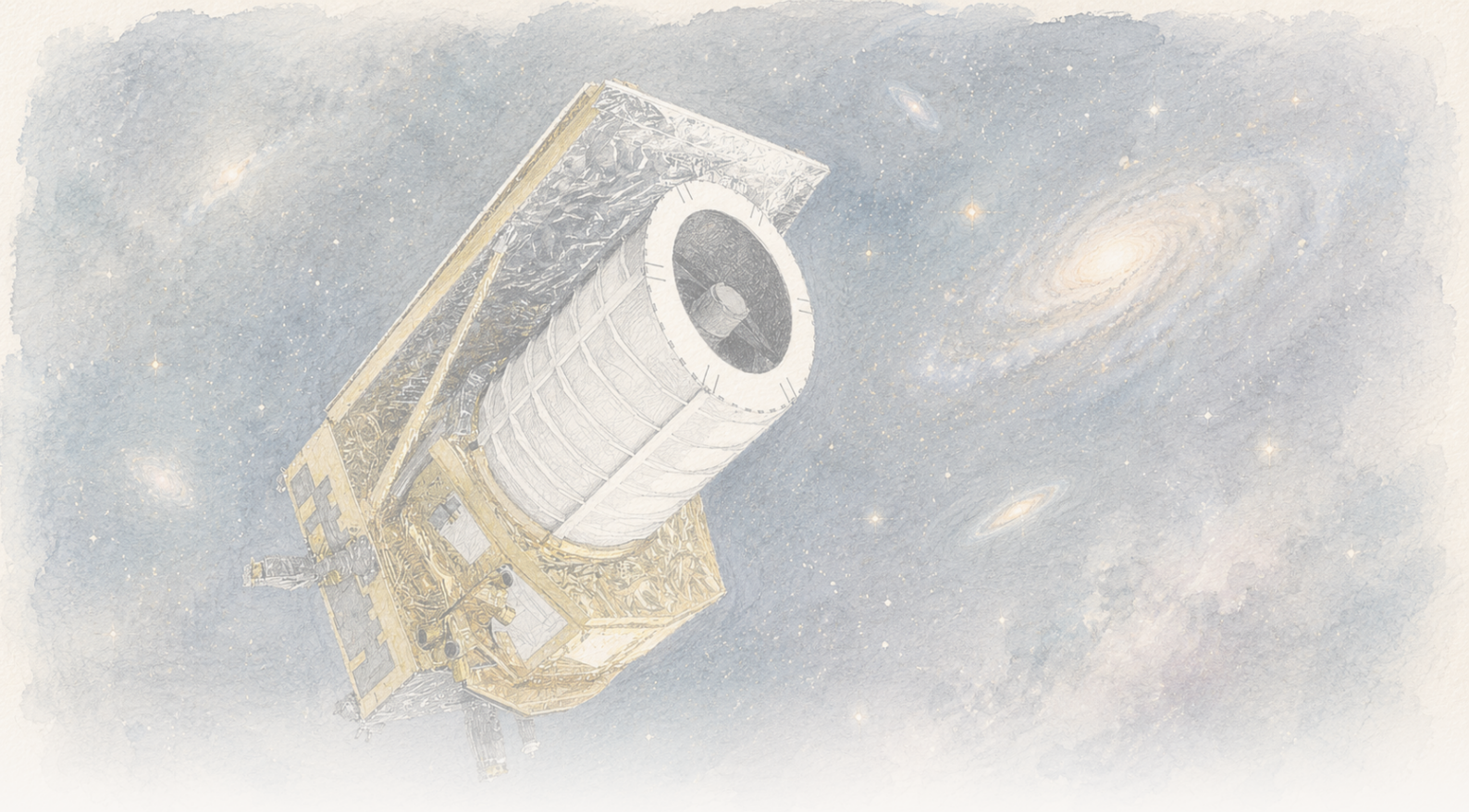


The Clean Paper

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

Euclid rohkem kui kahekordistas väikese valimi kvasaritest punanihkest 7 kaugemal

Euclid Wide Survey esimese pooleteise aasta jooksul leiti umbes 3000 ruutkraadilt 31 uut kvasarit punanihke 6,6 ja 7,8 vahel. Neist kaksteist paiknevad punanihkel 7 või kõrgemal, rohkem kui kahekordistades enne Euclidit teada olnud käputäie, ning üks punanihkel 7,77 on nüüd kõige kaugem teadaolev kvasar. Tõeline edasiminek pole see üksik rekord, mis nihutab aastaid umbes 7,5 juures püsinud piiri vaid veidi: see on uuringu võime leida neid haruldasi, enamasti nõrku objekte hulgi, mis muudab nad noore Universumi sondidena kasulikuks. See on esialgne tulemus; täielik statistiline analüüs ja suur osa spektroskoopilisest kinnitamisest seisavad veel ees.

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

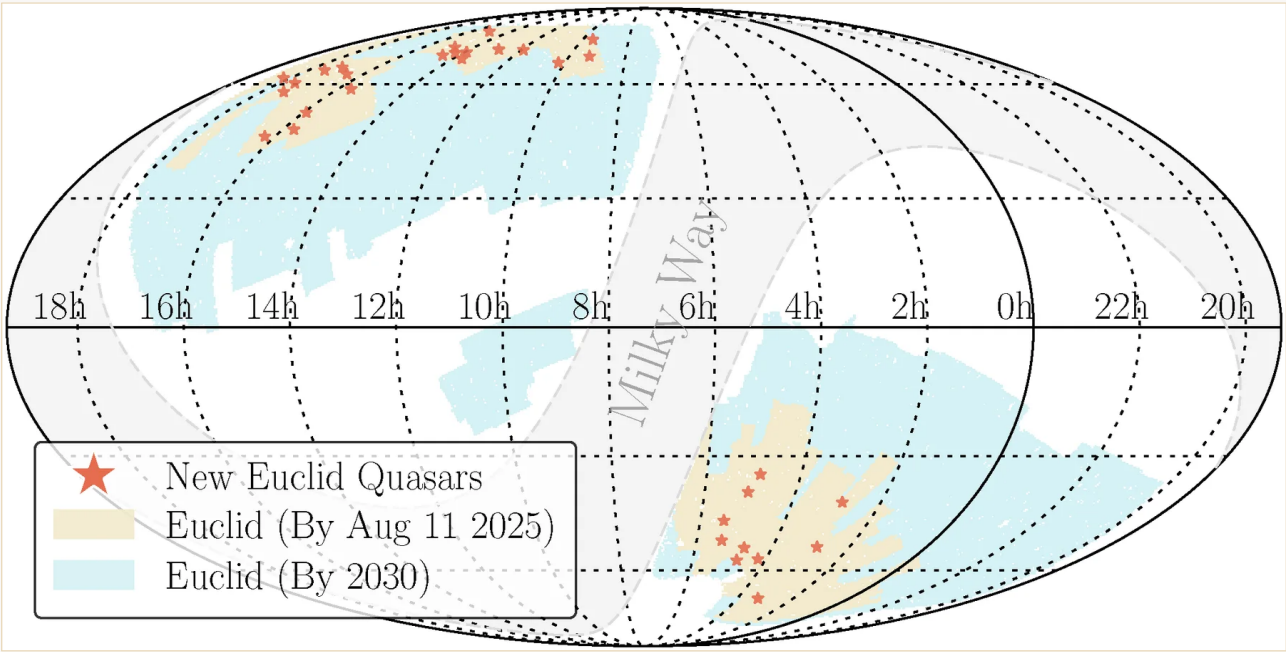
Paper: *Euclid: Discovery of 31 new quasars at 6.6 < z < 7.8*, D. Yang, J. F. Hennawi, F. Guarneri et al. (Euclid Collaboration), Astronomy & Astrophysics · DOI: 10.1051/0004-6361/202658883

Haruldaste objektide leidmiseks ehitatud ülevaade leidis neid korraga terve hulga

Kvasar on toitumise hetkel tabatud ülimassiivne must auk, mis gaasi neelates särab nii eredalt, et võib ületada kogu oma peremeesgalaktika heleduse. Kuna kvasarid kuuluvad Universumi eredaimate püsivate kiirgusallikate hulka, toimivad nad majakatena: leia üks piisavalt kaugelt ja selle valgusest saab lamp, mis paistab läbi miljardite aastate jagu vahepealset ruumi.

Kõige kaugemad kvasarid, mille valgus asus teele siis, kui Universum oli alla miljardi aasta vana, on ka kõige haruldasemad. Enne Euclidi kosmoseteleskoobi põhiuuringu algust oli punanihkest 7 kaugemal kinnitatud vaid umbes üheksa — koguarv, mis oli aeglaselt kasvanud alates esimesest sellisest avastusest 2011. aastal.

Uues *Astronomy & Astrophysics* artiklis teatab Euclidi koostöö 31 uuest kvasarist punanihke 6,6 ja 7,8 vahel, mis leiti vaid uuringu esimese pooleteise aastaga. Neist kaksteist paiknevad punanihkel 7 või kaugemal. Üksainus varane otsing rohkem kui kahekordistas neil punanihetel teadaoleva populatsiooni. See on eelkõige lugu suure uuringu jõust ning tasub olla täpne, mida see tähendab ja mida mitte.



Seni kaetud Euclid Wide Survey ala (beež) võrreldes 2030. aastaks kavandatud täieliku alaga (tsüaan), 31 uut suure punanihkega kvasarit märgitud punaselt. Need pärinevad vaid esimesest viilust uuringust, mis on kavandatud kaardistama lõpuks umbes 14 000 ruutkraadi — uuringu jõud ühel pildil.

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

Enne Euclidit oli punanihkel 7 või kaugemal teada umbes üheksa kvasarit (2011–2024). See üks varane otsing lisas veel kaksteist — „kahekordistumine" konkreetselt nähtav, ehkki valim on endiselt väike.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Miks nii kauged kvasarid vaeva väärt on

Punanihke suurus mõõdab, kui palju on Universumi paisumine allika valgust teel meieni venitanud; suurem punanihe tähendab vanemat valgust ja varasemat Universumit. Punanihkel 7 vaatame tagasi vähem kui miljardi aasta kaugusele Suurest Paugust, reionisatsiooni ajastu lõpuossa, mil esimesed heledad objektid hajutasid varajast kosmost täitnud neutraalse vesiniku udu.

Mis on punanihe ja miks see toimib korraga kauguse ja kellana

Kui sõnavara on uus: *punanihe* näitab, kui palju on allika valgus meieni jõudes veninud pikematele ja punasematele lainepikkustele. Üks arv on nii kasulik kahel põhjusel. Esiteks liigub valgus kindla kiirusega, seega näeme kõike kauget ka ammu olnuna — sügavale kosmosesse vaadates vaatame ajas tagasi. Teiseks on Universum kogu valguse teekonna jooksul paisunud, nii et mida pikem on teekond, seda rohkem valgus venib. Suurem punanihe tähendab seega varem teele asunud valgust kaugemast kohast ja nooremast kosmosest. Punanihke 7 valgus pärineb ajast vähem kui miljard aastat pärast Suurt Pauku — tublisti vähem kui kümnendik Universumi praegusest vanusest.

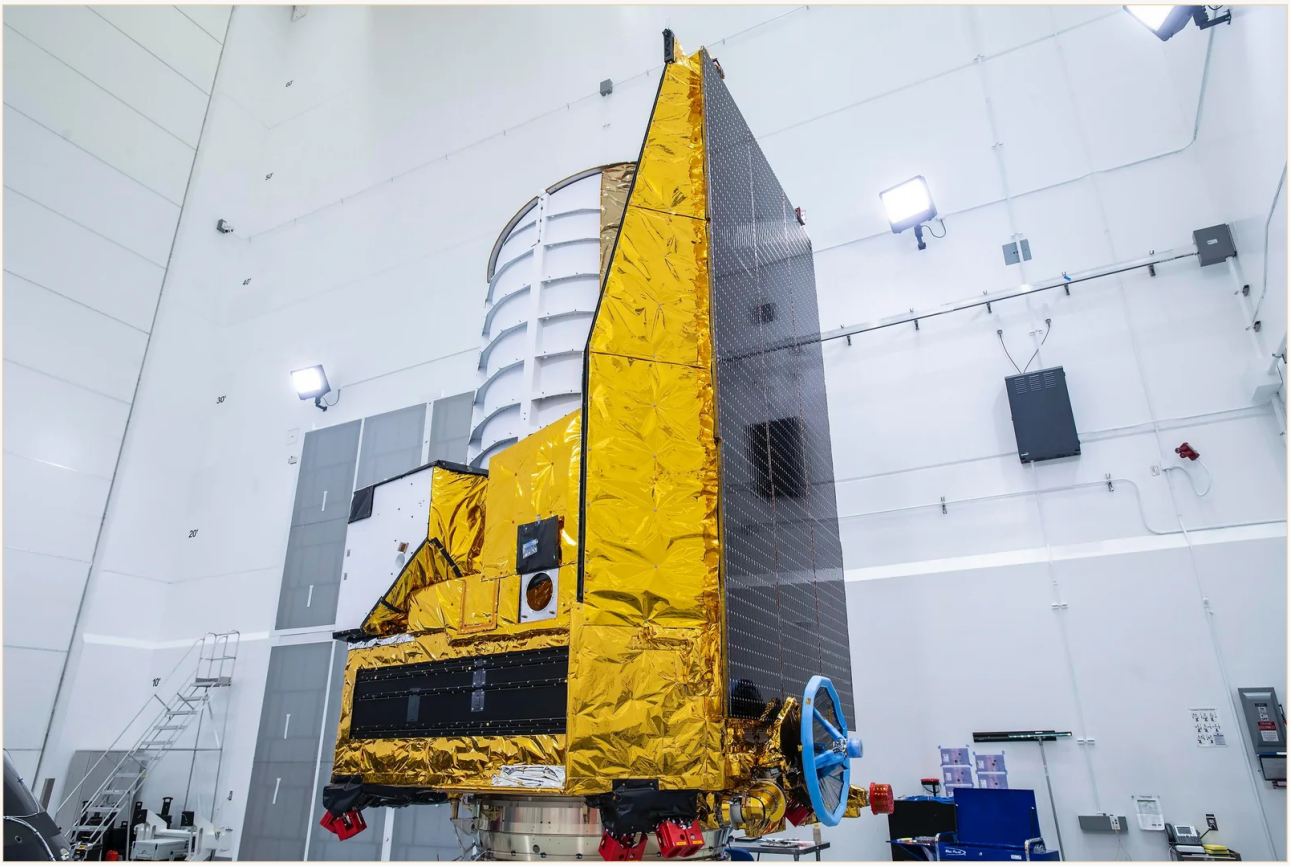
Selle ajastu kvasarid on kasulikud kahel eri põhjusel. Esiteks sisaldab igaüks juba sadade miljonite

kuni miljardite Päikese massidega musta auku. Nii raske objekti kasvatamine nii vara on keeruline: tavapäraste musta augu aine neelamise kiiruspiiride all jõuavad mõnesaja miljoni aastaga selliste massideni ainult üsna massiivsed „seemned". Seega piirab juba nende objektide olemasolu ja arvukus mudeleid selle kohta, kuidas esimesed ülimassiivsed mustad augud tekkisid ja kasvasid. Teiseks kannab kvasari valgus ümbritsevast galaktikavahelisest ainest läbi minnes jälge sellest, kui neutraalne gaas oli, muutes iga kvasari reionisatsiooni sondiks.

Konks on selles, et nad on erakordselt haruldased ja raskesti leitavad. Sellistel punanihetel on kvasari kõige tugevam tunnus, Lyman-alfa katkestus, veninud optilisest piirkonnast lähiinfrapunasse, seega nõuab nende leidmine sügavat lähiinfrapunapildistamist suurel alal — asjakohase heleduspiirini ligikaudu üks kvasar saja ruutkraadi kohta. Maapinnalt on just sügavuse, laiuse ja lähiinfrapuna kombinatsioon olnud peaaegu teostamatult raske. Selle lünga täitmiseks Euclid ehitatigi.

Mida Euclid tegelikult tegi

Euclid on 1,2-meetrine kosmoseteleskoop, mis viib läbi kuueaastast uuringut eesmärgiga kaardistada nii optilises kui lähiinfrapunases valguses umbes 14 000 ruutkraadi taevast. Atmosfääri kohal paiknemine laseb suurel vaateväljal jõuda sügavuseni, millega maapealsed lähiinfrapunauuringud võistelda ei suuda. See töö kasutab andmeid, mis kogunesid uuringu esimese ligikaudu pooleteise aasta jooksul — umbes 3000 ruutkraadi vaatlustest 2024. aasta veebruari ja 2025. aasta augusti vahel.

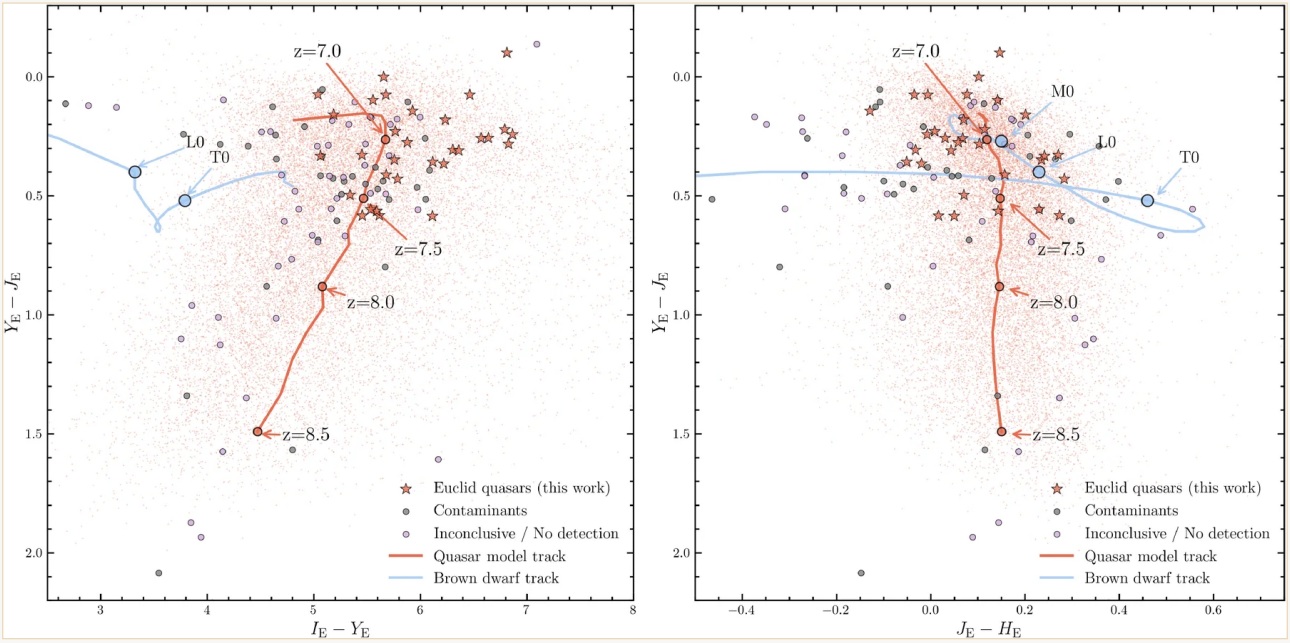


Euclidi kosmoseaparaat puhasruumis enne starti. 1,2-meetrine teleskoop vaatab taevast valge silindri ülaosa kaudu; atmosfääri kohal jõuab selle laia vaateväljaga lähiinfrapunakaamera suurel alal sügavuseni, millega maapealsed otsingud võistelda ei suuda.

ESA / NASA Science fair-use

31 nõela leidmine sellest heinakuhjast ei tähendanud lihtsalt piltide vaatamist. Meeskond ehitas kohandatud fotomeetria ja rakendas sellele mitu masinõppe- ning tõenäosuslikku klassifikaatorit — extreme-deconvolution tihedusmudelit, gradient-boosting klassifikaatorit ja mallipõhiseid sobitusi — et hinnata iga nõrga punktallika puhul tõenäosust, et see on suure punanihkega kvasar, mitte üks palju arvukamatest saasteallikatest, peamiselt jahedad pruunid kääbused, mille värvid matkivad kauget kvasarit. Kandidaate kontrolliti meetodite vahel, vaadati käsitsi üle ja seati järelvaatluste jaoks tähtsuse järjekorda. Euclidi enda pildid valivad kandidaadid; kinnitused tulevad suurte maapealsete teleskoopide — muu hulgas Magellani ja Large Binocular Telescope'i — spektritest, mis lahutavad valguse piisavalt peenelt, et näha iseloomulikku katkestust ja emissioonijooni.

See kinnitusaste on ausalt pooleliolev töö. Spektroskoopilised järelvaatlused jätkuvad ning töö enda sõnul pole need veel täielikult komplektsed, eriti lõunataevas. Kandidaatide puhul, mida jälgiti, kuid mis ei saanud 31 kinnitatud kvasari hulka, peab töö selgelt arvet: paljud olid saasteobjektid (suur osa tõenäoliselt pruunid kääbused), mõned jäid ebaselgeks ja mõne puhul ei tuvastatud signaali. Kinnitatud kvasarite partii on pealkiri; täielik arvestus selle kohta, mida valik püüab ja mida mööda laseb, jääb tulevaste tööde jaoks.



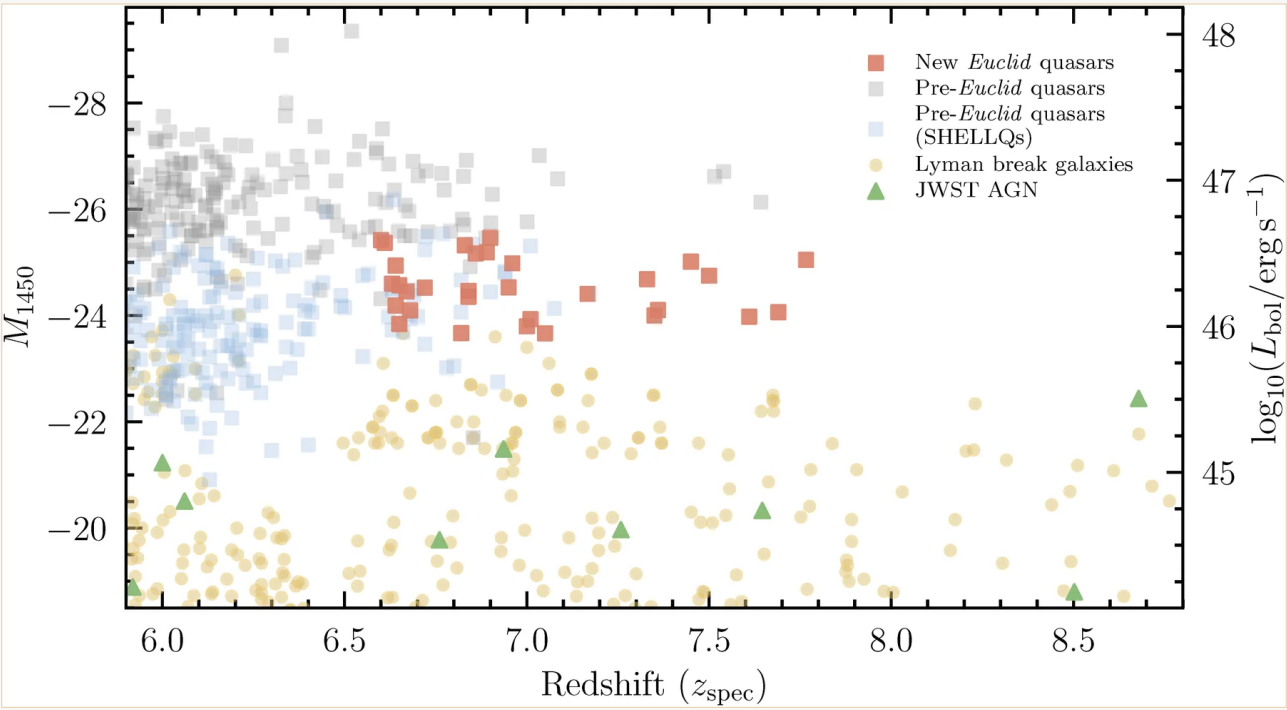
Värv-värv diagramm: kuidas Euclid eristab kauget kvasarit lähedasest pruunist kääbusest. Mõlemad teljed näitavad objekti heleduse erinevust kahes Euclidi filtris, kirjeldades pigem valguse värvi kui selle koguhulk. Punane kõver näitab, kus suure punanihkega kvasarid peaksid paiknema (sildid tähistavad punanihet 7,0 kuni 8,5); helesinine kõver näitab jahedaid pruune kääbuseid — peamisi jäljendajaid — tüüpidega M0 kuni T0. 31 uut kvasarit (punased tähed) paiknevad kvasariraja ääres; kinnitatud saasteobjektid (hall) ning ebaselged või tuvastamata kandidaadid (violetne) jäävad sellest eemale. Seal, kus kaks rada lähenevad, ei saa värv üksi otsustada — seepärast vajab iga kvasar ikkagi spektroskoopilist kinnitust.

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

Rekord õiges mõõtkavas

Üks 31-st, kataloogimega EUCL J1729+6410, paikneb punanihkel umbes 7,77 ja on nüüd kõige kaugem teadaolev kvasar. Rekord on päris ning tasub öelda selgelt, kui suur samm see on. Kahe aastakümne sihipärase otsimisega oli piir jõudnud umbes punanihkeni 7,5 ning vahetult eelmine rekordiomanik oli umbes 7,64. Nihutamine 7,77-ni on päris edasiminek, kuid sammhaaval — töö järgi on juurdekasv umbes 0,13 punanihkeühikut ehk ligikaudu viisteist miljonit aastat kosmilist aega. Nõks, mitte hüpe.

Olulisem arv on teine: punanihkest 7 kaugema valimi kahekordistamine ühe varase otsinguga. Rekordiomanik on üks objekt ja üks objekt on üks andmepunkt. Kahekordistunud ja kasvav populatsioon võimaldab teha statistikat — mõõta, kui tavalised need mustad augud olid, kui heledad ja kui kobardunud — ning just statistikas elab varase Universumi teadus. Enamik uusi kvasareid on ka suhteliselt nõrgad, ühe kuni kahe tähesuuruse võrra nõrgemad kui enne Euclidit leitud heledad kvasarid. Seda nõrka otsa on raskem kätte saada ja reionisatsiooni uurimiseks väärtuslikum: nõrgemad kvasarid tekitavad enda ümber väiksemaid ioniseeritud mulle, mistõttu nende valgus proovib rohkem endiselt neutraalset gaasi.



Uute kvasarite asukoht: heledus kosmilise kauguse suhtes. Horisontaaltelg on punanihe — mida paremal, seda varasem kosmiline ajalugu. Vertikaaltelg näitab iga kvasari sisemist ultravioletteledust, graafikul M1450; vana astronoomilise tähesuuruste tava tõttu jookseb skaala tagurpidi, nii et kõrgem tähendab heledamat (parempoolne skaala esitab sama asja kogu- ehk *bolomeetrilise* heledusena). Nii loetuna on graafik loendus. Heledad varem teadaolevad kvasarid (hall) koonduvad väiksematele punanihetele; sügavam uuring SHELLQs (helesinine) jõudis nõrgemate objektideni, kuid ajas mitte palju kaugemale tagasi. 31 uut Euclidi kvasarit

(punane) pikendavad seda heledat populatsiooni suurimate punaniheteni — parempoolseim on rekordiomanik 7,77 juures — ning on samal ajal klassikalistest heledatest kvasaritest umbes ühe kuni kahe tähesuuruse võrra nõrgemad. Nende all on ala, kuhu jõuavad ainult sügavad kitsad uuringud: Lyman-break galaktikate meri (kollane) ja käputäis väga nõrku akreteerivaid musti auke, mille JWST on leidnud (rohelised kolmnurgad). Euclidi panus paistab eraldi rühmana — suhteliselt heledad, väga varased kvasarid suurelt alalt — ühendades vana heleda valimi nõrga populatsiooni suunas, kuhu praegu jõuavad ainult sihitud instrumendid.

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

Mis on veel ebakindel

Tulemusega käib kaasas kolm reservatsiooni ja töö ütleb need kõik ise välja.

Esiteks on see esialgne tulemus, mitte lõplik mõõtmine. Autorid jätavad valikufunktsiooni ja kvasaripopulatsiooni põhjaliku statistilise analüüsi selgesõnaliselt tulevaste publikatsioonide jaoks. Siinsed heledusfunktsiooni piirangud on esimene pilk, mitte viimane sõna.

Teiseks pole iga nõrk „kvasar" tingimata kvasar. Nõrgas otsas võivad mõned kvasariteks määratud objektid osutuda hoopis kompaktseteks varasteks galaktikateks, eriti kui neil puudub tugevalt laienenud Lyman-alfa joon. Meeskond teeb esialgse kontrolli, mille järgi objektid sobivad pigem punktallikate kui laiendatud galaktikatega, kuid nimetab seda esialgseks: kõige nõrgemate objektide tegeliku olemuse lahendab sügav lähiinfrapunaspektroskoopia JWST ja sarnaste rajatistega.

Kolmandaks on objektid ise nõrgad ja maapealse spektroskoopia iseloomustusvõime piiril. Nende mustade aukude masside, ümbruse ja koha reionisatsiooni loos kindlakstegemine vajab JWST-d, ALMA-t ja NOEMA-t. Euclid on väga hea nende leidmisel; üksikasjaliku uurimise annab ta suuresti teistele instrumentidele üle.

Miks see oluline on

Selle töö väärtus on demograafiline. Kümme aastat pakkus Universumi esimene miljard aastat astronoomidele järeldamiseks vaid käputäie kvasareid. Euclid lisas ühe varase uuringuviiluga piisavalt, et muuta nimekiri valimiks — ning on stardieelse prognoosiga kooskõlas teel, et jätkata.

See loeb, sest lahtised küsimused on populatsiooniküsimused. Kuidas said mustad augud nii kiiresti nii suureks? Kui ebaühtlane ja kui neutraalne oli galaktikavaheline gaas eri aegadel? Neile ei vasta ükski üksik efektne objekt; vastuse annavad paljude objektide loendamine, võrdlemine ja kaardistamine. Euclid on demonstreerinud võimet sellist loendust ehitada — ka nõrgas otsas, mis ühendub JWST samast ajastust leitud mõistatusliku akreteerivate mustade aukude populatsiooniga. See töö ei lahenda esimeste mustade aukude tekkimist ega mõõda iseseisvalt reionisatsiooni. See annab hulgi toormaterjali, mida need mõõtmised vajavad, ja seab selge sihi juba käivatele järelvaatlustele.

Lühidalt

Euclid Wide Survey esimese ligikaudu 3000 ruutkraadi põhjal avastas Euclidi koostöö 31 uut kvasarit punanihke 6,6 ja 7,8 vahel, neist kaksteist punanihkel 7 või kõrgemal — rohkem kui kahekordistades seal teadaoleva populatsiooni — ning üks punanihkel 7,77 on nüüd kõige kaugem teadaolev kvasar. Oluline on uuringu demonstreeritud võime leida neid haruldasi, enamasti nõrku objekte hulgi, mitte järkjärguline punanihkerekord. Tulemused on esialgsest andmeväljalaskest: täielik statistiline analüüs, suur osa spektroskoopilisest kinnitamisest ja üksikobjektide detailne iseloomustamine seisavad veel ees.

Ilustamata kontroll

Mida töö näitab: Euclid Wide Survey suutis esimese ~1,5 aasta ja ~3000 ruutkraadi jooksul leida suure punanihkega kvasareid koguses, milleni ükski varasem uuring ei jõudnud — 31 kinnitatud objekti punanihke 6,6 ja 7,8 vahel, kaksteist punanihkel 7 või kõrgemal, mis ligikaudu kahekordistab seal teadaoleva arvu, ning kaugeim umbes 7,77 juures.

Mis on usutav, kuid pole asja põhisisu: Punanihkerekord ise. See on päris, kuid nihutab piiri vaid umbes 0,13 punanihkeühiku võrra — eelmiselt rekordilt umbes 7,64 kuni 7,77, ligikaudu viisteist miljonit aastat kosmilist aega. Pealkiri, mis ajale vastu peab, on kahekordistunud, kasvav ja ebatavaliselt nõrk valim, mitte üks rekordiomanik.

Mida see ei näita: Kuidas tekkisid esimesed ülimassiivsed mustad augud või reionisatsiooni mõõtmist. Need kvasarid on nende küsimuste tööriistad, mitte vastused. Samuti pole see lõplik populatsiooniloendus — täielik statistiline analüüs on selgesõnaliselt jäetud hilisematele töödele.

Peamised piirangud tavalugejale: Spektroskoopilised järelvaatlused on ebatäielikud, eriti lõunas; heledusfunktsiooni tulemused on esialgsed; ning mõned kõige nõrgemad kvasariteks nimetatud objektid võivad kuni JWST-klassi spektroskoopilise kinnitamiseni osutuda varasteks galaktikateks.

Kui palju võiks tavalugeja seda usaldada? Kõrge kindlus, et Euclid on muutnud seda, mida neil punanihetel on võimalik leida, ning kõrge kindlus eredamate objektide eelretsenseeritud kinnitustes. Autorite endi raamistuse järgi madalam kindlus nõrga otsa populatsiooni täpsete arvude ja kõige nõrgemate kandidaatide olemuse suhtes — need on esimesed, mitte lõplikud tulemused.

Allikad

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