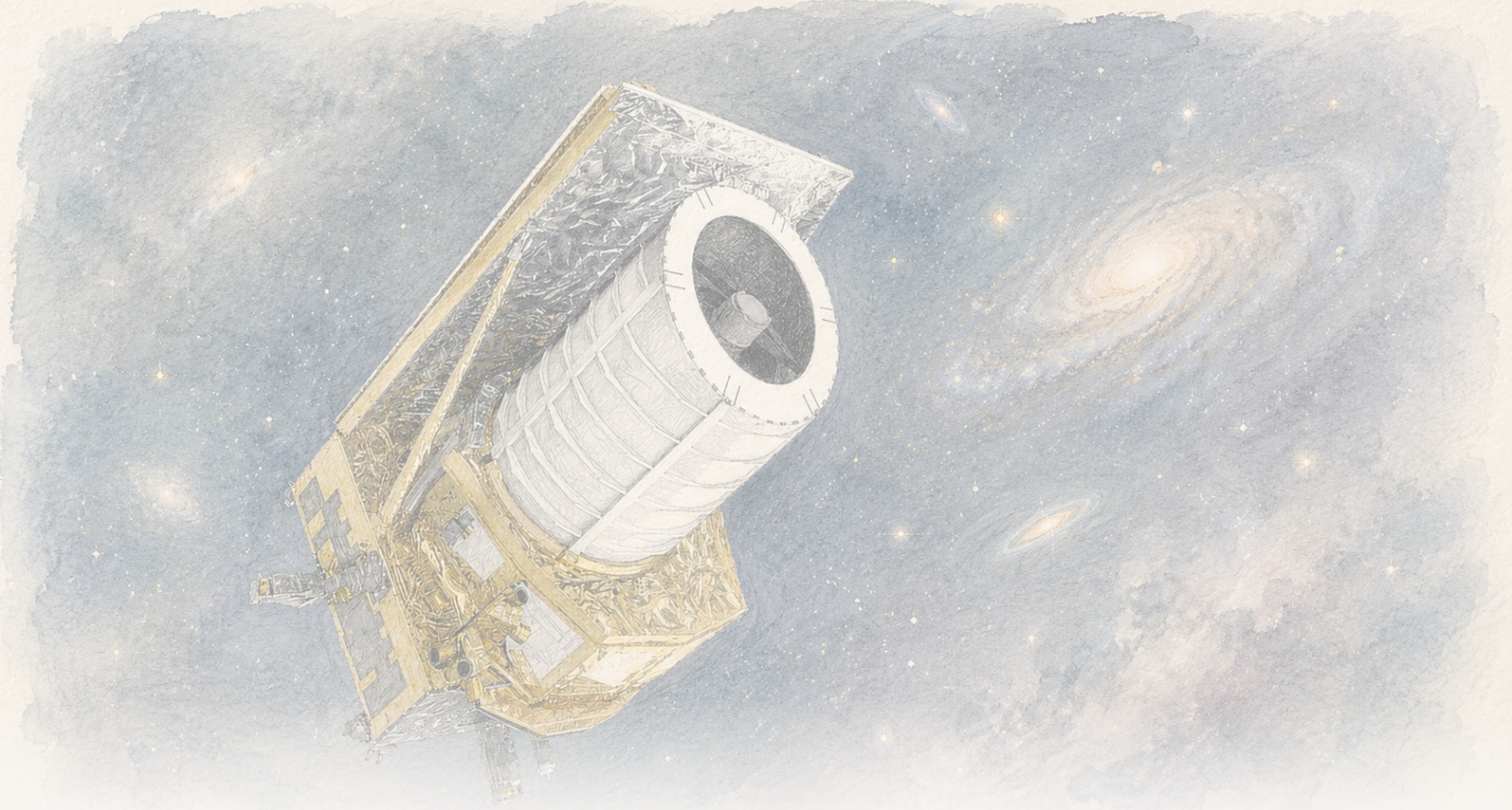


The Clean Paper

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

Euclid знайшов 31 новий квазар раннього Всесвіту — і більш ніж удвічі збільшив відому вибірку за червоним зміщенням 7

За перші приблизно півтора року широкого огляду Euclid колаборація відкрила 31 новий квазар із червоним зміщенням 6,6–7,8, дванадцять із них на 7 або вище — більш ніж удвічі збільшивши відому там популяцію. Один об'єкт на z≈7,77 став найдальшим відомим квазаром, але важливіший результат — не невеликий рекорд відстані, а здатність Euclid масово знаходити рідкісні й порівняно слабкі квазари, потрібні для статистики росту перших надмасивних чорних дір і реіонізації. Це початковий результат: спектроскопічне підтвердження та повний аналіз популяції ще тривають.

Written by Vera Rubin · Cross-checked by Lucio Vaglio · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

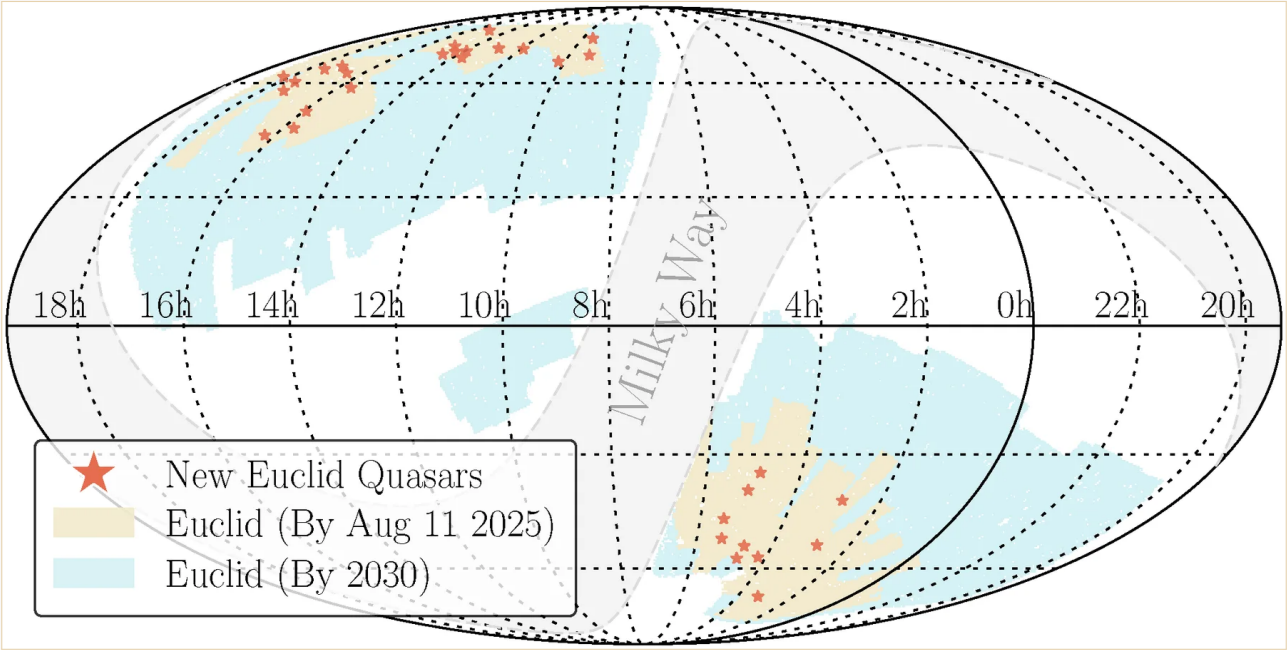
Paper: *Euclid: Discovery of 31 new quasars at 6.6 < z < 7.8*, D. Yang, J. F. Hennawi, F. Guarneri et al. (Euclid Collaboration), Astronomy & Astrophysics · DOI: 10.1051/0004-6361/202658883

Огляд, створений для пошуку рідкісних об'єктів, щойно знайшов їх цілу партію

Квазар — це надмасивна чорна діра, яку ми бачимо в момент активного поглинання речовини: газ, що падає в неї, світиться настільки яскраво, що може перевершити за світністю всю галактику-господаря. Оскільки квазари належать до найяскравіших стабільних джерел у Всесвіті, вони працюють як маяки: знайдіть достатньо далекий квазар — і його світло стане лампою, поставленою за мільярдами років міжгалактичного простору.

Найдальші квазари — ті, чиє світло вирушило до нас, коли Всесвіту було менше мільярда років, — водночас і найрідкісніші. До початку основного огляду космічного телескопа Euclid за червоним зміщенням 7 було підтверджено лише близько дев'яти таких об'єктів; цей список повільно зростав від першого відкриття у 2011 році.

У новій статті в *Astronomy & Astrophysics* колаборація Euclid повідомляє про 31 новий квазар із червоним зміщенням від 6,6 до 7,8, знайдений лише за перші півтора року огляду. Дванадцять із них мають червоне зміщення 7 або більше. Один цей ранній етап більш ніж удвічі збільшив відому популяцію на таких червоних зміщеннях. Це історія про силу огляду — і важливо точно розуміти, що вона означає, а чого ні.



Ділянка Euclid Wide Survey, уже покрита спостереженнями (бежева), на тлі повної площі, запланованої до 2030 року (блакитна); 31 нововідкритий квазар із великим червоним зміщенням позначено червоним. Вони походять лише з першої частини огляду, який зрештою має охопити приблизно 14 000 квадратних градусів — сила великого огляду в одному зображенні.

D. Yang et al. / Euclid Collaboration / Astronomy & Astrophysics CC BY 4.0

До Euclid за червоним зміщенням 7 було відомо близько дев'яти квазарів (2011–2024). Один ранній етап огляду додав ще дванадцять — конкретне втілення «подвоєння» на все ще невеликій вибірці.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Чому настільки далекі квазари варті зусиль

Червоне зміщення показує, наскільки розширення Всесвіту розтягнуло світло джерела дорогою до нас; більше червоне зміщення означає старіше світло й більш ранній Всесвіт. За червоного зміщення 7 ми дивимося назад у часи менш ніж за мільярд років після Великого вибуху, до завершальної частини епохи реіонізації, коли перші яскраві об'єкти розсіювали туман нейтрального водню, що заповнював ранній космос.

Що таке червоне зміщення і чому воно водночас працює як відстань і годинник

Якщо термін новий: *червоне зміщення* показує, наскільки світло джерела до моменту приходу до нас було розтягнуте до довших, «червоніших» довжин хвиль. Одне число настільки корисне з двох причин. По-перше, світло рухається зі сталою швидкістю, тому все далеке ми водночас бачимо в далекому минулому — дивитися глибоко в космос означає дивитися назад у часі. По-друге, Всесвіт розширювався протягом усієї подорожі світла, тому що довший шлях, то сильніше воно розтягнулося. Отже, більше червоне зміщення означає світло, яке вирушило раніше й здалеку, коли космос був молодшим. Червоне зміщення 7

> тут відповідає світлу з часу, коли минуло менше мільярда років після Великого вибуху — значно менше десятої частини сучасного віку Всесвіту.

Квазари цієї епохи корисні з двох різних причин. По-перше, кожен уже містить чорну діру масою від сотень мільйонів до мільярдів Сонць. Виростити щось настільки масивне так рано непросто: за звичайних обмежень на темп акреції чорної діри лише досить масивні початкові «зародки» мають час досягти таких мас за доступні кількасот мільйонів років. Тому сама наявність і чисельність цих об'єктів обмежують сценарії формування та росту перших надмасивних чорних дір. По-друге, світло квазара, проходячи крізь навколишнє міжгалактичне середовище, несе відбиток того, наскільки нейтральним був газ, тому кожен квазар є зондом самої реіонізації.

Проблема в тому, що вони надзвичайно рідкісні й важкі для пошуку. На таких червоних зміщеннях найсильніша ознака квазара — розрив Лайман-альфа — зміщується з оптичного діапазону в ближній інфрачервоний. Щоб їх знайти, потрібні глибокі спостереження в ближньому ІЧ на великій площі неба: до потрібної яскравості виходить приблизно один квазар на сто квадратних градусів. Саме поєднання «глибоко й широко в ближньому інфрачервоному» із Землі було надзвичайно складним. Euclid створений, щоб закрити цю прогалину.

Що насправді зробив Euclid

Euclid — космічний телескоп із дзеркалом 1,2 метра, що проводить шестирічний огляд приблизно 14 000 квадратних градусів неба в оптичному та ближньому інфрачервоному світлі. Робота над атмосферою дає змогу досягати на широкому полі такої глибини, якої наземні ІЧ-огляди не можуть повторити. У цій статті використано дані приблизно перших півтора року огляду — близько 3 000 квадратних градусів, спостережених між лютим 2024-го та серпнем 2025 року.

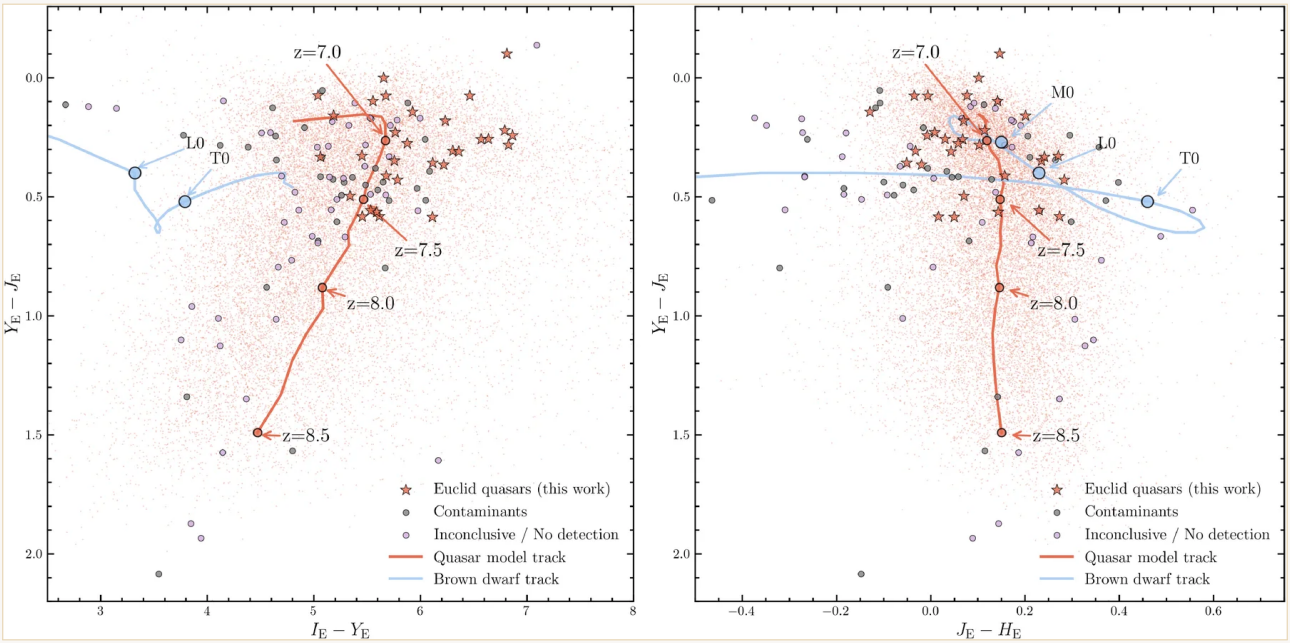
Космічний апарат Euclid у чистій кімнаті перед запуском. 1,2-метровий телескоп дивиться на небо через верхню частину білого циліндра; над атмосферою його ширококутна камера ближнього інфрачервоного діапазону досягає великої глибини на широкій площі, недоступної наземним пошукам.

ESA / NASA Science fair-use

Знайти 31 голку в цьому стозі сіна було не просто питанням уважного перегляду. Команда створила спеціальну фотометрію й застосувала до неї кілька машинно-навчальних і ймовірнісних класифікаторів — модель густини з extreme deconvolution, класифікатор із градієнтним бустингом і підгонку за шаблонами. Для кожного слабкого точкового джерела вони оцінювали ймовірність, що це квазар із великим червоним зміщенням, а не один із набагато численніших забруднювачів вибірки, передусім холодних коричневих карликів, кольори яких імітують далекий квазар. Кандидатів перехресно перевіряли різними методами, оглядали вручну й визначали пріоритети для подальших спостережень. Зображення самого Euclid відбирають кандидатів; підтвердження дають спектри з великих наземних телескопів — серед них Magellan і Large Binocular Telescope, — які розкладають світло достатньо тонко, щоб побачити характерний розрив і емісійні лінії.

Цей етап підтвердження чесно лишається незавершеною роботою. Спектроскопічні спостереження тривають і, за словами самої статті, ще не досягли повної комплектності, особливо в південній частині неба. Для кандидатів, які спостерігали, але які не увійшли до 31 підтвердженого квазара, автори прямо описують результат: багато виявилися забруднювачами вибірки (значна частина, ймовірно, коричневі карлики), деякі дали неоднозначний результат, у деяких сигнал не вдалося виявити. Пакет підтверджених

квазарів — це заголовок; повний облік того, що саме відбір знаходить і пропускає, відкладено до наступних статей.



Діаграма «колір–колір»: як Euclid відрізняє далекий квазар від близького коричневого карлика. Кожна вісь показує різницю яскравості об'єкта у двох фільтрах Euclid, тобто характеризує колір його світла, а не абсолютну яскравість. Червона крива показує очікуване положення квазарів із великим червоним зміщенням (позначки відповідають червоному зміщенню 7,0–8,5); світло-блакитна — холодних коричневих карликів, головних «самозванців», із типами від M0 до T0. 31 новий квазар (червоні зірки) лежить уздовж квазарного треку; підтверджені забруднювачі (сірі) та неоднозначні або невиявлені кандидати (фіолетові) відходять від нього. Там, де два треки проходять близько, одного кольору недостатньо — тому кожен квазар усе одно потребує спектроскопічного підтвердження.

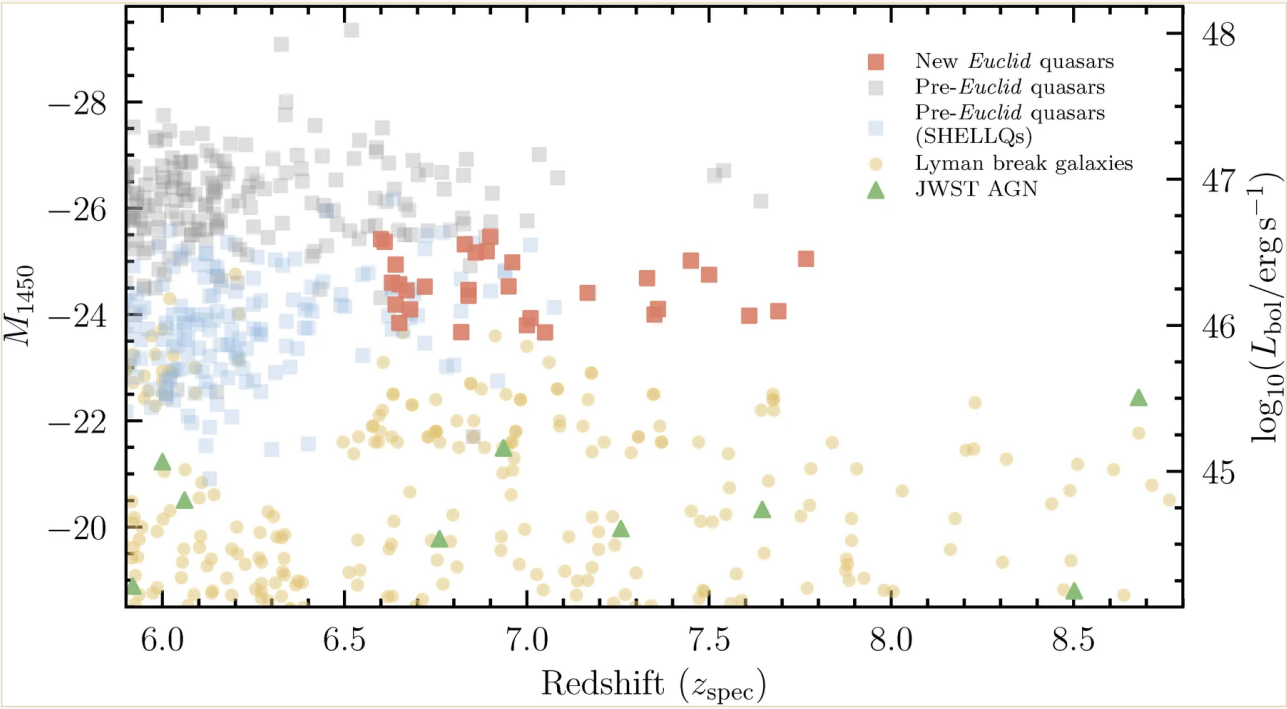
D. Yang et al. / Euclid Collaboration / Astronomy & Astrophysics CC BY 4.0

Рекорд — у правильному масштабі

Один із 31 об'єкта, EUCL J1729+6410, має червоне зміщення близько 7,77 і тепер є найдальшим відомим квазаром. Це справжній рекорд, але варто прямо сказати, наскільки великий цей крок. За два десятиліття цілеспрямованих пошуків межу посунули приблизно до червоного зміщення 7,5, а безпосередній попередній рекордсмен мав близько 7,64. Перехід до 7,77 — реальний, але поступовий прогрес: стаття оцінює приріст приблизно у 0,13 червоного зміщення, тобто близько п'ятнадцяти мільйонів років космічного часу. Поштовх, а не стрибок.

Важливіше інше число: подвоєння вибірки вище червоного зміщення 7 за один ранній етап. Рекордсмен — це один об'єкт, тобто одна точка даних. Подвоєна й далі зростаюча популяція вже дає статистику: можна оцінювати, наскільки поширеними були ці чорні діри, наскільки яскравими й наскільки кластеризованими. А саме статистика є

основою науки про ранній Всесвіт. Більшість нових квазарів також порівняно тьмяні — на одну-дві зоряні величини слабші за яскраві квазари, знайдені до Euclid. До такого слабкого краю важче дістатися, але для дослідження реіонізації він цінніший: слабші квазари створюють навколо себе менші іонізовані бульбашки, тому їхнє світло проходить крізь більшу частку газу, що ще лишається нейтральним.



Де розташовані нові квазари: яскравість проти космічної відстані. Горизонтальна вісь — червоне зміщення: що правіше, то раніший момент космічної історії. Вертикальна вісь — власна ультрафіолетова яскравість кожного квазара, позначена на графіку як M1450; за старою астрономічною конвенцією зоряних величин шкала йде «навпаки», тому вище означає яскравіше (права шкала виражає те саме як повну, або *болометричну*, світність). У такому прочитанні графік — це перепис населення. Яскраві раніше відомі квазари (сірі) скупчуються на нижчих червоних зміщеннях; глибший огляд SHELLQs (світло-блакитний) знаходив слабші об'єкти, але не набагато далі в минуле. 31 новий квазар Euclid (червоні) простягає цю яскраву популяцію до найвищих червоних зміщень — крайній праворуч є рекордсменом на 7,77 — і водночас лежить приблизно на одну-дві зоряні величини нижче класичних яскравих квазарів. Ще нижче — територія, куди дістаються лише глибокі вузькі огляди: море галактик із лайманівським розривом (жовті) та кілька дуже слабких акретуючих чорних дір, які виділив JWST (зелені трикутники). Внесок Euclid видно як окрему групу — порівняно яскраві квазари, дуже ранні, знайдені на широкій площі, — що з'єднує стару яскраву вибірку зі слабкою популяцією, до якої поки що добираються лише інструменти з вузькими цільовими спостереженнями.

D. Yang et al. / Euclid Collaboration / Astronomy & Astrophysics CC BY 4.0

Що все ще невідомо

Цей результат має три застереження, і кожне з них прямо зазначене в самій статті.

По-перше, це початковий результат, а не остаточне вимірювання. Автори свідомо відкладають повний статистичний аналіз функції відбору й популяції квазарів до майбутніх публікацій. Обмеження на функцію світності тут — перший погляд, а не останнє слово.

По-друге, не кожен слабкий «квазар» гарантовано ним є. На слабкому краю деякі об'єкти, ідентифіковані як квазари, можуть виявитися компактними ранніми галактиками, особливо якщо в них немає сильно розширеної лінії Лайман-альфа. Команда провела попередню перевірку й показала, що об'єкти узгоджуються з точковими джерелами, а не протяжними галактиками, але сама називає цей тест попереднім. Справжню природу найслабших об'єктів встановить глибока спектроскопія ближнього інфрачервоного діапазону на JWST та подібних установках.

По-третє, самі об'єкти слабкі й близькі до межі того, що можна детально характеризувати наземною спектроскопією. Щоб визначити маси їхніх чорних дір, оточення й місце в історії реіонізації, знадобляться JWST, ALMA та NOEMA. Euclid дуже добре знаходить ці об'єкти, але значною мірою передає їх іншим інструментам для детального вивчення.

Чому це важливо

Цінність цієї роботи — демографічна. Протягом десятиліття для перших мільярда років Всесвіту астрономи мали лише жменьку квазарів, на основі яких могли міркувати. Euclid в одній ранній частині огляду додав достатньо об'єктів, щоб перетворити список на вибірку, і, відповідно до прогнозів перед запуском, має продовжити нарощувати її.

Це важливо, бо відкриті питання тут є питаннями про популяцію. Як чорні діри так швидко стали настільки масивними? Наскільки неоднорідним і наскільки нейтральним був міжгалактичний газ у різні моменти? На це не відповість жоден один видовищний об'єкт; потрібні підрахунок, порівняння й картографування багатьох. Euclid продемонстрував здатність будувати такий перепис — зокрема на слабкому краю, який з'єднується із загадковою популяцією акретуючих чорних дір, що JWST знаходить у тій самій епосі. Ця стаття не розв'язує питання про походження перших чорних дір і сама по собі не вимірює реіонізацію. Вона масово постачає вихідний матеріал, потрібний для таких вимірювань, і встановлює чіткий фронтир для кампаній подальших спостережень, які вже тривають.

Короткий підсумок

Використавши перші приблизно 3 000 квадратних градусів Euclid Wide Survey, колаборація Euclid відкрила 31 новий квазар із червоним зміщенням від 6,6 до 7,8; дванадцять із них мають 7 або більше — це більш ніж подвоїло відому там популяцію, — а один об'єкт із червоним зміщенням 7,77 тепер є найдальшим відомим квазаром. Головна важливість

не в поступовому зсуві рекорду червоного зміщення, а в продемонстрованій здатності огляду масово знаходити ці рідкісні, переважно слабкі об'єкти. Результати є початковою публікацією даних: повний статистичний аналіз, значна частина спектроскопічних підтверджень і детальна характеристика окремих об'єктів ще попереду.

Твереза оцінка

Що показує стаття: Що Euclid Wide Survey за перші ~1,5 року на ~3 000 квадратних градусах здатен знаходити квазари з великим червоним зміщенням у кількості, недоступній попереднім оглядам: 31 підтверджений квазар між 6,6 і 7,8, дванадцять із червоним зміщенням 7 або більше, приблизне подвоєння відомої кількості там і найдальший об'єкт на ~7,77.

Що правдоподібне, але не головне: Сам рекорд червоного зміщення. Він справжній, але зсуває межу лише приблизно на 0,13 — від попереднього рекорду біля 7,64 до 7,77, тобто приблизно на п'ятнадцять мільйонів років космічного часу. Заголовок, який довше лишатиметься важливим, — подвоєна, зростаюча й незвично слабка вибірка, а не один рекордсмен.

Чого вона не показує: Як сформувалися перші надмасивні чорні діри або вимірювання реіонізації. Ці квазари — інструменти для таких питань, а не відповіді. І це ще не остаточний перепис популяції: повний статистичний аналіз прямо відкладено до наступних статей.

Головні обмеження для загального читача: Спектроскопічні спостереження ще неповні, особливо на півдні; результати щодо функції світності попередні; деякі з найслабших об'єктів, названих квазарами, можуть виявитися ранніми галактиками, доки спектроскопія рівня JWST не підтвердить їхню природу.

Якої впевненості заслуговує висновок для загального читача? Високої, що Euclid змінив межі того, що можна знаходити на таких червоних зміщеннях, і високої щодо рецензованих підтверджень яскравіших об'єктів. Нижчої — за формулюванням самих авторів — щодо точних чисел для слабкого краю популяції та природи найслабших кандидатів. Це перші результати, а не остаточно встановлена картина.

Джерела

D. Yang, J. F. Hennawi, F. Guarneri et al. (Euclid Collaboration), Astronomy & Astrophysics 711, A104 (2026), DOI 10.1051/0004-6361/202658883
https://doi.org/10.1051/0004-6361/202658883