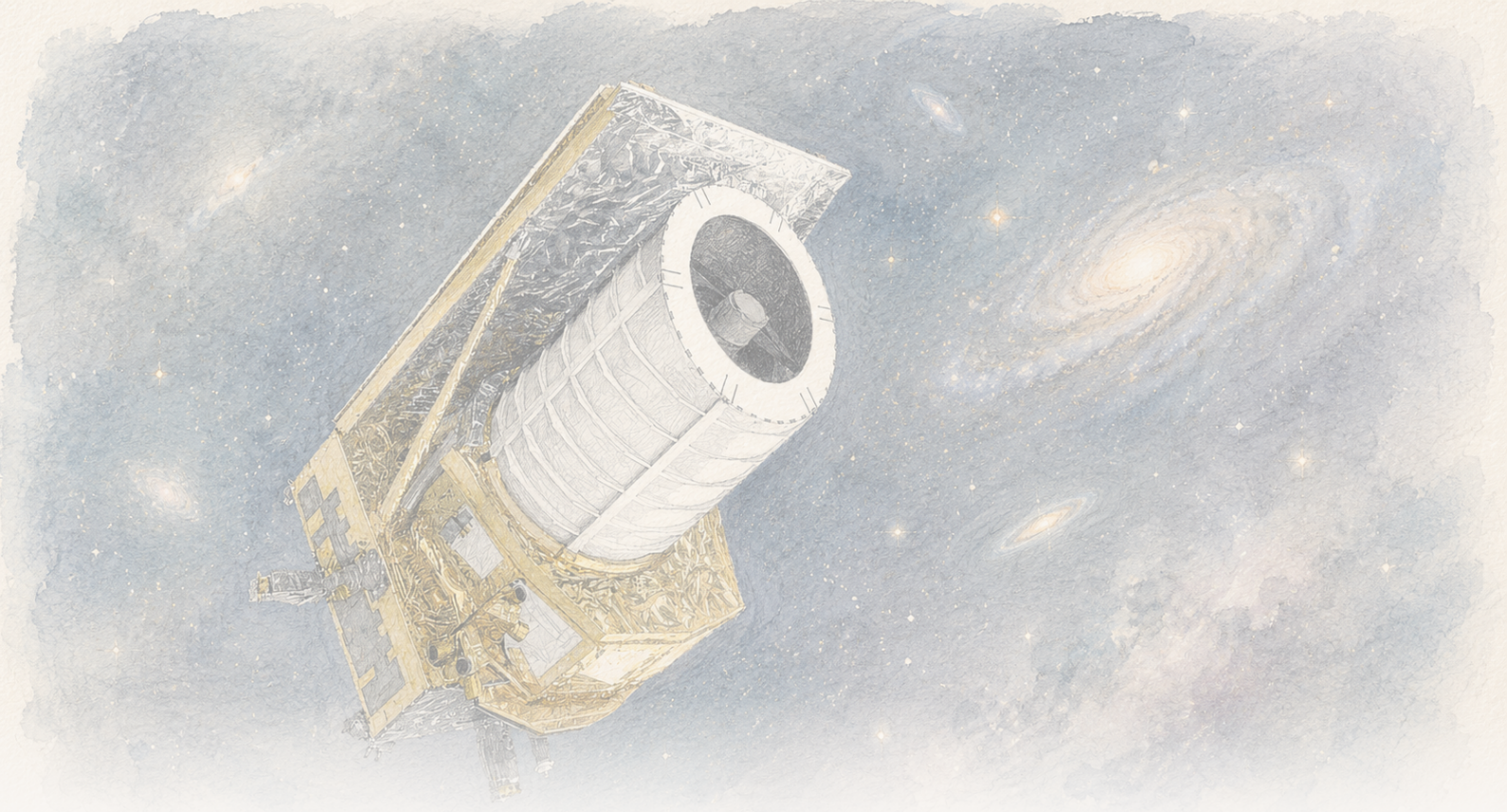


The Clean Paper

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

Euclid знайшоў 31 новы квазар ранняга Сусвету — і больш чым удвая павялічыў вядомую выбарку на чырвоным зрушэнні 7

За першыя прыкладна паўтара года шырокага агляду Euclid калабарацыя адкрыла 31 новы квазар з чырвоным зрушэннем 6,6–7,8, дванаццаць з іх — на 7 або вышэй, больш чым удвая павялічыўшы вядомую там папуляцыю. Адзін аб'ект на z≈7,77 стаў самым далёкім вядомым квазарам, але больш важны вынік — не невялікі рэкорд адлегласці, а здольнасць Euclid масава знаходзіць рэдкія і параўнальна слабыя квазары, патрэбныя для статыстыкі росту першых звышмасіўных чорных дзірак і рэіянізацыі. Гэта ранні вынік: спектраскапічнае пацвярджэнне і поўны аналіз папуляцыі яшчэ працягваюцца.

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

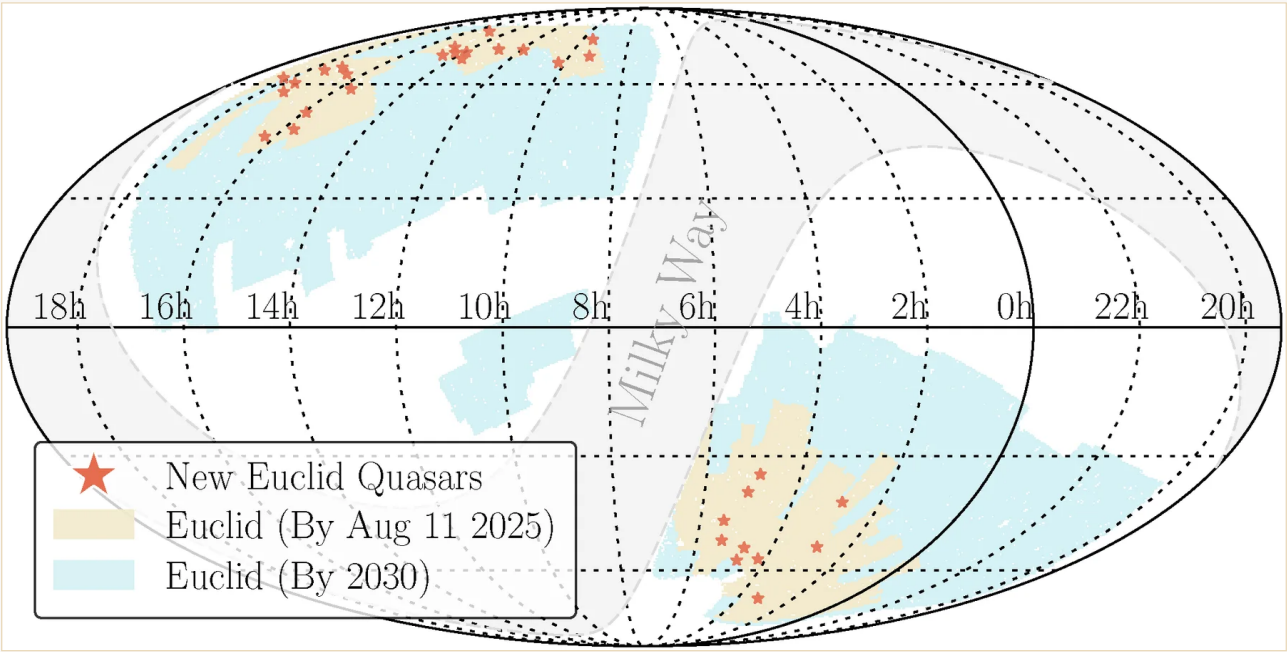
Paper: *Euclid: Discovery of 31 new quasars at 6.6 < z < 7.8*, D. Yang, J. F. Hennawi, F. Guarneri et al. (Euclid Collaboration), Astronomy & Astrophysics · DOI: 10.1051/0004-6361/202658883

Агляд, створаны для пошуку рэдкіх аб'ектаў, толькі што знайшоў цэлую іх партыю

Квазар — гэта звышмасіўная чорная дзірка, якую мы бачым у момант актыўнага паглынання рэчыва: газ, што падае ў яе, свеціцца настолькі ярка, што можа пераўзыходзіць па святлільнасці ўсю бацькоўскую галактыку. Паколькі квазары належаць да самых яркіх стабільных крыніц у Сусвеце, яны працуюць як маякі: знайдзіце дастаткова далёкі квазар — і яго святло стане лямпай, пастаўленай за мільярдамі гадоў міжгалактычнай прасторы.

Самыя далёкія квазары — тыя, чые святло адправілася да нас, калі Сусвету было менш за мільярд гадоў, — адначасова і самыя рэдкія. Да пачатку асноўнага агляду касмічнага тэлескопа Euclid вышэй за чырвонае зрушэнне 7 было пацверджана толькі каля дзевяці такіх аб'ектаў; гэты спіс павольна рос з першага адкрыцця ў 2011 годзе.

У новым артыкуле ў *Astronomy & Astrophysics* калабарацыя Euclid паведамляе пра 31 новы квазар з чырвоным зрушэннем ад 6,6 да 7,8, знойдзены ўсяго за першыя паўтара года агляду. Дванаццаць з іх маюць чырвонае зрушэнне 7 або больш. Адзін толькі гэты ранні этап больш чым удвая павялічыў вядомую папуляцыю на такіх чырвоных зрушэннях. Гэта гісторыя пра сілу агляднага назірання — і важна дакладна разумець, што яна азначае, а чаго не.



Вобласць Euclid Wide Survey, ужо пакрытая назіраннямі (бэжавая), на фоне поўнай плошчы, запланаванай да 2030 года (блакітная); 31 нанова адкрыты квазар з вялікім чырвоным зрушэннем пазначаны чырвоным. Яны паходзяць толькі з першай часткі агляду, які ўрэшце павінен ахапіць прыкладна 14 000 квадратных градусаў — сіла вялікага агляду ў адной выяве.

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

Да Euclid вышэй за чырвонае зрушэнне 7 было вядома каля дзевяці квазараў (2011–2024). Адзін ранні этап агляду дадаў яшчэ дванаццаць — канкрэтнае ўвасабленне «падваення» на ўсё яшчэ невялікай выбарцы.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Чаму настолькі далёкія квазары вартыя намаганняў

Чырвонае зрушэнне паказвае, наколькі пашырэнне Сусвету расцягнула святло крыніцы па дарозе да нас; большае чырвонае зрушэнне азначае старэйшае святло і больш ранні Сусвет. Пры чырвоным зрушэнні 7 мы глядзім назад у час менш чым праз мільярд гадоў пасля Вялікага выбуху, да заключнай часткі эпохі рэіянізацыі, калі першыя яркія аб'екты рассейвалі туман нейтральнага вадароду, які запаўняў ранні космас.

Што такое чырвонае зрушэнне і чаму яно адначасова працуе як адлегласць і гадзіннік

Калі тэрмін вам незнаёмы: *чырвонае зрушэнне* паказвае, наколькі святло крыніцы да моманту прыходу да нас было расцягнута да даўжэйшых, «чырвоных» даўжынь хваль. Адзін лік настолькі карысны па дзвюх прычынах. Па-першае, святло рухаецца з пастаяннай хуткасцю, таму ўсё далёкае мы адначасова бачым у далёкім мінулым — глядзець глыбока ў космас азначае глядзець назад у часе. Па-другое, Сусвет пашыраўся на працягу ўсяго падарожжа святла, таму чым даўжэйшы шлях, тым мацней яно расцягнулася. Такім чынам, большае чырвонае зрушэнне азначае святло, што адправілася раней і здалёк,

> калі космас быў маладзейшы. Чырвонае зрушэнне 7 тут адпавядае святлу з часу, калі пасля Вялікага выбуху прайшло менш за мільярд гадоў — значна менш за дзясятую частку цяперашняга ўзросту Сусвету.

Квазары гэтай эпохі карысныя па дзвюх розных прычынах. Па-першае, кожны ўжо змяшчае чорную дзірку масай ад сотняў мільёнаў да мільярдаў Сонцаў. Вырасціць нешта настолькі масіўнае так рана няпроста: пры звычайных абмежаваннях на тэмп акрэцыі чорнай дзіркі толькі дастаткова масіўныя пачатковыя «насенні» паспяваюць дасягнуць такіх мас за даступныя некалькі сотняў мільёнаў гадоў. Таму сама наяўнасць і колькасць гэтых аб’ектаў абмяжоўваюць сцэнарыі фарміравання і росту першых звышмасіўных чорных дзірак. Па-другое, святло квазара, праходзячы праз навакольнае міжгалактычнае асяроддзе, нясе адбітак таго, наколькі нейтральным быў газ, таму кожны квазар служыць зондам самой рэіянізацыі.

Праблема ў тым, што яны надзвычай рэдкія і цяжкія для пошуку. На такіх чырвоных зрушэннях наймацнейшая прыкмета квазара — лайман-альфа-разрыў — зрушваецца з аптычнага дыяпазону ў блізкі інфрачырвоны. Каб іх знайсці, патрэбныя глыбокія назіранні ў блізкім ІЧ на вялікай плошчы неба: да патрэбнай яркасці атрымліваецца прыкладна адзін квазар на сто квадратных градусаў. Менавіта спалучэнне «глыбока і шырока ў блізкім інфрачырвоным» з Зямлі было надзвычай складаным. Euclid створаны, каб закрыць гэты прабел.

Што насамрэч зрабіў Euclid

Euclid — касмічны тэлескоп з люстэркам 1,2 метра, які праводзіць шасцігадовы агляд прыкладна 14 000 квадратных градусаў неба ў аптычным і блізкім інфрачырвоным святле. Праца над атмасферай дазваляе на шырокім полі дасягаць глыбіні, якую наземныя ІЧ-агляды паўтарыць не могуць. У гэтым артыкуле выкарыстаны даныя прыкладна першых паўтара года агляду — каля 3 000 квадратных градусаў, назіраных паміж лютым 2024-га і жніўнем 2025 года.

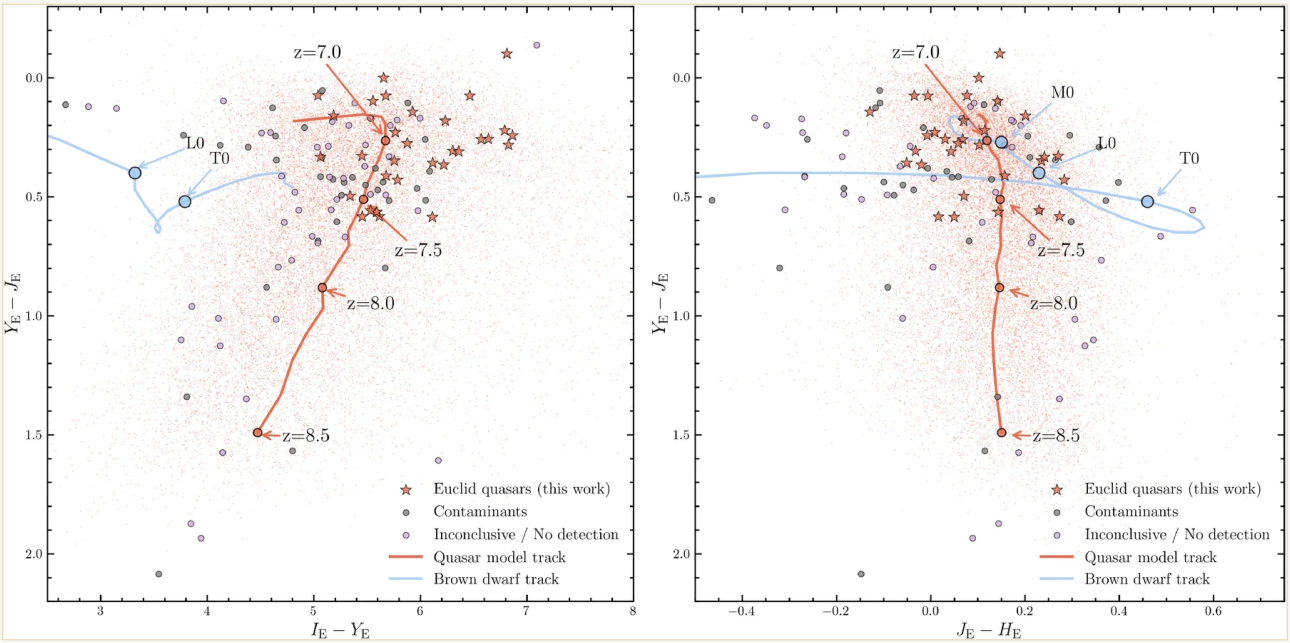
Касмічны апарат Euclid у чыстым пакоі перад запускам. 1,2-метровы тэлескоп глядзіць на неба праз верхнюю частку белага цыліндра; над атмасферай яго шырокавугольная камера блізкага інфрачырвонага дыяпазону дасягае вялікай глыбіні на шырокай плошчы, недаступнай наземным пошукам.

ESA / NASA Science fair-use

Знайсці 31 іголку ў гэтым стозе сена было не проста пытаннем уважлівага прагляду. Каманда стварыла спецыяльную фотаметрыю і прымяніла да яе некалькі машынна-навучаных і імавернасных класіфікатараў — мадэль шчыльнасці з extreme deconvolution, класіфікатар з градыентным бустынгам і дапасаванне па шаблонах. Для кожнай слабой кропкавай крыніцы яны ацэньвалі імавернасць таго, што гэта квазар з вялікім чырвоным зрушэннем, а не адзін са значна больш шматлікіх забруджвальнікаў выбаркі, найперш халодных карычневых карлікаў, колеры якіх імітуюць далёкі квазар. Кандыдатаў перакрыжавана правяралі рознымі метадамі, праглядалі ўручную і вызначалі прыярытэты для наступных назіранняў. Выявы самога Euclid адбіраюць кандыдатаў; пацвярджэнне даюць спектры з вялікіх наземных тэлескопаў — сярод іх Magellan і Large Binocular Telescope, — якія раскладаюць святло дастаткова тонка, каб убачыць характэрны разрыў і эмісійныя лініі.

Гэты этап пацвярджэння сумленна застаецца незавершанай працай. Спектраскапічныя назіранні працягваюцца і, паводле самога артыкула, яшчэ не дасягнулі поўнай камплектнасці, асабліва ў паўднёвай частцы неба. Для кандыдатаў, якіх назіралі, але якія не ўвайшлі ў 31 пацверджаны квазар, аўтары наўпрост апісваюць вынік: многія аказаліся забруджвальнікамі выбаркі (значная частка, верагодна, карычневыя карлікі), некаторыя далі неадназначны вынік, у некаторых сігнал выявіць не ўдалося.

Пакет пацверджаных квазараў — гэта загаловак; поўны ўлік таго, што менавіта адбор знаходзіць і прапускае, адкладзены да наступных артыкулаў.



Дыяграма «колер–колер»: як Euclid адрознівае далёкі квазар ад блізкага карычневага карліка. Кожная вось паказвае розніцу яркасці аб’екта ў двух фільтрах Euclid, гэта значыць характарызуе колер яго святла, а не абсалютную яркасць. Чырвоная крывая паказвае чаканае становішча квазараў з вялікім чырвоным зрушэннем (меткі адпавядаюць чырвонаму зрушэнню 7,0–8,5); светла-блакітная — халодных карычневых карлікаў, галоўных «самазванцаў», з тыпамі ад M0 да T0. 31 новы квазар (чырвоныя зоркі) ляжыць уздоўж квазарнага трэка; пацверджаныя забруджвальнікі (шэрыя) і неадназначныя або невыяўленыя кандыдаты (фіялетавыя) адыходзяць ад яго. Там, дзе два трэкі праходзяць блізка, аднаго колеру недастаткова — таму кожны квазар усё роўна патрабуе спектраскапічнага пацвярджэння.

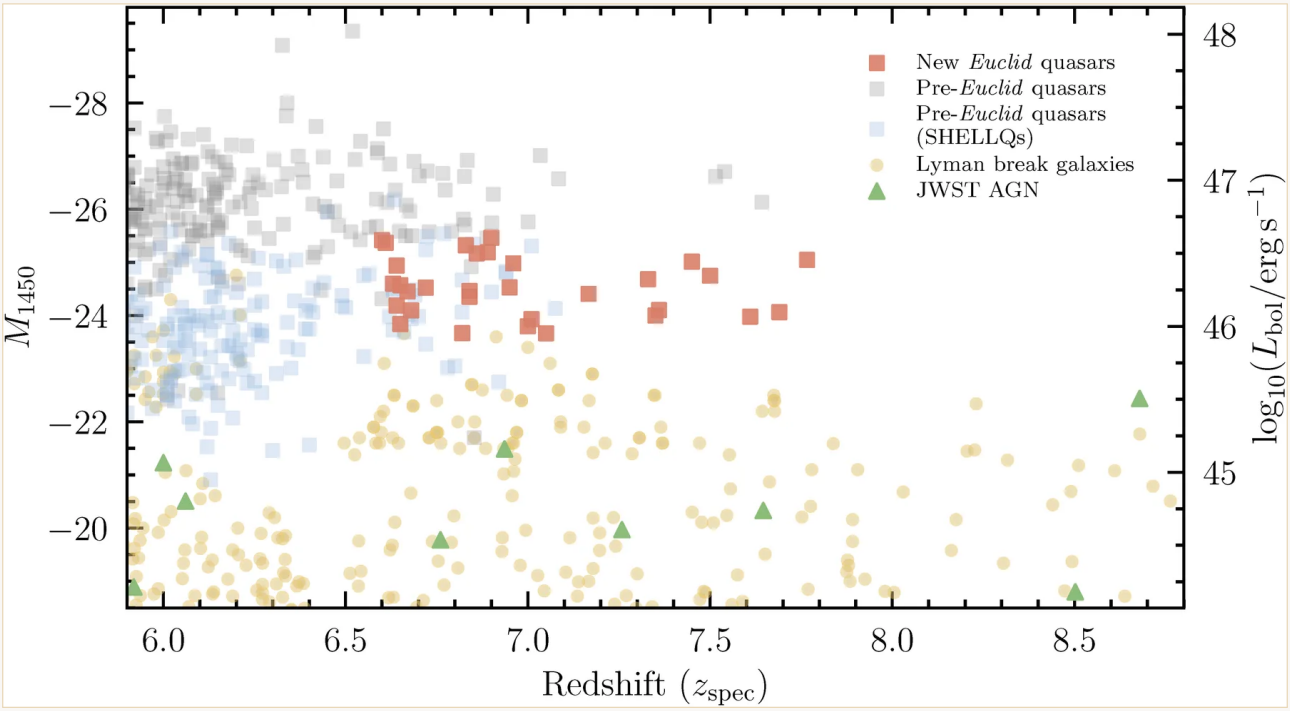
D. Yang et al. / Euclid Collaboration / Astronomy & Astrophysics CC BY 4.0

Рэкорд — у правільным маштабе

Адзін з 31 аб’екта, EUCL J1729+6410, мае чырвонае зрушэнне каля 7,77 і цяпер з’яўляецца самым далёкім вядомым квазарам. Гэта сапраўдны рэкорд, але варта наўпрост сказаць, наколькі вялікі гэты крок. За два дзесяцігоддзі мэтанакіраваных пошукаў мяжу зрушылі прыкладна да чырвонага зрушэння 7,5, а непасрэдны папярэдні рэкардсмен меў каля 7,64. Пераход да 7,77 — рэальны, але паступовы прагрэс: артыкул ацэньвае прырост прыкладна ў 0,13 чырвонага зрушэння, гэта значыць каля пятнаццаці мільёнаў гадоў касмічнага часу. Штуршок, а не скачок.

Важнейшы іншы лік: падваенне выбаркі вышэй за чырвонае зрушэнне 7 за адзін ранні этап. Рэкардсмен — адзін аб’ект, гэта значыць адна кропка даных. Падвоеная і далейшая расце папуляцыя ўжо дае статыстыку: можна ацэньваць, наколькі распаўсюджанымі былі гэтыя чорныя дзіркі, наколькі яркімі і наколькі кластэрызаванымі. А менавіта

статыстыка ляжыць у аснове навукі пра ранні Сусвет. Большасць новых квазараў таксама параўнальна цьмяныя — на адну-дзве зорныя велічыні слабейшыя за яркія квазары, знойдзеныя да Euclid. Да такога слабога краю цяжэй дабрацца, але для даследавання рэіянізацыі ён каштоўнейшы: слабыя квазары ствараюць вакол сябе меншыя іянізаваныя бурбалкі, таму іх святло праходзіць праз большую долю газу, які ўсё яшчэ застаецца нейтральным.



Дзе размешчаныя новыя квазары: яркасць супраць касмічнай адлегласці. Гарызантальная вось — чырвонае зрушэнне: чым правей, тым больш ранні момант касмічнай гісторыі. Вертыкальная вось — уласная ультрафіялетавая яркасць кожнага квазара, пазначаная на графіку як M1450; паводле старой астранамічнай канвенцыі зорных велічынь шкала ідзе «наадварот», таму вышэй азначае ярчэй (правая шкала выражае тое самае як поўную, або *балоаметрычную*, свяцільнасць). У такім прачытанні графік — гэта перапіс насельніцтва. Яркія раней вядомыя квазары (шэрыя) збіраюцца пры ніжэйшых чырвоных зрушэннях; глыбейшы агляд SHELLQs (светла-блакітны) знаходзіў слабейшыя аб'екты, але не нашмат далей у мінулае. 31 новы квазар Euclid (чырвоныя) працягвае гэтую яркую папуляцыю да самых высокіх чырвоных зрушэнняў — крайні справа з'яўляецца рэкардсменам на 7,77 — і адначасова ляжыць прыкладна на адну-дзве зорныя велічыні ніжэй за класічныя яркія квазары. Яшчэ ніжэй — тэрыторыя, куды дабіраюцца толькі глыбокія вузкія агляды: мора галактык з лайманаўскім разрывам (жоўтыя) і некалькі вельмі слабых акрэціруючых чорных дзірак, вылучаных JWST (зялёныя трохкутнікі). Уклад Euclid відаць як асобную групу — параўнальна яркія квазары, вельмі ранняя, знойдзеныя на шырокай плошчы, — якая злучае старую яркую выбарку са слабой папуляцыяй, да якой пакуль дабіраюцца толькі інструменты з вузкімі мэтанакіраванымі назіраннямі.

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

Што ўсё яшчэ невядома

У гэтага выніку ёсць тры агаворкі, і кожная наўпрост адзначана ў самім артыкуле.

Па-першае, гэта ранні вынік, а не канчатковае вымярэнне. Аўтары свядома адкладаюць поўны статыстычны аналіз функцыі адбору і папуляцыі квазараў да будучых публікацый. Абмежаванні на функцыю свяцільнасці тут — першы погляд, а не апошняе слова.

Па-другое, не кожны слабы «квазар» гарантавана ім з'яўляецца. На слабым краі некаторыя аб'екты, ідэнтыфікаваныя як квазары, могуць аказацца кампактнымі раннімі галактыкамі, асабліва калі ў іх няма моцна пашыранай лініі Лайман-альфа. Каманда правяла папярэднюю праверку і паказала, што аб'екты ўзгадняюцца з кропкавымі крыніцамі, а не працяглымі галактыкамі, але сама называе гэты тэст папярэднім. Сапраўдную прыроду самых слабых аб'ектаў усталюе глыбокая спектраскапія блізкага інфрачырвонага дыяпазону на JWST і падобных устаноўках.

Па-трэцяе, самі аб'екты слабыя і блізкія да мяжы таго, што можна падрабязна характарызаваць наземнай спектраскапіяй. Каб вызначыць масы іх чорных дзірак, асяроддзе і месца ў гісторыі рэіянізацыі, спатрэбяцца JWST, ALMA і NOEMA. Euclid вельмі добра знаходзіць гэтыя аб'екты, але ў значнай ступені перадае іх іншым інструментам для дэталёвага вывучэння.

Чаму гэта важна

Каштоўнасць гэтай працы — дэмаграфічная. На працягу дзесяцігоддзя для першага мільярда гадоў Сусвету ў астраномаў была толькі жменька квазараў, на аснове якіх можна было разважаць. Euclid у адной ранняй частцы агляду дадаў дастаткова аб'ектаў, каб ператварыць спіс у выбарку, і, паводле прагнозаў да запуску, павінен працягваць яе нарошчваць.

Гэта важна, бо адкрытыя пытанні тут — пытанні пра папуляцыю. Як чорныя дзіркі так хутка сталі настолькі масіўнымі? Наколькі неаднародным і наколькі нейтральным быў міжгалактычны газ у розныя моманты? На гэта не адкажа ніводны эфектны аб'ект; патрэбныя падлік, параўнанне і картаграфаванне многіх. Euclid прадэманстраваў здольнасць будаваць такі перапіс — у тым ліку на слабым краі, які злучаецца з загадкавай папуляцыяй акрэціруючых чорных дзірак, знойдзеных JWST у тую ж эпоху. Гэты артыкул не вырашае пытанне пра паходжанне першых чорных дзірак і сам па сабе не вымярае рэіянізацыю. Ён масава пастаўляе зыходны матэрыял, патрэбны для такіх вымярэнняў, і ўсталёўвае выразны фронцір для кампаній наступных назіранняў, якія ўжо ідуць.

Коратка

Выкарыстаўшы першыя прыкладна 3 000 квадратных градусаў Euclid Wide Survey, калабарацыя Euclid адкрыла 31 новы квазар з чырвоным зрушэннем ад 6,6 да 7,8; дванаццаць з іх маюць 7 або больш — гэта больш чым падвоіла вядомую там папуляцыю, — а адзін аб'ект з чырвоным зрушэннем 7,77 цяпер з'яўляецца самым далёкім вядомым квазарам. Галоўная важнасць не ў паступовым зрушэнні рэкорду чырвонага зрушэння, а ў прадэманстраванай здольнасці агляду масава знаходзіць гэтыя рэдкія, пераважна слабыя аб'екты. Вынікі ўяўляюць сабой раннюю публікацыю даных: поўны статыстычны аналіз, значная частка спектраскапічных пацвярджэнняў і дэталёвая характарыстыка асобных аб'ектаў яшчэ наперадзе.

Праверка без прыкрас

Што паказвае артыкул: Што Euclid Wide Survey за першыя ~1,5 года на ~3 000 квадратных градусах здольны знаходзіць квазары з вялікім чырвоным зрушэннем у колькасці, недаступнай папярэднім аглядам: 31 пацверджаны квазар паміж 6,6 і 7,8, дванаццаць з чырвоным зрушэннем 7 або больш, прыблізнае падваенне вядомай колькасці там і самы далёкі аб'ект на ~7,77.

Што праўдападобна, але не галоўнае: Сам рэкорд чырвонага зрушэння. Ён сапраўдны, але зрушвае мяжу толькі прыкладна на 0,13 — ад папярэдняга рэкорду каля 7,64 да 7,77, гэта значыць прыкладна на пятнаццаць мільёнаў гадоў касмічнага часу. Загаловак, які даўжэй застанецца важным, — падвоеная, растучая і незвычайна слабая выбарка, а не адзін рэкардсмен.

Чаго яна не паказвае: Як сфарміраваліся першыя звышмасіўныя чорныя дзіркі або вымярэнне рэіянізацыі. Гэтыя квазары — інструменты для такіх пытанняў, а не адказы. І гэта яшчэ не канчатковы перапіс папуляцыі: поўны статыстычны аналіз наўпрост адкладзены да наступных артыкулаў.

Галоўныя абмежаванні для шырокага чытача: Спектраскапічныя назіранні яшчэ няпоўныя, асабліва на поўдні; вынікі па функцыі свяцільнасці папярэднія; некаторыя з самых слабых аб'ектаў, названых квазарамі, могуць аказацца раннімі галактыкамі, пакуль спектраскапія ўзроўню JWST не пацвердзіць іх прыроду.

Якой упэўненасці заслугоўвае выснова для шырокага чытача? Высокай — у тым, што Euclid змяніў межы таго, што можна знаходзіць на такіх чырвоных зрушэннях, і высокай адносна рэцэнзаваных пацвярджэнняў ярчэйшых аб'ектаў. Ніжэйшай — паводле фармулёўкі саміх аўтараў — адносна дакладных лікаў для слабога краю папуляцыі і прыроды самых слабых кандыдатаў. Гэта першыя вынікі, а не канчаткова ўсталяваная карціна.

Крыніцы

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