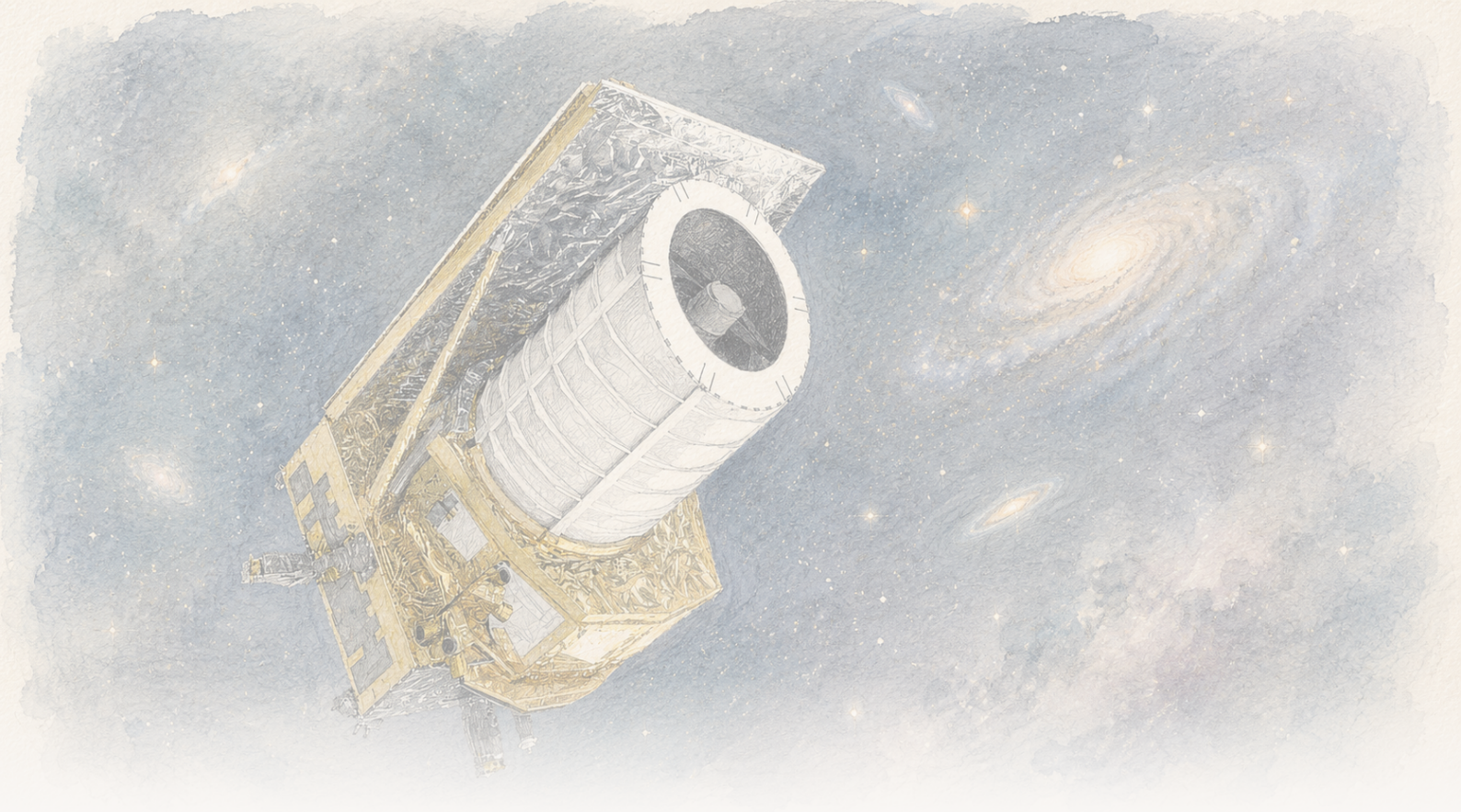


The Clean Paper

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

Euclid yli kaksinkertaisti pienen otoksen punasiirtymän 7 takaa tunnetuista kvasaareista

Euclid Wide Surveyn ensimmäisen puolentoista vuoden aikana noin 3000 neliöasteen alueelta löytyi 31 uutta kvasaaria punasiirtymien 6.6 ja 7.8 väliltä. Niistä kaksitoista on punasiirtymällä 7 tai suuremmalla, mikä yli kaksinkertaisti ennen Euclidia tunnetun pienen joukon, ja yksi punasiirtymällä 7.77 on nyt kaukaisin tunnettu kvasaari. Todellinen edistysaskel ei ole tämä yksittäinen ennätys, joka siirtää vuosia lähellä punasiirtymää 7.5 ollutta rajaa vain vähän: olennaista on kartoituksen kyky löytää näitä harvinaisia ja enimmäkseen himmeitä kohteita suurina määrinä, mikä tekee niistä hyödyllisiä nuoren maailmankaikkeuden luotaimia. Kyse on alustavasta tuloksesta; kattava tilastollinen analyysi ja suuri osa spektroskooppisesta varmistuksesta ovat vielä tulossa.

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

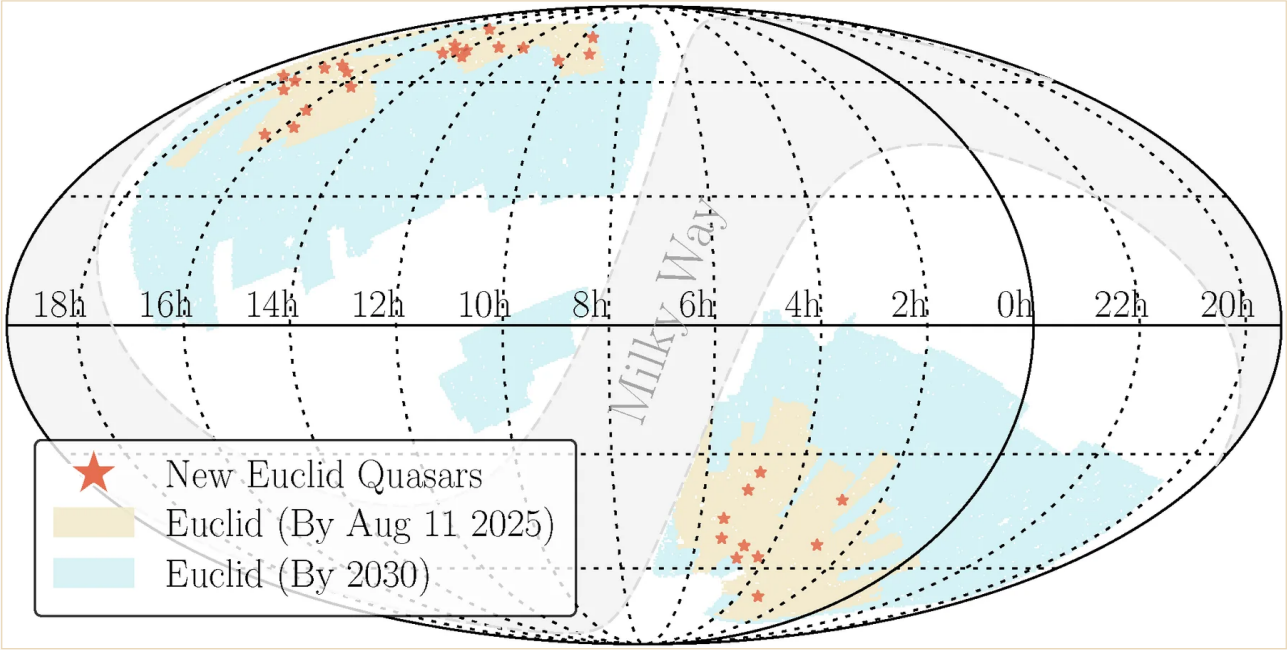
Paper: *Euclid: Discovery of 31 new quasars at 6.6 < z < 7.8*, D. Yang, J. F. Hennawi, F. Guarneri et al. (Euclid Collaboration), Astronomy & Astrophysics · DOI: 10.1051/0004-6361/202658883

Harvinaisia kohteita varten rakennettu kartoitus löysi niitä kerralla joukon

Kvasaari on syömispuuhissa oleva supermassiivinen musta aukko, joka kaasua niellessään loistaa niin kirkkaasti, että voi peittää koko isäntägalaksinsa valon. Koska kvasaarit ovat maailmankaikkeuden kirkkaimpia jatkuvasti säteileviä lähteitä, ne toimivat majakoina: kun sellainen löytyy tarpeeksi kaukaa, sen valo on kuin lamppu miljardien valovuosien välissä olevan avaruuden takana.

Kaukaisimmat kvasaarit, joiden valo lähti matkaan maailmankaikkeuden ollessa alle miljardin vuoden ikäinen, ovat myös harvinaisimpia. Ennen kuin Euclid-avaruusteleskooppi aloitti pääkartoituksensa, punasiirtymän 7 takaa oli varmistettu vain noin yhdeksän kvasaaria — määrä oli kertynyt hitaasti ensimmäisestä tällaisesta löydöstä vuonna 2011 lähtien.

Euclid Collaboration raportoi *Astronomy & Astrophysics* -lehdessä julkaistussa uudessa paperissa 31 uutta kvasaaria punasiirtymien 6.6 ja 7.8 väliltä, löydettynä kartoituksen vain ensimmäisen puolentoista vuoden aikana. Niistä kaksitoista sijaitsee punasiirtymällä 7 tai sitä suuremmalla. Yksi varhainen kierros siis yli kaksinkertaisti näillä punasiirtymillä tunnetun populaation. Tarina kertoo kartoituksen voimasta, ja on syytä olla täsmällinen siitä, mitä se tarkoittaa — ja mitä ei.



Euclid Wide Surveyn tähän mennessä kattama alue (beige) verrattuna vuoteen 2030 mennessä suunniteltuun koko peittoon (syaani); 31 uutta suuren punasiirtymän kvasaaria on merkitty punaisella. Ne tulevat vasta ensimmäisestä osasta kartoitusta, jonka on tarkoitus lopulta kattaa noin 14,000 neliöastetta — kartoituksen voima yhdessä kuvassa.

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

Ennen Euclidia punasiirtymän 7 takaa tunnettiin noin yhdeksän kvasaaria (2011–2024). Tämä yksi varhainen kierros lisäsi kaksitoista — "kaksinkertaistuminen" konkreettisena, edelleen pienessä otoksessa.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Miksi näin kaukaisten kvasaarien löytäminen kannattaa

Punasiirtymä mittaa sitä, kuinka paljon maailmankaikkeuden laajeneminen on venyttänyt lähteen valoa sen matkalla meille; suurempi punasiirtymä tarkoittaa vanhempaa valoa ja varhaisempaa maailmankaikkeutta. Punasiirtymällä 7 katsomme alle miljardin vuoden päähän alkuräjähdyksestä, reionisaation aikakauden loppupuolelle, jolloin ensimmäiset valaisevat kohteet hävittivät varhaisen avaruuden täyttäneen neutraalin vedyn sumua.

Mikä punasiirtymä on ja miksi se toimii sekä etäisyytenä että kellona

Jos termi on uusi: *punasiirtymä* kertoo, kuinka paljon lähteen valo on matkalla meille venynyt pidemmille, punaisemmille aallonpituuksille. Kaksi asiaa tekee yhdestä luvusta niin hyödyllisen. Ensinnäkin valo kulkee vakionopeudella, joten kaukana oleva kohde nähdään myös kaukaisessa menneisyydessä — syvälle avaruuteen katsominen on samalla ajassa taaksepäin katsomista. Toiseksi maailmankaikkeus on laajentunut koko valon matkan ajan, joten mitä pidempi matka, sitä enemmän valo venyy. Suurempi punasiirtymä tarkoittaa siis valoa, joka lähti liikkeelle aikaisemmin, kauempaa ja nuoremmasta maailmankaikkeudesta. Tässä punasiirtymä 7 merkitsee valoa alle miljardin vuoden päästä alkuräjähdyksestä — selvästi alle

> kymmenesosaa maailmankaikkeuden nykyisestä iästä.

Tämän aikakauden kvasaarit ovat hyödyllisiä kahdesta erillisestä syystä. Ensinnäkin jokaisessa niistä on jo satojen miljoonien tai miljardien Auringon massojen musta aukko. Niin suuren kohteen kasvattaminen näin varhain on vaikeaa: tavallisilla mustan aukon kertymisnopeuden rajoilla vain melko massiivisilla alku- eli ”siemenmustilla aukoilla” on riittävästi aikaa kasvaa näihin massoihin muutamassa sadassa miljoonassa vuodessa. Jo näiden kohteiden olemassaolo ja määrä rajoittavat malleja siitä, miten ensimmäiset supermassiiviset mustat aukot syntyivät ja kasvoivat. Toiseksi ympäröivän galaksienvälisen aineen läpi kulkeva kvasaarin valo kantaa jälkeä siitä, kuinka neutraalia kaasu oli, joten jokainen kvasaari toimii myös reionisaation luotaimena.

Ongelma on, että ne ovat poikkeuksellisen harvinaisia ja vaikeita löytää. Näillä punasiirtymillä kvasaarin vahvin piirre, Lyman-alpha-katkos, on venynyt näkyvän valon alueelta lähi-infrapunaan. Löytäminen vaatii siis syvää lähi-infrapunakuvausta suurelta alueelta — kyseisellä kirkkausrajalla suunnilleen yhden kvasaarin sataa neliöastetta kohti. Syvä ja laaja lähi-infrapunakartoitus maanpinnalta on juuri se yhdistelmä, joka on ollut kohtuuttoman vaikea. Euclid rakennettiin täyttämään tämä aukko.

Mitä Euclid oikeastaan teki

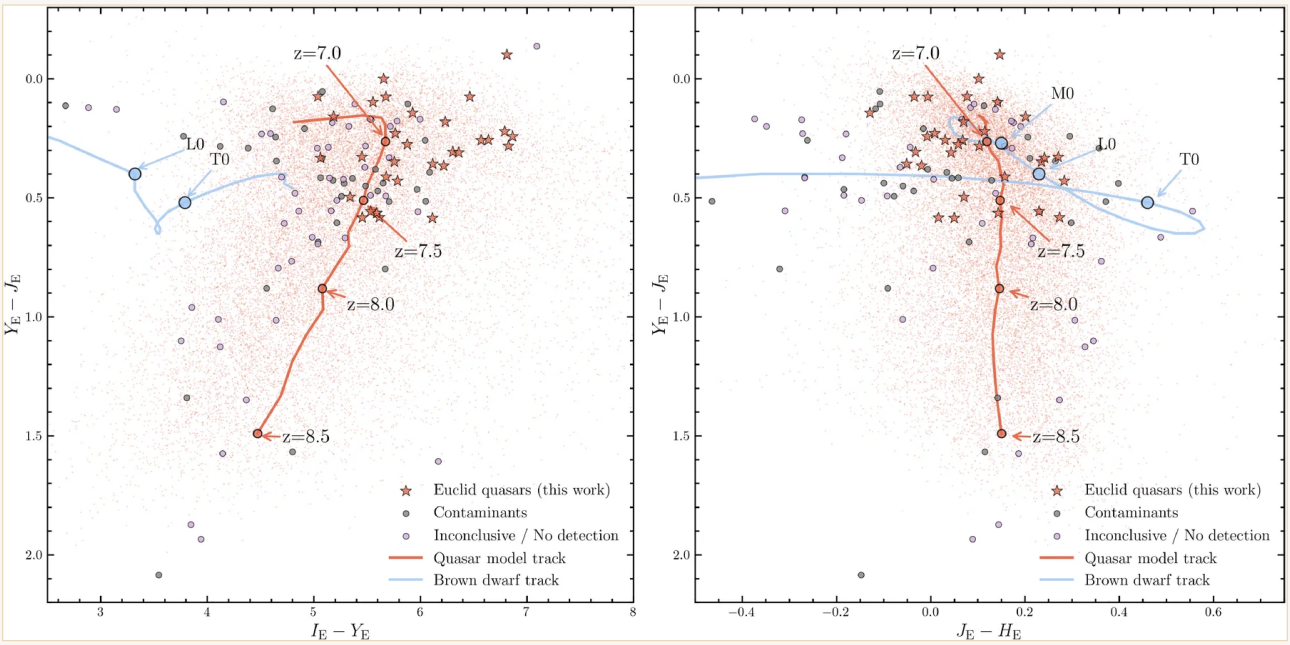
Euclid on 1.2 metrin avaruusteleskooppi, joka toteuttaa kuusivuotista kartoitusta noin 14,000 neliöasteen alueesta sekä näkyvässä valossa että lähi-infrapunassa. Ilmakehän yläpuolella se pääsee laajalla kentällä syvyyteen, jota maanpäälliset lähi-infrapunakartoitukset eivät pysty vastaamaan. Tässä paperissa käytetään kartoituksen ensimmäisen noin puolentoista vuoden aikana kertynyttä aineistoa — noin 3000 neliöastetta, jotka havaittiin helmikuun 2024 ja elokuun 2025 välisenä aikana.

Euclid-avaruusalus puhdastilassa ennen laukaisua. 1.2 metrin teleskooppi katsoo taivaalle valkoisen sylinterin yläpään kautta; ilmakehän yläpuolelta sen laajakenttäinen lähi-infrapunakamera pääsee suurella alueella syvyyksiin, joihin maanpäälliset haut eivät yllä.

ESA / NASA Science fair-use

31 neulan löytäminen tästä heinäsuovasta ei onnistunut vain katsomalla. Ryhmä rakensi räätälöidyn fotometrian ja ajoi sen päällä useita koneoppimiseen ja todennäköisyyksiin perustuvia luokittimia — extreme-deconvolution-tiheysmallin, gradienttitehostetun luokittimen ja mallipohjaisia sovituksia — arvioidakseen jokaiselle himmeälle pistemäiselle lähteelle todennäköisyyden siitä, että se on suuren punasiirtymän kvasaari eikä jokin paljon yleisemmistä sekoittavista kohteista, etenkin viileä ruskea kääpiö, jonka värit voivat muistuttaa kaukaista kvasaaria. Kandidaatteja vertailtiin menetelmien välillä, tarkastettiin silmämääräisesti ja asetettiin jatkohavaintojen tärkeysjärjestykseen. Euclidin omat kuvat valitsevat kandidaatit; varmistukset tulevat suurten maanpäällisten teleskooppien — muun muassa Magellanin ja Large Binocular Telescopen — spektreistä, joissa valo hajotetaan riittävän hienosti tunnusomaisen katkoksen ja emissioviivojen näkemiseksi.

Varmistusvaihe on avoimesti vielä kesken. Spektroskooppinen seuranta jatkuu eikä paperin omien sanojen mukaan ole vielä kattava, erityisesti eteläisellä taivaalla. Paperi kertoo suoraan myös niistä jatkohavaituista kandidaateista, jotka eivät päätyneet 31 varmistetun kvasaarin joukkoon: monet olivat kontaminaatiolähteitä (suuri osa todennäköisesti ruskeita kääpiöitä), osa jäi epäselväksi ja osasta ei löytynyt havaittavaa signaalia. Varmistettujen kvasaarien joukko on otsikkotulos; kattava kuva siitä, mitä valintamenetelmä löytää ja mitä se ohittaa, jää myöhempiin papereihin.



Väri–väri-kaavio: näin Euclid erottaa kaukaisen kvasaarin lähellä olevasta ruskeasta kääpiöstä. Kumpikin akseli näyttää kohteen kirkkauseron kahden Euclid-suodattimen välillä eli valon värin eikä pelkkää kirkkautta. Punainen käyrä osoittaa, missä suuren punasiirtymän kvasaarien ennustetaan sijaitsevan (merkinnät vastaavat punasiirtymiä 7.0–8.5); vaaleansininen käyrä osoittaa viileiden ruskeiden kääpiöiden — tärkeimpien jäljittelijöiden — sijainnin tyypeittäin M0–T0. 31 uutta kvasaaria (punaiset tähdet) asettuvat kvasaarijäljen varrelle; varmistetut kontaminaatiolähteet (harmaa) ja epäselvät tai havaitsematta jääneet kandidaatit (violetti) poikkeavat siitä. Kun kaksi jälkeä kulkevat lähekkäin, pelkkä väri ei ratkaise — siksi jokainen kvasaari tarvitsee edelleen spektroskooppisen varmistuksen.

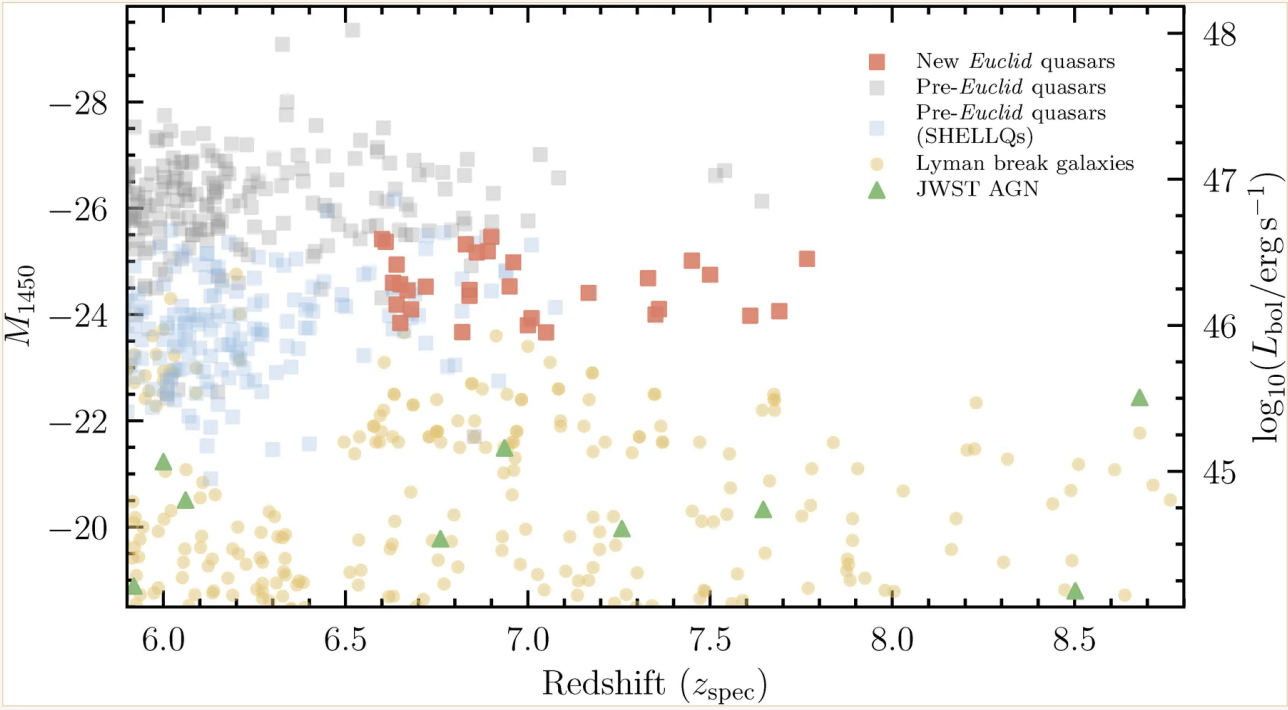
D. Yang et al. / Euclid Collaboration / Astronomy & Astrophysics CC BY 4.0

Ennätys oikeassa mittakaavassa

Yksi 31 kohteesta, luettelonimeltään EUCL J1729+6410, on punasiirtymällä noin 7.77 ja on nyt kaukaisin tunnettu kvasaari. Ennätys on todellinen, mutta sen askel kannattaa ilmaista oikeassa mittakaavassa. Kahden vuosikymmenen määrätietoinen etsintä oli työntänyt rajan noin punasiirtymään 7.5, ja välittömästi edellinen ennätyksenhaltija oli noin 7.64:ssa. Siirtyminen 7.77:ään on aito mutta asteittainen edistys — paperi antaa muutokseksi noin 0.13 punasiirtymässä, mikä vastaa noin viittätoista miljoonaa vuotta kosmista aikaa. Nykäys, ei loikka.

Se toinen luku on seurauksiltaan suurempi: punasiirtymän 7 yläpuolisen otoksen kaksinkertaistuminen yhdellä varhaisella kierroksella. Ennätyksenhaltija on yksi kohde, ja yksi kohde on yksi datapiste. Kaksinkertaistuva ja kasvava populaatio mahdollistaa tilastot — voidaan mitata, kuinka yleisiä nämä mustat aukot olivat, kuinka kirkkaita ja kuinka ryhmittyneitä — ja juuri tilastoissa varhaisen maailmankaikkeuden tiede elää. Useimmat uudet kvasaarit ovat myös verraten himmeitä, yhdestä kahteen magnitudia himmeämpiä kuin ennen Euclidia löydetyt kirkkaat kvasaarit. Tähän himmeään päähän on vaikeampi päästä, ja reionisaatiotutkimukselle se on arvokkaampi: himmeämmät kvasaarit synnyttävät ympärilleen pienempiä ionisoituneita kuplia, joten niiden valo kulkee suuremman osuuden

yhä neutraalin kaasun läpi.



Mihin uudet kvasaarit sijoittuvat: kirkkaus suhteessa kosmiseen etäisyyteen. Vaaka-akseli on punasiirtymä — mitä oikeammalla, sitä varhaisemmassa kosmisessa historiassa. Pystyakseli on kunkin kvasaarin sisäinen ultraviolettikirkkaus, kuvassa M1450; astronomisten magnitudien vanhan käytännön vuoksi asteikko kulkee takaperin, joten ylempänä tarkoittaa kirkkaampaa (oikean reunan asteikko ilmaisee saman kokonais- eli *bolometrisena* luminositeettina). Näin luettuna kuva on väestölaskenta. Kirkkaat aiemmin tunnetut kvasaarit (harmaa) kasaantuvat pienempiin punasiirtymiin; syvempi SHELLQs-kartoitus (vaaleansininen) oli saavuttanut himmeämpiä kohteita mutta ei juuri kauemmas ajassa. 31 uutta Euclid-kvasaaria (punainen) jatkavat tätä valoisaa populaatiota suurimpiin punasiirtymiin — oikeanpuoleisin on ennätyskohde 7.77 — mutta ovat samalla noin yhdestä kahteen magnitudia himmeämpiä kuin klassiset kirkkaat kvasaarit. Niiden alapuolella on alue, johon vain syvät ja kapeat kartoitukset yltävät: Lyman-katkosgalaksien meri (keltainen) ja muutama hyvin himmeä kasvava musta aukko, jotka JWST on löytänyt (vihreät kolmiot). Euclidin panos näkyy erillisenä ryhmänä — suhteellisen kirkkaita kvasaareja hyvin varhaiselta ajalta ja laajalta alueelta — joka yhdistää vanhaa kirkasta otosta kohti himmeää populaatiota, johon toistaiseksi yltävät vain kohdennetut instrumentit.

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

Mikä on vielä epävarmaa

Tuloksen mukana kulkee kolme varausta, ja paperi sanoo ne kaikki itse.

Ensinnäkin kyse on alustavasta tuloksesta, ei lopullisesta mittauksesta. Kirjoittajat jättävät valintafunktion ja kvasaaripopulaation kattavan tilastollisen analyysin nimenomaisesti tuleviin julkaisuihin. Tässä esitetyt luminositeettifunktion rajoitteet ovat ensikatsaus, eivät viimeinen sana.

Toiseksi jokainen himmeä ”kvasaari” ei varmasti ole kvasaari. Himmeässä päässä osa kvasaareiksi

tunnistetuista kohteista voi osoittautua kompakteiksi varhaisiksi galakseiksi, erityisesti jos niillä ei ole voimakkaasti leventynyttä Lyman-alpha-viivaa. Ryhmä tekee alustavan tarkistuksen, jonka mukaan kohteet sopivat paremmin pistemäisiksi lähteiksi kuin laajoiksi galakseiksi, mutta kutsuu tulosta alustavaksi: syvä lähi-infrapunaspektroskopia JWST:llä ja vastaavilla laitteilla ratkaisee himmeimpien kohteiden todellisen luonteen.

Kolmanneksi kohteet ovat itsessään himmeitä ja lähellä maanpäällisen spektroskopian karakterisointirajaa. Niiden mustien aukkojen massojen, ympäristöjen ja reionisaatiohistorian roolin määrittäminen vaatii JWST:tä, ALMA:a ja NOEMA:a. Euclid on erittäin hyvä löytämään nämä kohteet; niiden yksityiskohtainen tutkiminen jää suurelta osin muille instrumenteille.

Miksi tämä on tärkeää

Työn arvo on demografinen. Vuosikymmenen ajan maailmankaikkeuden ensimmäisestä miljardista vuodesta oli tähtitieteilijöiden käytettävissä vain kourallinen kvasaareja. Yhdellä kartoituksensa varhaisella osuudella Euclid lisäsi niitä riittävästi muuttamaan luettelon otokseksi — ja ennen laukaisua tehtyjen ennusteiden mukaisesti lisää on luvassa.

Tällä on merkitystä, koska avoimet kysymykset koskevat populaatioita. Miten mustat aukot kasvoivat niin suuriksi niin nopeasti? Kuinka laikukasta ja kuinka neutraalia galaksienvälinen kaasu oli eri aikoina? Yksikään näyttävä kohde ei vastaa näihin; vastaukset syntyvät laskemalla, vertailemalla ja kartoittamalla monia. Euclid on osoittanut kykynsä rakentaa tällaisen väestönlaskennan — myös himmeässä päässä, joka liittyy JWST:n samalta aikakaudelta löytämiin arvoituksellisiin kasvavien mustien aukkojen populaatioihin. Tämä paperi ei ratkaise ensimmäisten mustien aukkojen syntyä eikä mittaa reionisaatiota yksinään. Se toimittaa suurina määrinä raaka-aineen, jota nämä mittaukset tarvitsevat, ja asettaa selkeän rintaman jo käynnissä oleville seurantahavainnoille.

Tiivistelmä

Euclid Collaboration löysi Euclid Wide Surveyn ensimmäisestä noin 3000 neliöasteesta 31 uutta kvasaaria punasiirtymien 6.6 ja 7.8 väliltä. Niistä kaksitoista on punasiirtymällä 7 tai suuremmalla — mikä yli kaksinkertaisti siellä tunnetun populaation — ja yksi punasiirtymällä 7.77 on nyt kaukaisin tunnettu kvasaari. Tärkeää on kartoituksen osoittama kyky löytää näitä harvinaisia, enimmäkseen himmeitä kohteita suurina määrinä, ei asteittainen punasiirtymäennätys. Tulokset ovat ensimmäisestä aineistojulkistuksesta: kattava tilastollinen analyysi, suuri osa spektroskooppisesta varmistuksesta ja yksittäisten kohteiden tarkka karakterisointi ovat vielä tulossa.

Realistinen arvio

Mitä paperi osoittaa: Euclid Wide Survey pystyi ensimmäisten ~1.5 vuoden ja ~3000 neliöasteen aikana löytämään suuren punasiirtymän kvasaareja määrissä, joihin mikään aiempi kartoitus ei pystynyt — 31 varmistettua kvasaaria punasiirtymien 6.6 ja 7.8 väliltä, kaksitoista punasiirtymällä 7 tai suuremmalla, mikä noin kaksinkertaisti siellä tunnetun määrän, ja kaukaisin kohde punasiirtymällä ~7.77.

Mikä on uskottavaa mutta ei varsinainen pointti: Itse punasiirtymäennätys. Se on aito, mutta siirtää rajaa vain noin 0.13 punasiirtymässä — edellisestä noin 7.64:n ennätyksestä 7.77:ään, noin viidentoista miljoonan vuoden verran kosmista aikaa. Paremmin aikaa kestävä otsikko on kaksinkertaistunut, kasvava ja poikkeuksellisen himmeä otos, ei yksi ennätyskohde.

Mitä se ei osoita: Miten ensimmäiset supermassiiviset mustat aukot muodostuivat tai mittausta reionisaatiosta. Nämä kvasaarit ovat työkaluja näihin kysymyksiin, eivät vastauksia. Kyse ei myöskään ole lopullisesta populaatiolaskennasta — kattava tilastollinen analyysi on nimenomaisesti jätetty myöhempiin papereihin.

Tärkeimmät rajoitukset tavalliselle lukijalle: Spektroskooppinen seuranta on kesken, erityisesti etelässä; luminositeettifunktion tulokset ovat alustavia; ja osa himmeimmistä kvasaareiksi luokitelluista kohteista voi osoittautua varhaisiksi galakseiksi, kunnes JWST-tasoinen spektroskopia varmistaa ne.

Kuinka paljon luottamusta tavallisella lukijalla pitäisi olla? Paljon siihen, että Euclid on muuttanut sitä, mitä näillä punasiirtymillä voidaan löytää, ja paljon kirkkaampien kohteiden vertaisarvioituihin varmistuksiin. Kirjoittajien oman kehystyksen mukaisesti vähemmän himmeän pään populaation tarkkoihin lukuihin ja himmeimpien kandidaattien luonteeseen — nämä ovat ensimmäisiä tuloksia, eivät lopullisia.

Lähteet

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