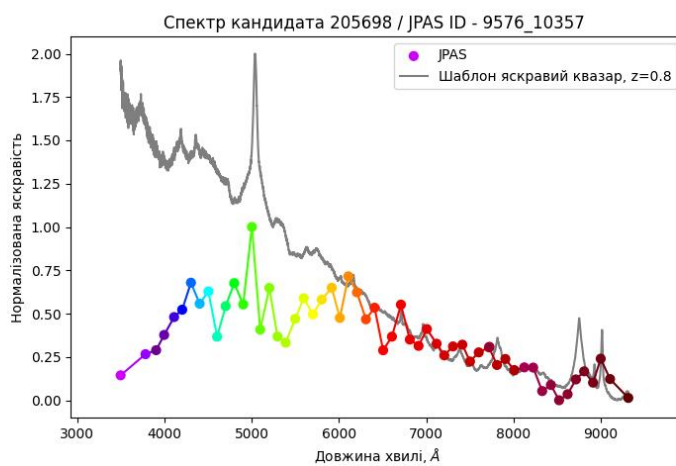
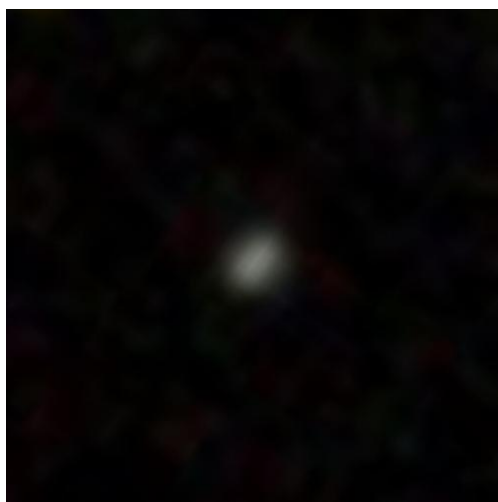


Рис. 11: Зображення та спектр кандидата 205698.

квара ($z \approx 0.8$). Спектральна картина добре узгоджується з типовим спектром яскравого квазара, що підтверджує гіпотезу про квазарну природу об'єкта. Однак квазар, розташований на відносно невеликій відстані, має низьку ймовірність бути гравітаційно лінзованим, тому потребує подальшого вивчення.

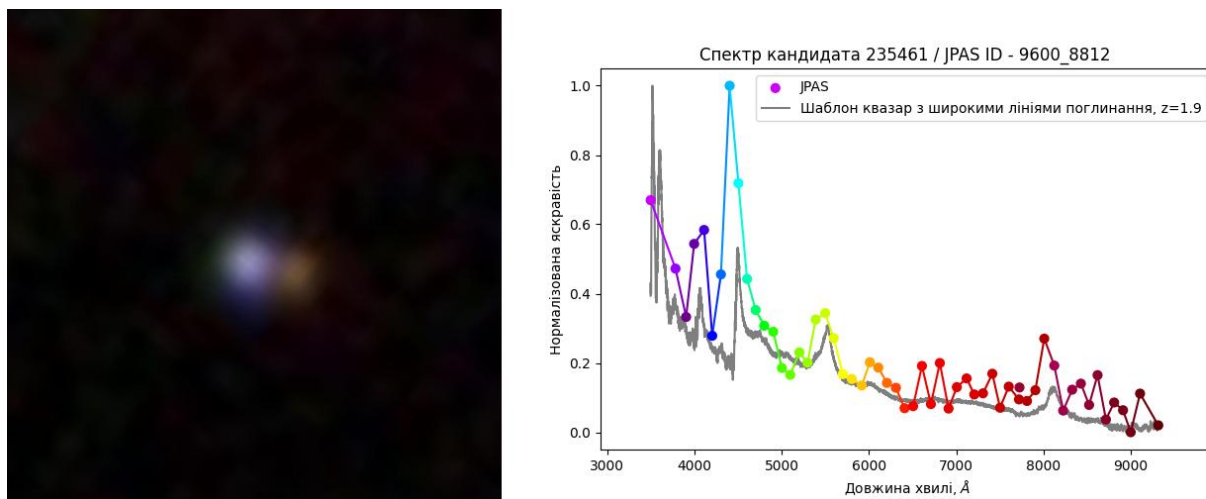


Рис. 12: Зображення та спектр кандидата 235461.

Кандидат 235461 (рис. 12). Як видно з рисунка, отриманий спектр дуже добре збігається зі спектром квазара з широкими лініями поглинання ($z \approx 1.9$), що достовірно підтверджує квазарну природу об'єкта. На зображенні спостерігаються два об'єкти, які чітко розрізняються: один із них має синьо-білий відтінок, інший — жовтуватий. Така різниця в кольорі може свідчити про різну природу цих джерел. Наприклад, синій компонент, імовірно, є квазаром (як було зазначено раніше), тоді як жовтий може відповідати галактиці. Однак варто враховувати, що лінзуюча галактика, яка зазвичай має червоний колір і розташовується ближче до менш яскравого компонента, може суттєво впливати на його колір. Отже, цей об'єкт становить інтерес для подальшого дослідження, зокрема для отримання більш детальних зображень і спектрів.

Кандидат 434424 (рис. 13). Спектр цього кандидата добре узгоджується із шаблоном спектра об'єкта типу квазар ($z \approx 1.55$). Об'єкт також спостерігався в огляді SDSS eBOSS, і, як видно з рисунка, спектри J-PAS та SDSS добре збігаються. В огляді SDSS об'єкт класифіковано як квазар із червоним зміщенням $z = 1.53713$ [8]. Проте важливо зазначити, що SDSS не має просторового розділення, достатнього для розділення настільки тісної пари, тому отриманий спектр є сумарним для обох зображень. Детальніший спектр SDSS демонструє значний рівень шуму як у широких емісійних лініях, так і в континуумі. Таким

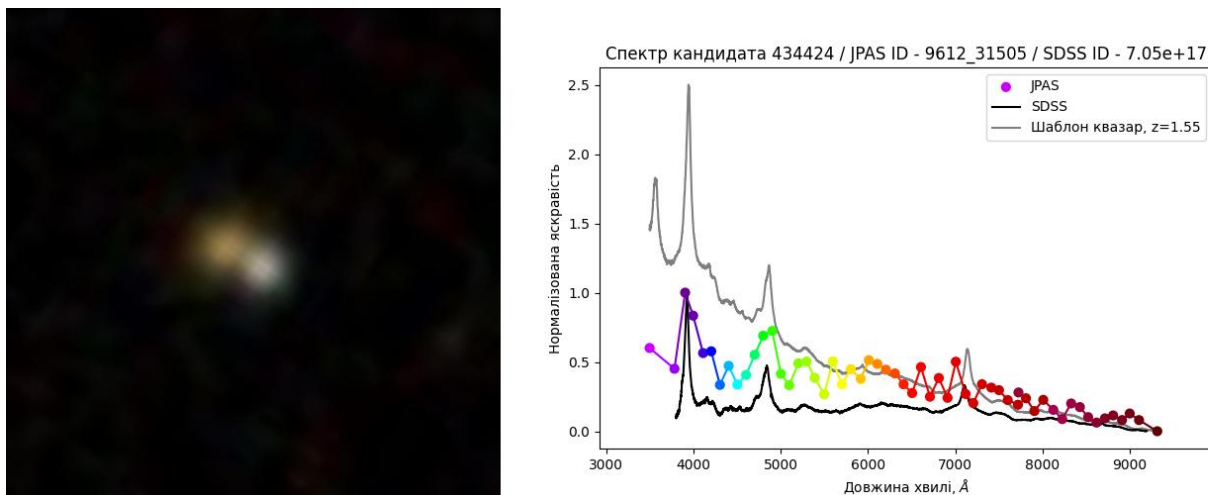


Рис. 13: Зображення та спектр кандидата 434424.

чином, друге зображення може належати галактиці, що потребує додаткового підтвердження, але вже становить підставу для подальшого вивчення природи цієї пари об'єктів.

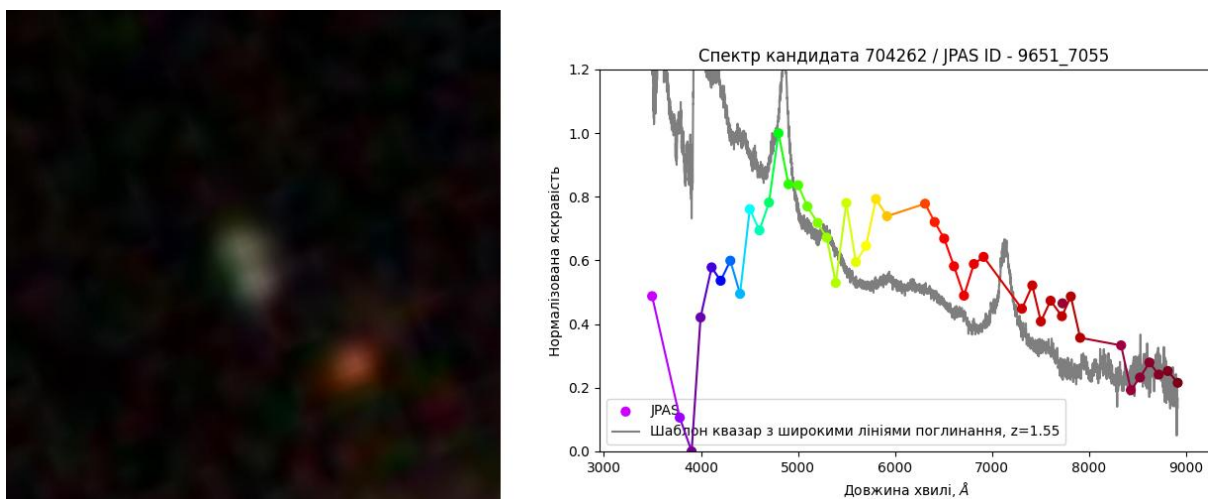


Рис. 14: Зображення та спектр кандидата 704262.

Кандидат 704262 (рис. 14) зіставлений із шаблоном спектра квазара на червоному зміщенні $z = 1.55$, що добре узгоджується з наявними даними. На зображенні спостерігаються два компоненти, які мають схожий колір, що може свідчити про їхню однакову природу. Проте через відносно низьку яскравість цього кандидата наразі неможливо з достатньою впевненістю стверджувати, що обидва зображення дійсно є компонентами одного й того ж джерела, наприклад, гравітаційно-лінзованого квазара. Для підтвердження цієї гіпотези необхідні додаткові спостереження з вищим просторовим та спектральним розділенням.

Кандидат 756730 (рис. 15). Цей кандидат спостерігався в каталозі SDSS

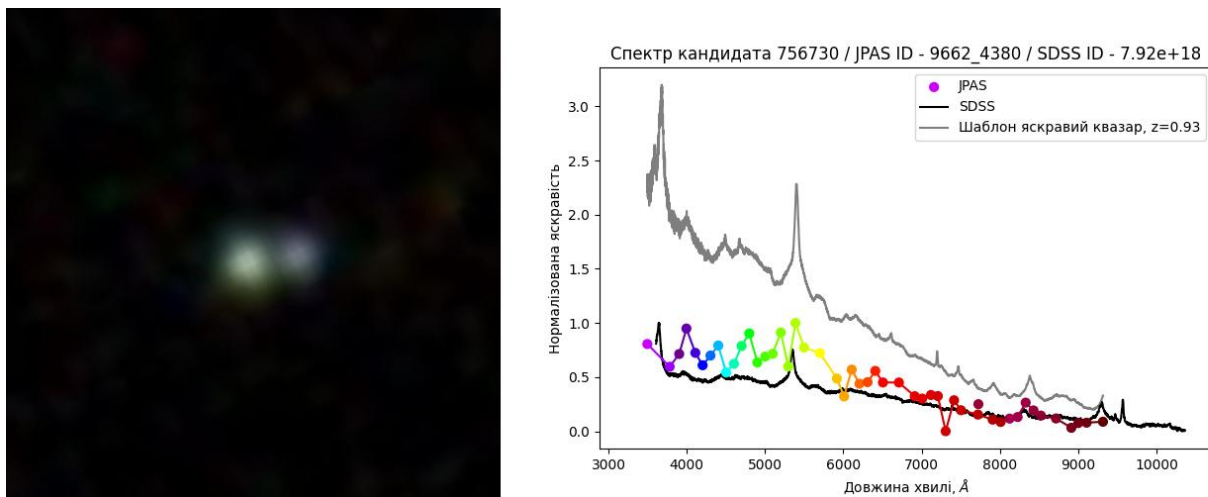


Рис. 15: Зображення та спектр кандидата 756730.

як два окремі компоненти з близькими значеннями червоного зміщення ($z_1 = 0.914$, $z_2 = 0.911$). Обидва компоненти класифіковані як квазари [8], що узгоджується з результатами нашого аналізу спектра J-PAS. Ми виявили, що кандидат 756730 уже був розглянутий як можливий гравітаційно-лінзований об'єкт. Однак через незначну різницю в червоному зміщенні ($\Delta z \approx 0.03$) та відсутність виявленої лінзуючої галактики між компонентами не вдалося підтвердити гравітаційно-лінзовану природу системи. У результаті автори дійшли висновку, що об'єкт, імовірно, є подвійним квазаром.

6. Висновки

В рамках даної дипломної роботи було проведено пошук кандидатів у гравітаційно лінзовані квазари, використовуючи дані раннього випуску огляду J-PAS (JPAS-EDR) [12] у поєднанні з даними інших масштабних оглядів, таких як Gaia, WISE та SDSS [2]. Основною метою було оцінити потенціал даних JPAS-EDR для виявлення рідкісних гравітаційно лінзованих систем 1.3, використовуючи їхні унікальні характеристики, зокрема, велику кількість вузькосмугових фільтрів, що дозволяє отримувати фотометричні "спектри" об'єктів.

Аналіз близько 800 000 об'єктів з каталогу JPAS-EDR [12] із залученням даних високої роздільної здатності Gaia [5] дозволив ідентифікувати набір кандидатів, які демонструють ознаки множинних зореподобних зображень, розташованих на невеликих кутових відстанях. Первинний відбір базувався на морфологічних та кольорових критеріях, відсіюючи об'єкти з явно вираженою

морфологією галактик та ті, що мають суттєво відмінні кольори між компонентами.

Для подальшого аналізу та класифікації кандидатів було використано мультифільтрові фотометричні дані J-PAS, що дозволило порівняти їх зі спектральними шаблонами різних класів об'єктів (квазари, галактики, зорі). Висока узгодженість фотометричних класифікацій J-PAS зі спектроскопічними класифікаціями SDSS, продемонстрована в попередньому аналізі, підтверджує ефективність такого підходу для ідентифікації квазарів на великих вибірках даних.

Кандидати, що виявили схожі спектральні характеристики, були піддані детальнішому аналізу. Використання даних інших оглядів виявилось критично важливим на цьому етапі. Наприклад, дані WISE в інфрачервоному діапазоні допомагають відбирати квазари за їхніми кольоровими критеріями. Дані SDSS надають цінну інформацію для порівняння з відомими системами та, за наявності спектрів, дозволяють провести попередню верифікацію червоного зсуву.

Таблиця кандидатів (див. табл. 1 ілюструє результати цього аналізу. Деякі кандидати вже мають попередні класифікації в інших каталогах. Важливим є результат перевірки кандидата 756730, який, хоча й був розглянутий на предмет лінзування, не отримав підтвердження через відсутність ознак лінзуючої галактики між компонентами. Це підкреслює одну з головних труднощів пошуку - необхідність ідентифікації лінзуючого об'єкта, який часто є галактикою.

Ефективність використання даних J-PAS EDR у поєднанні з іншими оглядами є високою, особливо завдяки можливості отримати низькороздільні спектри для великої кількості об'єктів. Це дозволяє швидко відсіювати багато хибних спрацьовувань, ідентифікуючи об'єкти зі схожими спектральними властивостями, що є характерним для лінзованих зображень одного джерела. Однак, як і у попередніх дослідженнях, остаточне підтвердження природи гравітаційної лінзи вимагає спектроскопічних спостережень високої якості.

Наукова цінність виявлених кандидатів полягає у їхньому потенціалі збільшити статистичну вибірку гравітаційно лінзованих квазарів, що є критично важливим для уточнення космологічних параметрів, таких як стала Габбла H_0 , та для дослідження розподілу темної матерії на масштабах галактик. Детальний аналіз змінності блиску зображень цих кандидатів у майбутньому може дозволити виміряти часові затримки та дослідити структуру квазарів.

Література

- [1] CatWISE: The WISE Catalog of Mid-Infrared Objects : Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology. — 2020. — Режим доступу: <https://catwise.github.io> (дата звернення: 2025-02-08).
- [2] Dawson, Kyle S. and Kneib, Jean-Paul and Percival, Will J. and Alam, Shadab and Albareti, Franco D. та інші. THE SDSS-IV EXTENDED BARYON OSCILLATION SPECTROSCOPIC SURVEY: OVERVIEW AND EARLY DATA // [The Astronomical Journal](#). — 2016. — Лют. — Т. 151, № 2. — С. 44. — Режим доступу: <http://dx.doi.org/10.3847/0004-6256/151/2/44>.
- [3] Falco E. E., Schneider P., Ehlers J. Gravitational Lenses. — Springer, 1999.
- [4] GA-NIFS and EIGER: A merging quasar host at $z=7$ with an overmassive black hole. — 2025. — [2410.11035](#).
- [5] Gaia Data Release 3 : European Space Agency (ESA). — 2022. — Режим доступу: <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/data-release-3> (дата звернення: 2025-02-08).
- [6] Jee I., Suyu S., Komatsu E. A measurement of the Hubble constant from angular diameter distances to two gravitational lenses // [Science](#). — 2019. — Т. 365, № 6458. — С. 1134–1138. — [1909.06712](#).
- [7] Max Planck Institute for Gravitational Physics. A brief history of gravitational lensing : Einstein Online, Max Planck Institute for Gravitational Physics. — 2016. — Archived from the original on 2016-07-01. Retrieved on 2016-06-29.
- [8] Rakshit S., Stalin C. S., Kotilainen J. Spectral Properties of Quasars from Sloan Digital Sky Survey Data Release 14: The Catalog // The Astrophysical Journal Supplement Series. — 2020. — July. — no. 1.
- [9] Schneider P. Extragalactic Astronomy and Cosmology. — Springer, 2006.
- [10] Каталоги CEFCA. — 2025. — Режим доступу: <https://archive.cefca.es/catalogues/> (дата звернення: 2025-05-20).

- [11] Опис проекту SDSS eBOSS. — 2020. — Режим доступу: <https://www.sdss4.org/surveys/eboss/> (дата звернення: 05.05.2025).
- [12] Офіційний сайт JPAS. — 2025. — Режим доступу: <https://www.j-pas.org> (дата звернення: 2025-05-05).

Додаток

Табл. 1: Таблиця даних кандидатів

Номер	Пряме піднесення (α)	Сходження (δ)	Огляди
37520	$16^{\text{h}}19^{\text{m}}50.97^{\text{c}}$	$41^{\circ}43'30''.7344$	AllWise GLADE+
132820	$16^{\text{h}}24^{\text{m}}42^{\text{c}}$	$42^{\circ}32'11''.9832$	AllWise GLADE+ SDSS
137823	$16^{\text{h}}26^{\text{m}}26.65^{\text{c}}$	$42^{\circ}24'28''.5876$	
161362	$16^{\text{h}}30^{\text{m}}31.48^{\text{c}}$	$42^{\circ}47'32''.604$	
169005	$16^{\text{h}}31^{\text{m}}15.92^{\text{c}}$	$42^{\circ}35'59''.3556$	

Табл. 1: Таблиця даних кандидатів

Номер	Пряме піднесення (α)	Сходження (δ)	Огляди
205698	$16^{\text{h}}34^{\text{m}}30.87^{\text{c}}$	$42^{\circ}37'57''.4932$	AllWise, GLADE+
235461	$16^{\text{h}}24^{\text{m}}21.95^{\text{c}}$	$43^{\circ}37'19''.9236$	AllWise, GLADE+
271390	$16^{\text{h}}23^{\text{m}}16.8^{\text{c}}$	$42^{\circ}52'18''.1776$	AllWise
271435	$16^{\text{h}}23^{\text{m}}17.63^{\text{c}}$	$42^{\circ}52'14''.0268$	

Табл. 1: Таблиця даних кандидатів

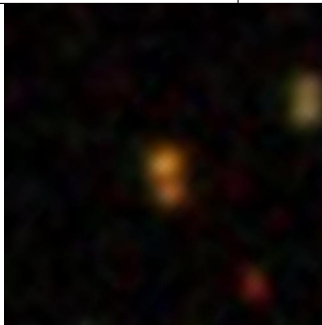
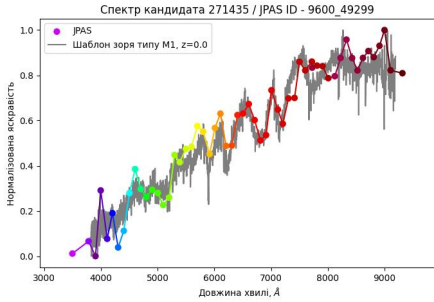
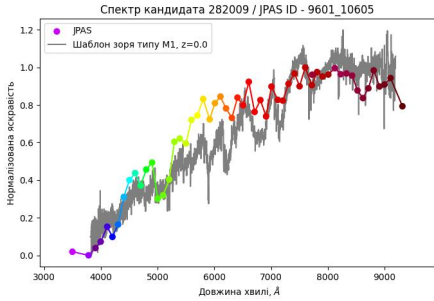
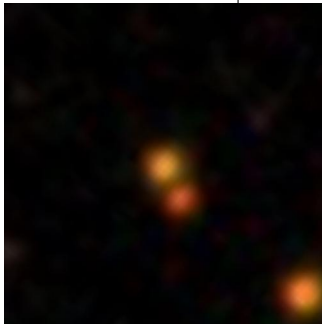
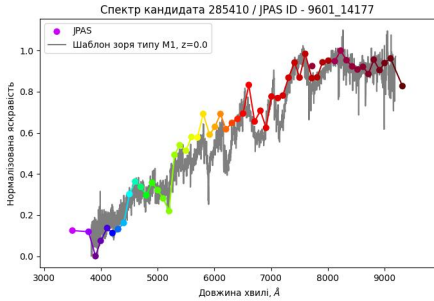
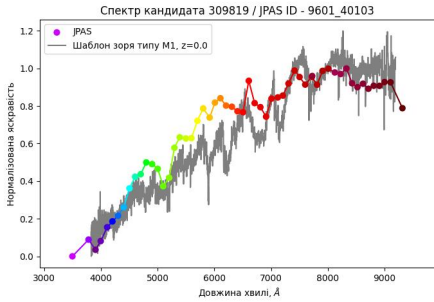
Номер	Пряме піднесення (α)	Сходження (δ)	Огляди		
			AllWise		
282009	16 ^h 28 ^m 18.82 ^c	43°37'32".2752			AllWise, 2MASS
285410	16 ^h 26 ^m 59.99 ^c	43°33'46".008			AllWise, 2MASS, GLADE+
309819	16 ^h 28 ^m 45.95 ^c	43°6'41".7312			AllWise, 2MASS
333186	16 ^h 33 ^m 21.93 ^c	43°33'1".44			

Табл. 1: Таблиця даних кандидатів

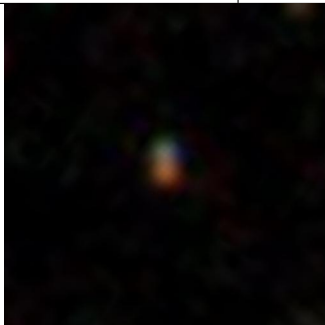
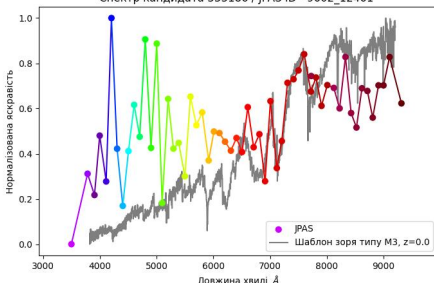
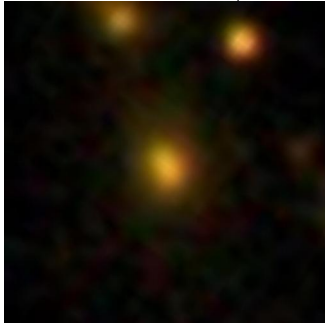
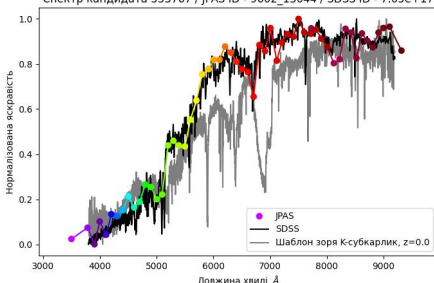
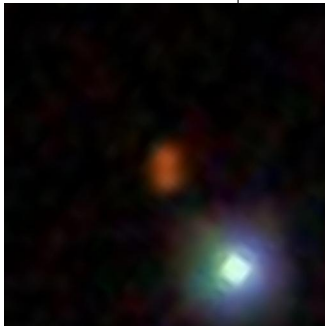
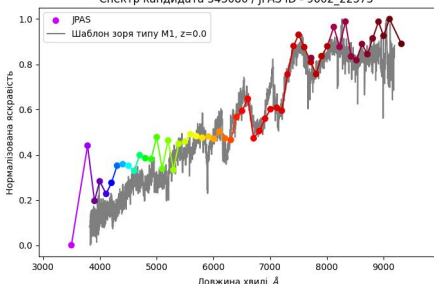
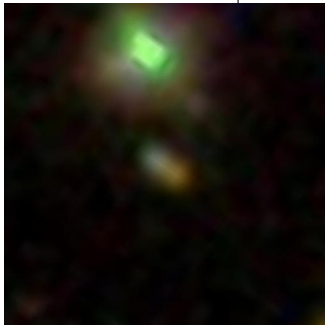
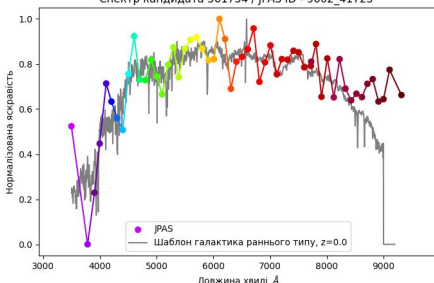
Номер	Пряме піднесення (α)	Сходження (δ)	Огляди
		Спектр кандидата 333186 / JPAS ID - 9602_12461 	AllWise
333767	16 ^h 33 ^m 34.67 ^c	43°32'9".1824	AllWise, 2MASS, GLADE+, SDSS
	Спектр кандидата 333767 / JPAS ID - 9602_13044 / SDSS ID - 7.05e+17 		
343080	16 ^h 35 ^m 48.49 ^c	43°21'41".6412	
	Спектр кандидата 343080 / JPAS ID - 9602_22573 		
361754	16 ^h 33 ^m 13.41 ^c	42°59'11".5116	
	Спектр кандидата 361754 / JPAS ID - 9602_41725 		
434424	16 ^h 32 ^m 7.61 ^c	44°3'6".3828	

Табл. 1: Таблиця даних кандидатів

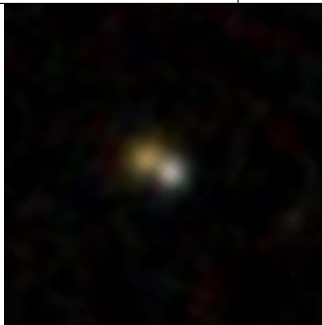
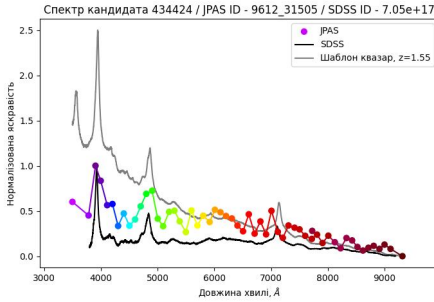
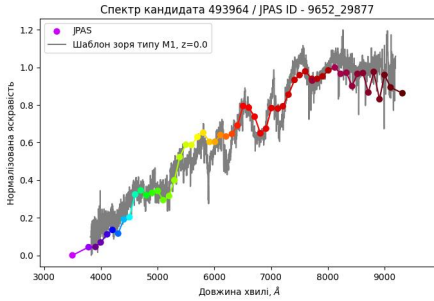
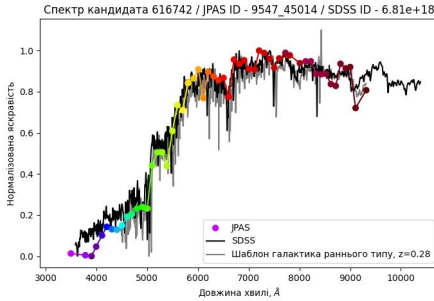
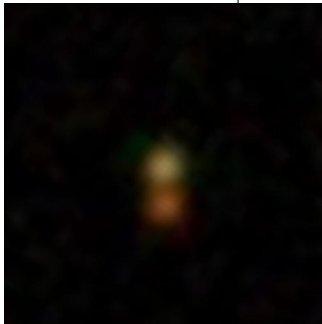
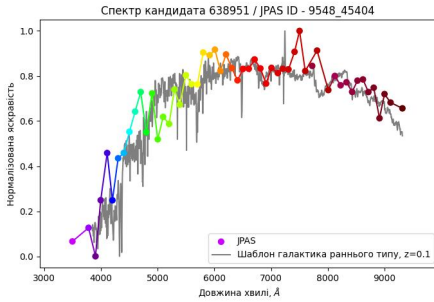
Номер	Пряме піднесення (α)	Сходження (δ)	Огляди		
			AllWise, GLADE+, SDSS		
493964	14 ^h 16 ^m 25.58 ^c	51°52'54".948			AllWise, 2MASS
616742	16 ^h 27 ^m 34.16 ^c	41°4'7".2048			AllWise, 2MASS, GLADE+
638951	16 ^h 31 ^m 50.74 ^c	41°2'32".8992			AllWise
656532	16 ^h 18 ^m 4.68 ^c	42°21'40".518			

Табл. 1: Таблиця даних кандидатів

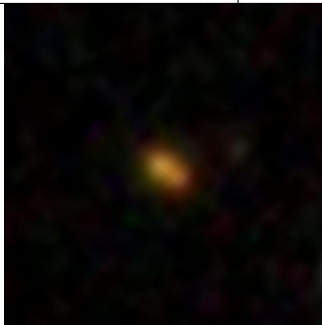
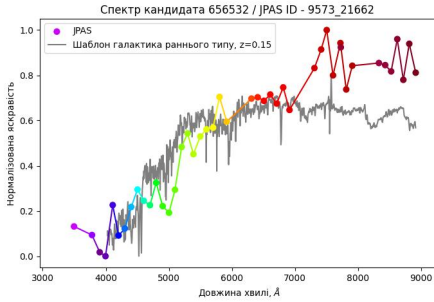
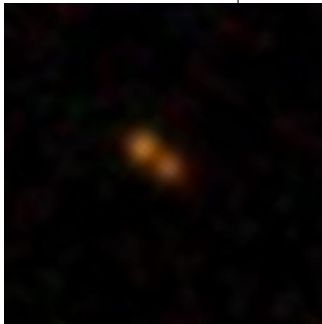
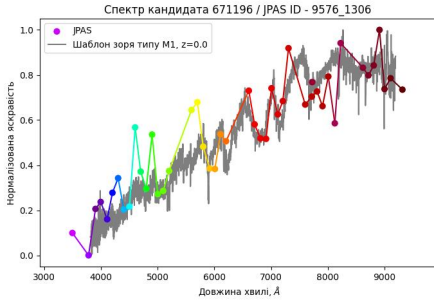
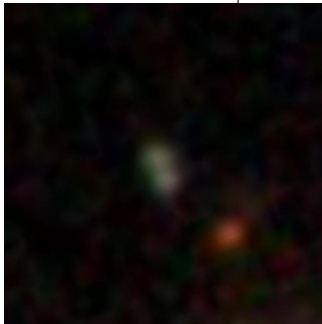
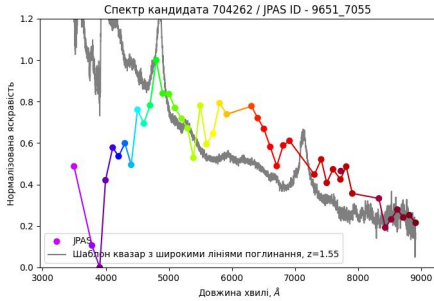
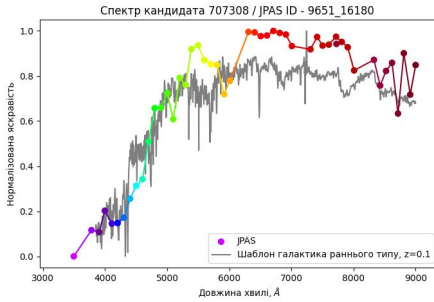
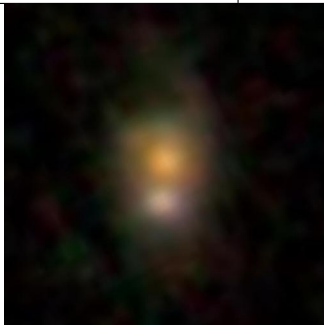
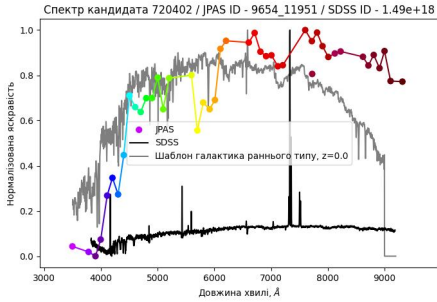
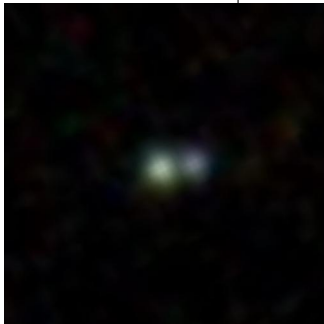
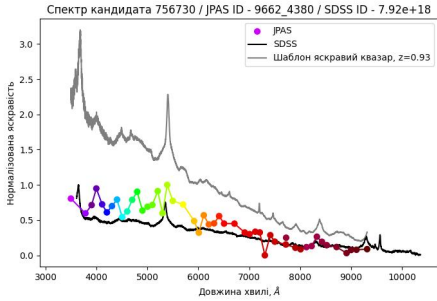
Номер	Пряме піднесення (α)	Сходження (δ)	Огляди		
			AllWise		
671196	16 ^h 36 ^m 25.78 ^c	42°49'22".782			AllWise
704262	14 ^h 7 ^m 14.45 ^c	52°7'58".5552			
707308	14 ^h 7 ^m 42.63 ^c	51°49'25".7844			AllWise, 2MASS, GLADE+
720402	14 ^h 30 ^m 38.89 ^c	52°1'17".364			

Табл. 1: Таблиця даних кандидатів

Номер	Пряме піднесення (α)	Сходження (δ)	Огляди		
			AllWise, 2MASS, GLADE+, SDSS		
756730	$14^{\text{h}}25^{\text{m}}36.27^{\text{c}}$	$53^{\circ}12'47''.88$			AllWise, 2MASS, GLADE+, SDSS