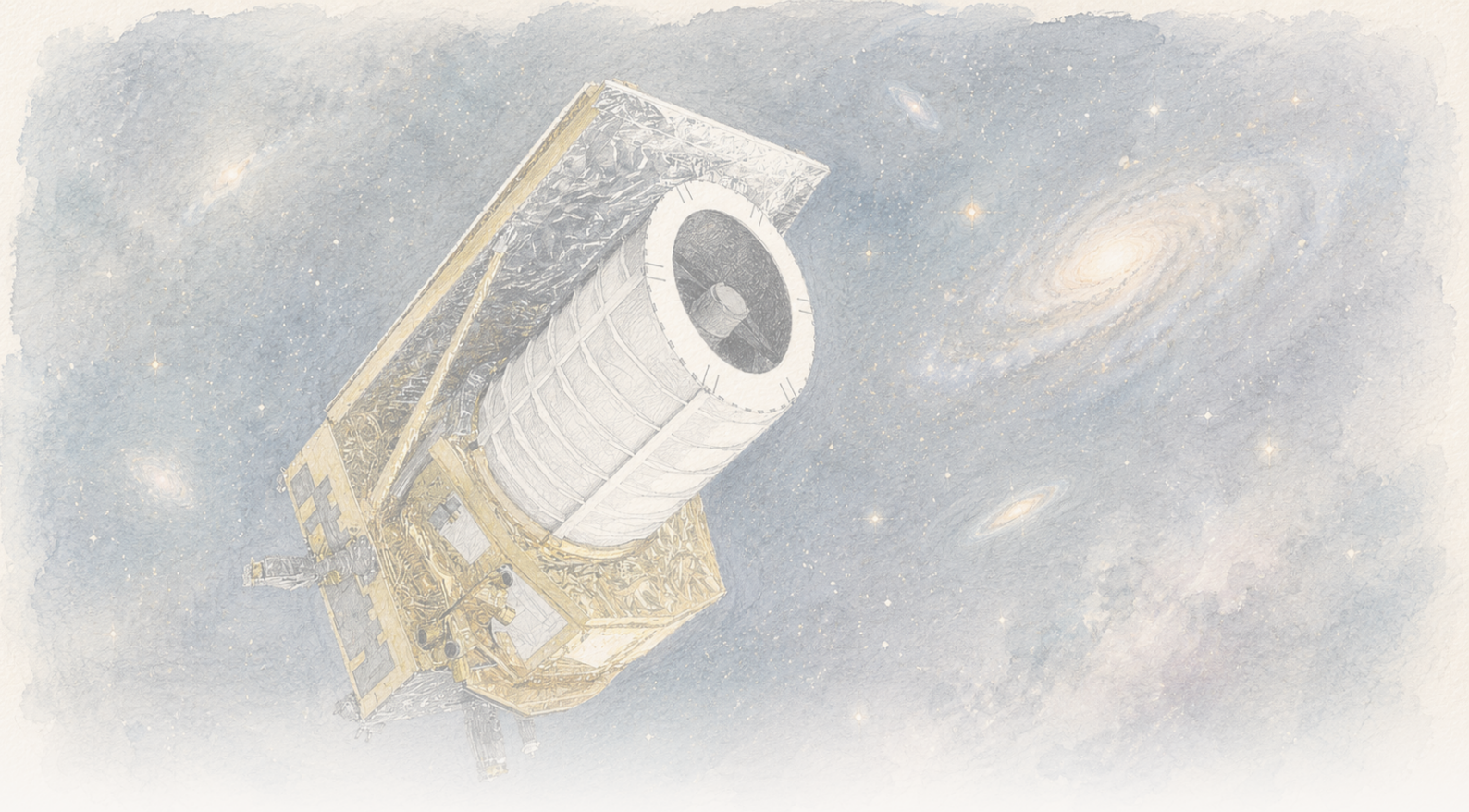


The Clean Paper

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

Euclid vairāk nekā dubulto nelielo kvazāru paraugu aiz sarkanās nobīdes 7

Euclid Wide Survey pirmajā pusotrā gadā, pārmeklējot aptuveni 3000 kvadrātgrādu, atrada 31 jaunu kvazāru sarkanās nobīdes diapazonā 6,6–7,8. Divpadsmit ir pie $z \geq 7$, vairāk nekā dubultojot saujiņu, kas tur bija zināma pirms Euclid, un viens pie $z = 7{,}77$ ir jaunais attāluma rekordists. Patiesais progress nav viens rekords, kas tikai nedaudz pabīda robežu, kura gadiem bija ap $z = 7{,}5$, bet aptaujas spēja šos retos, lielākoties blāvos objektus atrast masveidā. Tas ir sākotnējs rezultāts; pilnā statistika un liela daļa spektroskopisko apstiprinājumu vēl sekos.

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

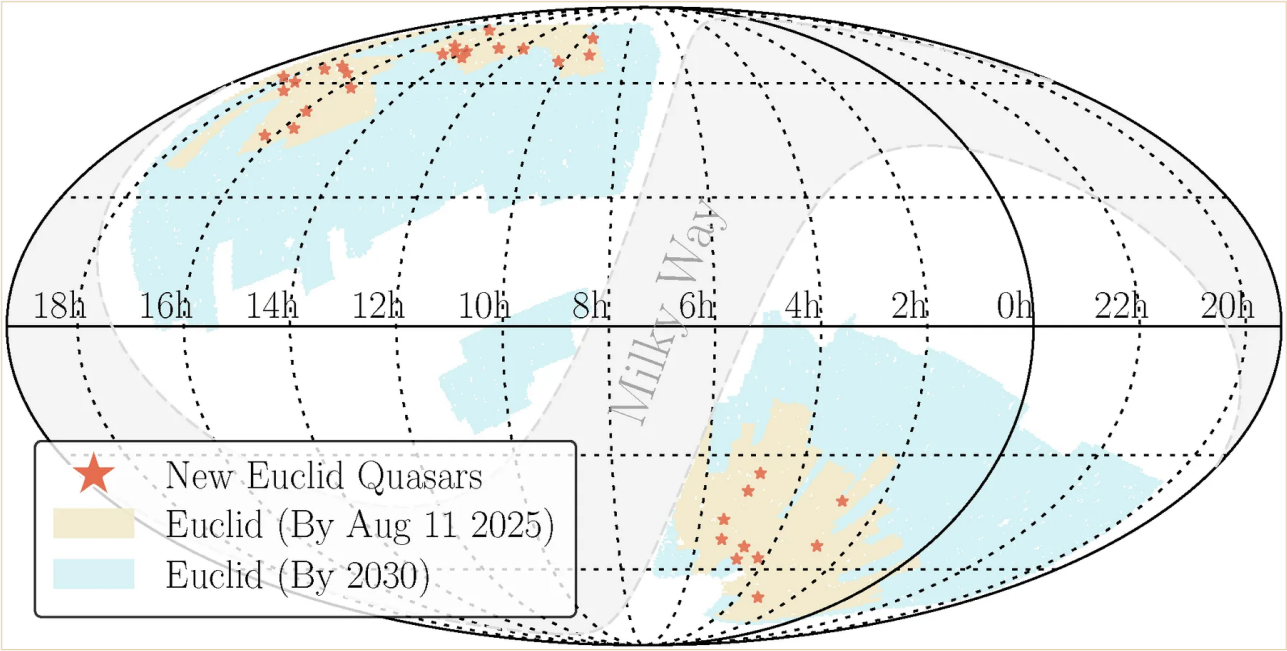
Paper: *Euclid: Discovery of 31 new quasars at 6.6 < z < 7.8*, D. Yang, J. F. Hennawi, F. Guarneri et al. (Euclid Collaboration), Astronomy & Astrophysics · DOI: 10.1051/0004-6361/202658883

Aptauja, kas būvēta retu objektu meklēšanai, tikko atrada veselu grupu

Kvazārs ir supermasīvs melnais caurums aktīvā barošanās fāzē, kas, aprijot gāzi, spīd tik spoži, ka var pārspēt visas savas saimniekgalaktikas gaismu. Tā kā kvazāri ir vieni no spožākajiem ilgstošajiem avotiem Visumā, tie darbojas kā bākas: atrodot pietiekami tālu kvazāru, tā gaisma kļūst par lampu, kas izgaismo miljardiem gadu garu ceļu cauri starpgalaktiskajai telpai.

Vistālākie kvazāri, kuru gaisma izstarota laikā, kad Visumam vēl nebija miljards gadu, ir arī visretākie. Pirms kosmiskais teleskops Euclid sāka galveno aptauju, aiz sarkanās nobīdes 7 bija apstiprināti tikai aptuveni deviņi — skaits, kas lēni krājās kopš pirmā šāda atklājuma 2011. gadā.

Jaunā *Astronomy & Astrophysics* rakstā Euclid Collaboration ziņo par 31 jaunu kvazāru sarkanās nobīdes diapazonā no 6,6 līdz 7,8, kas atrasti tikai pirmajā pusotrā aptaujas gadā. Divpadsmit atrodas pie z = 7 vai augstāk. Viens agrīns meklēšanas posms vairāk nekā dubultojis zināmo populāciju šajā attāluma diapazonā. Tas galvenokārt ir stāsts par aptaujas jaudu, un vērts precīzi saprast, ko tas nozīmē un ko ne.



Līdz šim novērotā Euclid Wide Survey teritorija (bēša) pret pilno līdz 2030. gadam plānoto lauku (ciāna), ar 31 jaunatklāto lielas sarkanās nobīdes kvazāru sarkaniem punktiem. Tie nāk tikai no pirmās daļas aptaujā, kas galu galā paredzēta ap 14 000 kvadrātgrādu kartēšanai — aptaujas jaudas stāsts vienā attēlā.

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

Pirms Euclid bija zināmi aptuveni deviņi kvazāri aiz sarkanās nobīdes 7 (2011–2024). Šis viens agrīnais meklējums pievienoja vēl divpadsmit — "dubultojums" konkrētos skaitļos, joprojām nelielā paraugā.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Kāpēc tik tāli kvazāri ir pūļu vērti

Sarkanā nobīde mēra, cik stipri Visuma izplešanās ceļā līdz mums izstiepusi avota gaismu; lielāka sarkanā nobīde nozīmē senāku gaismu un agrāku Visumu. Pie z = 7 skatāmies uz laiku mazāk nekā miljardu gadu pēc Lielā sprādziena, rejonizācijas laikmeta beigu posmā, kad pirmie spožie objekti jonizēja agrīno telpu pildošo neitrālā ūdeņraža "miglu".

Kas ir sarkanā nobīde un kāpēc tā vienlaikus ir attāluma un laika mērs

Ja terminoloģija ir jauna: *sarkanā nobīde* raksturo, cik stipri avota gaismas viļņu garumi līdz nonākšanai pie mums izstiepušies uz garāku, sarkanāku viļņu pusi. Šis viens skaitlis ir tik noderīgs divu iemeslu dēļ. Pirmkārt, gaisma pārvietojas ar noteiktu ātrumu, tāpēc tālu objektu vienlaikus redzam tālā pagātnē — skatīties dziļi kosmosā nozīmē skatīties atpakaļ laikā. Otrkārt, Visums gaismas ceļojuma laikā ir izpleties; jo ilgāks ceļš, jo vairāk gaisma izstiepta. Tāpēc lielāka sarkanā nobīde nozīmē agrāk izstarotu gaismu no tālākas vietas, kad Visums bija jaunāks. Sarkanā nobīde 7 šeit nozīmē gaismu no laika, kad kopš Lielā sprādziena bija pagājis mazāk nekā miljards gadu — krietni mazāk par desmito daļu pašreizējā Visuma vecuma.

Šā laikmeta kvazāri ir vērtīgi divu atsevišķu iemeslu dēļ. Pirmkārt, katrā jau atrodas melnais caurums

ar simtiem miljonu līdz miljardiem Saules masu. Tik lielu objektu izaudzēt tik agri ir grūti: pie parastajiem ierobežojumiem uz materiāla akrēcijas ātrumu tikai samērā masīvi sākotnējie "sēklu" melnie caurumi var pietiekami ātri sasniegt šādu masu dažos simtos miljonu gadu. Tātad pats šo objektu skaits un īpašības ierobežo teorijas par pirmo supermasīvo melno caurumu veidošanos un augšanu. Otrkārt, kvazāra gaisma, ceļojot cauri apkārtējai starpgalaktiskajai videi, nes informāciju par to, cik neitrāla bija gāze, padarot katru kvazāru par rejonizācijas zondi.

Problēma ir to ārkārtīgais retums un grūtā detektējamība. Pie šādas sarkanās nobīdes kvazāra spēcīgākā pazīme, Laimana-alfa pārrāvums, ir nobīdīta no optiskā uz tuvo infrasarkano diapazonu, tāpēc vajadzīgi dziļi tuvas infrasarkanās gaismas attēli lielā debess laukumā — aptuveni viens kvazārs uz simt kvadrātgrādiem līdz vajadzīgajam spožumam. No zemes vienlaikus dziļa un plaša tuvas IR aptauja līdz šim bijusi ārkārtīgi grūta. Tieši šo plaisu Euclid tika būvēts aizpildīt.

Ko Euclid patiesībā izdarīja

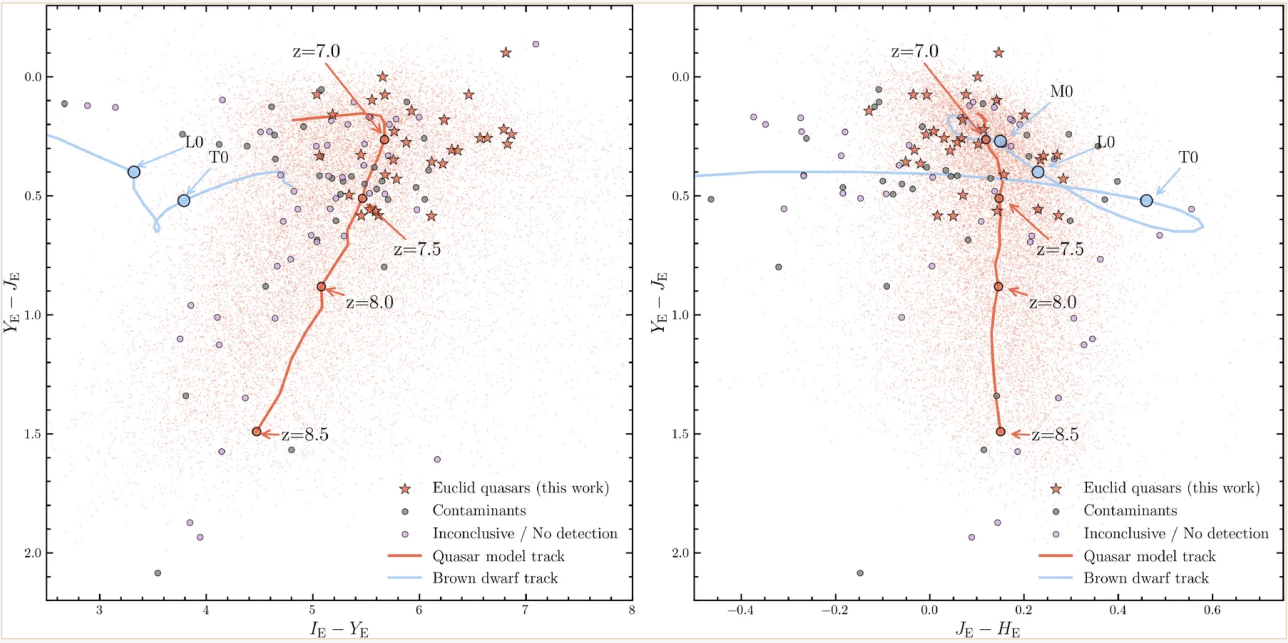
Euclid ir 1,2 metru kosmiskais teleskops, kas sešu gadu laikā paredzēts ap 14 000 kvadrātgrādu debess kartēšanai optiskajā un tuvajā infrasarkanajā gaismā. Atrodoties virs atmosfēras, tas plašā laukā sasniedz dziļumu, ko zemes tuvas infrasarkanās aptaujas nevar viegli atkārtot. Šis raksts izmanto datus no pirmajiem aptuveni pusotra gada — ap 3000 kvadrātgrādu, kas novēroti no 2024. gada februāra līdz 2025. gada augustam.

Euclid kosmiskais aparāts tīrtelpā pirms palaišanas. 1,2 metru teleskops skatās caur baltā cilindra augšdaļu; virs atmosfēras tā plaša lauka tuvas infrasarkanās gaismas kamera var sasniegt tādu dziļumu lielā laukumā, ko zemes aptaujas nespēj viegli atkārtot.

ESA / NASA Science fair-use

31 adatas atrašana šajā siena kaudzē nebija vienkārša "skatīšanās". Komanda izveidoja īpašu fotometriju un piemēroja tai vairākus mašīnmācīšanās un varbūtiskos klasifikatorus — extreme-deconvolution blīvuma modeli, gradienta pastiprināšanas klasifikatoru un veidnēs balstītus pielāgojumus —, lai katram blāvam punktveida avotam novērtētu varbūtību būt lielas sarkanās nobīdes kvazāram, nevis vienam no daudz biežākajiem traucēkļiem, galvenokārt vēsajiem brūnajiem punduriem, kuru krāsas līdzinās tālam kvazāram. Kandidāti tika salīdzināti starp metodēm, pārskatīti manuāli un prioritizēti turpmākiem novērojumiem. Euclid attēli kandidātus atlasīja; apstiprinājumi nāca no lielu zemes teleskopu — tostarp Magellan un Large Binocular Telescope — spektriem, kas sadala gaismu pietiekami smalki, lai redzētu raksturīgo pārrāvumu un emisijas līnijas.

Šis apstiprināšanas darbs joprojām turpinās. Spektroskopiskā pēcpārbaude nav pilnīga, īpaši dienvidu debesīs. No kandidātiem, kas tika novēroti, bet nekļuva par vienu no 31 apstiprinātajiem kvazāriem, daudzi izrādījās traucēkļi (liela daļa, visticamāk, brūnie punduri), daži palika neskaidri, citiem signālu neizdevās detektēt. Apstiprināto kvazāru grupa ir virsraksts; pilnīga uzskaite par atlases efektivitāti un kļūdām atstāta nākamajiem rakstiem.



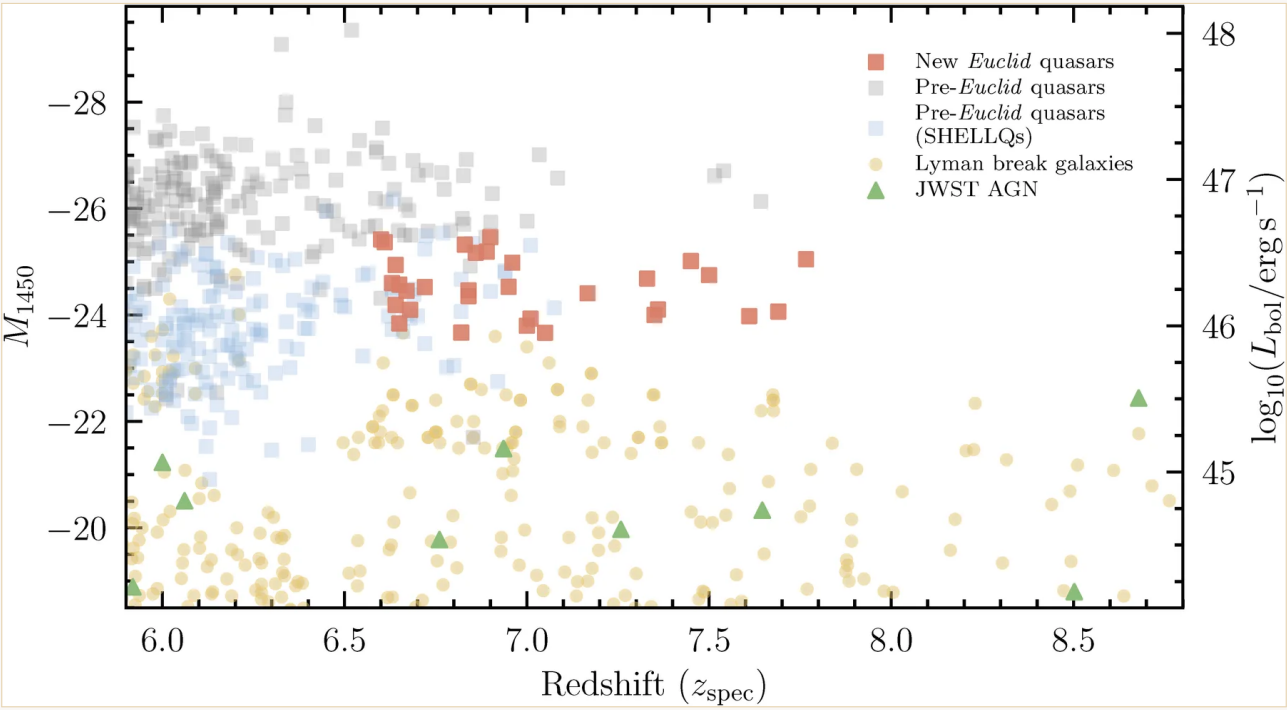
Krāsu–krāsu diagramma: kā Euclid atšķir tālu kvazāru no tuva brūnā pundura. Katra ass rāda spožuma starpību starp diviem Euclid filtriem, tātad gaismas krāsu, ne absolūto spožumu. Sarkanā līkne rāda, kur teorētiski atrodas lielas sarkanās nobīdes kvazāri (atzīmes 7,0–8,5); gaiši zilā — vēsie brūnie punduri, galvenos imitētājus, no M0 līdz T0. 31 jaunais kvazārs (sarkanas zvaigznes) sakārtojas gar kvazāru līniju; apstiprinātie traucēkļi (pelēki) un neskaidrie vai nedetektētie kandidāti (violeti) atrodas citur. Vietās, kur abas līknes tuvojas, ar krāsu vien nepietiek — tāpēc katram kvazāram joprojām vajadzīga spektroskopija.

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

Rekords pareizajā mērogā

Viens no 31 objekta, EUCL J1729+6410, atrodas pie sarkanās nobīdes ap 7,77 un pašlaik ir vistālākais zināmais kvazārs. Tas ir reāls rekords, taču svarīgi saprast soļa lielumu. Divu gadu desmitu mērķtiecīgos meklējumos robeža bija virzīta līdz ap z = 7,5, bet iepriekšējais rekordists bija ap 7,64. Pāreja uz 7,77 ir īsts progress, taču inkrementāls — ap 0,13 sarkanās nobīdes vienībām jeb aptuveni piecpadsmit miljoniem gadu kosmiskā laika. Neliels grūdiens, ne lēciens.

Daudz nozīmīgāks ir otrs skaitlis: parauga virs z = 7 dubultošana vienā agrīnā meklēšanas posmā. Rekordists ir viens objekts un viens datu punkts. Augošs, dubultots paraugs ļauj veikt statistiku — mērīt, cik bieži šādi melnie caurumi sastopami, cik tie ir spoži un kā grupējas. Tieši statistika ir vajadzīga agrīnā Visuma zinātnei. Lielākā daļa jauno kvazāru ir arī samērā blāvi — par vienu līdz divām zvaigžņlieluma vienībām blāvāki nekā spožie kvazāri, ko atrada pirms Euclid. Šis blāvais gals ir grūtāk sasniedzams, bet rejonizācijas pētījumiem īpaši vērtīgs: blāvāki kvazāri ap sevi izveido mazākus jonizētus burbuļus, tāpēc to gaisma šķērso vairāk vēl neitrālās gāzes.



Jauno kvazāru atrašanās vieta spožuma un kosmiskā attāluma plaknē. Horizontālā ass ir sarkanā nobīde — tālāk pa labi nozīmē agrāku kosmisko vēsturi. Vertikālā ass ir kvazāra iekšējais ultravioletais spožums M1450; astronomiskā zvaigžņlieluma skala ir apgriezta, tāpēc augstāk nozīmē spožāku objektu. Diagramma ir populācijas uzskaite: iepriekš zināmie spožie kvazāri (pelēki) koncentrējas zemākās sarkanajās nobīdēs; dziļāka SHELLQs aptauja (gaiši zila) sasniedza blāvākus objektus, bet ne daudz tālāk pagātnē. 31 jaunais Euclid kvazārs (sarkans) paplašina šo populāciju līdz vislielākajām sarkanajām nobīdēm — labajā malā rekordists pie 7,77 — un ir ap vienu līdz divām magnitūdām blāvāki nekā klasiskie spožie kvazāri. Zemāk ir teritorija, ko sasniedz tikai dziļas šaura lauka aptaujas: Laimana pārrāvuma galaktikas (dzeltenas) un daži ļoti blāvi aktīvi melnie caurumi, ko JWST atradis (zaļi trijstūri). Euclid ieguldījums ir skaidra grupa — samērā spoži kvazāri ļoti agrā laikā, atrasti lielā laukumā.

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

Kas vēl ir nenoteikts

Ar rezultātu kopā ceļo trīs atrunas, un pats raksts tās nosauc.

Pirmkārt, tas ir sākotnējs rezultāts, ne galīgais mērījums. Autori pilno atlases funkcijas un kvazāru populācijas statistisko analīzi apzināti atstāj nākamajām publikācijām. Šeit redzamie spožuma funkcijas ierobežojumi ir pirmais skatījums.

Otrkārt, ne katrs blāvais "kvazārs" ir garantēti kvazārs. Blāvajā galā daži objekti var izrādīties kompaktas agrīnas galaktikas, īpaši, ja tiem nav izteikti platas Laimana-alfa līnijas. Komanda provizoriski pārbauda, ka objekti izskatās kā punktveida avoti, ne izvērstas galaktikas, taču pati šo pārbaudi sauc par sākotnēju. Visblāvāko kandidātu dabu noteiks dziļa tuvas infrasarkanās gaismas spektroskopija ar JWST un līdzīgiem instrumentiem.

Treškārt, objekti paši ir blāvi un tuvu robežai, ko var detalizēti raksturot ar zemes spektroskopiju. To melno caurumu masas, apkārtne un loma rejonizācijā prasīs JWST, ALMA un NOEMA. Euclid ir ļoti labs šo objektu atrašanā; detalizētu izpēti tas lielā mērā nodod citiem instrumentiem.

Kāpēc tas ir svarīgi

Šā darba vērtība ir demogrāfiska. Desmit gadus astronomiem par Visuma pirmo miljardu gadu bija tikai saujiņa kvazāru. Euclid vienā agrīnā aptaujas daļā pievienoja pietiekami daudz objektu, lai saraksts sāktu kļūt par statistisku paraugu — un, saskaņā ar pirms palaišanas prognozēm, tam vajadzētu turpināt augt.

Tas ir svarīgi, jo neatbildētie jautājumi ir populācijas jautājumi. Kā melnie caurumi tik ātri kļuva tik lieli? Cik nevienmērīga un cik neitrāla bija starpgalaktiskā gāze dažādos laikos? To neatbild viens iespaidīgs objekts; vajag daudzus saskaitīt, salīdzināt un kartēt. Euclid ir parādījis spēju uzbūvēt šo uzskaiti — arī blāvajā galā, kas savienojas ar savādo aktīvo melno caurumu populāciju, ko JWST atrod tajā pašā laikmetā. Šis darbs neatrisina pirmo melno caurumu izcelsmi un pats nemēra rejonizāciju. Tas masveidā piegādā izejmateriālu, kas šādiem mērījumiem nepieciešams, un nosaka skaidru robežu turpmākiem novērojumiem, kas jau notiek.

Īss kopsavilkums

Izmantojot pirmos aptuveni 3000 kvadrātgrādus no Euclid Wide Survey, Euclid Collaboration atklāja 31 jaunu kvazāru sarkanās nobīdes diapazonā 6,6–7,8, tostarp divpadsmit pie $z \geq 7$ — vairāk nekā dubultojot zināmo populāciju — un vienu pie $z = 7{,}77$, kas tagad ir vistālākais zināmais kvazārs. Svarīgākais nav inkrementālais sarkanās nobīdes rekords, bet demonstrētā aptaujas spēja lielā skaitā atrast šos ļoti retos, pārsvarā blāvos objektus. Rezultāti ir sākotnēji: pilnā statistiskā analīze, liela daļa spektroskopisko apstiprinājumu un detalizēta atsevišķu objektu raksturošana vēl sekos.

Bez pārspīlējumiem

Ko pētījums parāda: Euclid Wide Survey pirmajos ~1,5 gados un ~3000 kvadrātgrādos spēj atrast lielas sarkanās nobīdes kvazārus tādā skaitā, kāds iepriekš nebija iespējams — 31 apstiprināts objekts pie z = 6,6–7,8, divpadsmit pie z ≥ 7, aptuveni dubultojot zināmo skaitu, un vistālākais pie z ≈ 7,77.

Kas ir ticams, bet nav galvenais: pats sarkanās nobīdes rekords. Tas ir īsts, bet robežu pabīda tikai par ap 0,13 — no iepriekšējā rekordista ap 7,64 uz 7,77, aptuveni piecpadsmit miljonus gadu kosmiskā laikā. Ilgāk dzīvos virsraksts par dubultotu, augošu un neparasti blāvu paraugu, ne vienu rekordistu.

Ko tas neparāda: kā izveidojās pirmie supermasīvie melnie caurumi vai konkrētu rejonizācijas mērījumu. Kvazāri ir rīki šo jautājumu risināšanai, ne gatavas atbildes. Tā arī nav gala populācijas uzskaite — pilnā statistiskā analīze skaidri atstāta nākamajiem rakstiem.

Galvenie ierobežojumi vispārīgam lasītājam: spektroskopiskā pēcpārbaude nav pilnīga, īpaši dienvidu debesīs; spožuma funkcijas rezultāti ir provizoriski; un daži no visblāvākajiem objektiem, kas pašlaik saukti par kvazāriem, var izrādīties agrīnas galaktikas, līdz tos apstiprinās JWST klases spektroskopija.

Cik lielai pārliecībai vajadzētu būt vispārīgam lasītājam? Augstai par to, ka Euclid ir mainījis, cik daudz šādu objektu var atrast, un augstai par recenzēti apstiprinātajiem spožākajiem objektiem. Zemākai — kā paši autori uzsver — par precīziem skaitļiem blāvajā populācijas galā un visblāvāko kandidātu dabu. Tie ir pirmie rezultāti, ne pēdējais vārds.

Avoti

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